

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

Школа Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
 Направление подготовки 15.04.01 «Машиностроение»  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение электронной инженерии

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

<b>Тема работы</b>
Исследование свариваемости труб, имеющих металлизационное защитное покрытие

УДК 625.791.015.053:621.644

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ81	Александрова Ю.С.		15.06.2020

Руководитель


Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Першина А.А.	к.т.н.		15.06.2020

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Маланина В.А.	к.э.н		21.05.2020

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД	Федорчук Ю.М.	д.т.н, профессор		19.05.2020

Консультант-лингвист

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ	Марцева Т.А.	к.филол.н.		03.05.2020

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Гордынец А.С.	к.т.н		15.06.2020

Томск – 2020г.

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП 15.04.01**

Код	Результат обучения
<b>Универсальные компетенции</b>	
P1	Способность применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания при создании новых конкурентоспособных технологий изготовления деталей и сборки машин с применением компьютерных технологий
P2	Способность ставить и решать инновационные инженерные задачи с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения
P3	Способность разрабатывать методики и организовывать проведение теоретических и экспериментальных исследований в области технологии и машиностроения с использованием новейших достижений науки и техники.
P4	Способность проводить маркетинговые исследования, используя знания проектного менеджмента, участвовать в создании или совершенствовании системы менеджмента качества предприятия.
P5	Способность работать в многонациональном коллективе над междисциплинарными проектами в качестве исполнителя и руководителя.
P6	Способность подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, методическую документацию, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P9	Применять глубокие знания в области конструирования сборочно-сварочных приспособлений, механизации и автоматизации сварочных процессов с учетом специфики технологии изготовления сварной конструкции
P10	Решать инновационные задачи по сварке специальных сталей, применению современных методов неразрушающего контроля с использованием системного анализа и моделирования процессов контроля
P11	Ставить и решать инновационные задачи по применению необходимого оборудования для контактной сварки, проектировать сварочные процессы с принципиально новыми технологическими свойствами, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности (ИШНКБ)  
 Направление подготовки (специальность) 15.04.01 «Машиностроение»  
 Профиль «Машины и технологии сварочного производства»  
 Отделение электронной инженерии

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП ОЭИ ИШНПТ

\_\_\_\_\_  
 (Подпись) \_\_\_\_\_ (Дата) Гордынец А.С  
 (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации
--------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
1BM81	Александровой Юлии Сергеевне

Тема работы:

Исследование свариваемости труб, имеющих металлизационное защитное покрытие	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 28.01.2020 г. №28-46/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2020
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования являются образцы сталей 09Г2С, Сталь 20, размерами 20×30 для исследования на питтинговую коррозию.</p>
---	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обзор литературы.</li> <li>2. Постановка задачи исследования.</li> <li>3. Материалы и методы исследования.</li> <li>4. Экспериментальная часть</li> <li>5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</li> <li>6. Социальная ответственность.</li> <li>7. Заключение и выводы.</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Титульный лист (название работы), цель, задачи.</li> <li>2. Литературный обзор</li> <li>3. Материалы, оборудование и методы исследования.</li> <li>4. Макрофотографии образцов с внутренним покрытием из самофлюсующегося сплава</li> <li>5. График изменения микротвердости образцов по сечению сварного шва</li> <li>6. Экономическая часть, и социальная ответственность.</li> <li>7. Заключение и выводы.</li> </ol>
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Основная часть магистерской диссертации	Першина Анна Александровна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Маланина Вероника Анатольевна
Социальная ответственность	Федорчук. Юрий Митрофанович
Часть магистерской диссертации на английском языке	Марцева Татьяна Александровна
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Материалы, оборудование и методы исследования</li> </ol>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	30.01.2019
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Першина Анна Александровна	к.т.н.		30.01.2019

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ81	Александрова Юлия Сергеевна		30.01.2019

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности (ИШНКБ)  
 Направление подготовки (специальность) 15.04.01 «Машиностроение»  
 Уровень образования магистратура  
 Профиль «Машины и технологии сварочного производства»  
 Отделение электронной инженерии  
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2019 /2020 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: 15.06.2020

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
04.02.2020	1 Литературный обзор	25
25.02.2020	2 Материалы, оборудование и методы исследования	5
29.03.2020	3 Экспериментальная часть	35
15.04.2020	4 Выводы	10
22.04.2020	5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
06.05.2020	6 Социальная ответственность	10
13.05.2020	7 Часть магистерской диссертации на английском языке	5

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Першина А.А.	К.Т.Н.		30.01. 2019

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Гордынец А.С.	К.Т.Н.		30.01. 2019

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1BM81	Александровой Юлии Сергеевне

<b>Школа</b>	<b>ИШНКБ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОЭИ</b>
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	15.04.01/Машиностроение

Тема ВКР

Исследование свариваемости труб, имеющих металлизационное защитное покрытие

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): Материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость применяемого оборудования для проведения эксперимента, заработная плата с учетом районного коэффициента, стоимость электроэнергии
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды – 30.2%

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

1. <i>Оценка коммерческого потенциала инженерного проекта (ИП)</i>	1.1 Потенциальные потребители результатов исследования 1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения 1.3 FAST - анализ 1.4. SWOT – анализ
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	2.1. Устав проекта 2.2. Организационная структура проекта
3. <i>Составление бюджета инженерного проекта (ИП)</i>	3.1 План проекта (календарный план НТИ) 3.2 Бюджет проекта исследования (планируемые затраты на выполнения НТИ) 3.3 Организационная структура проекта (выбор организационной структуры научного проекта)
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИП и потенциальных рисков</i>	4.1 Оценка сравнительной эффективности исследований

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

1. FAST - анализ
2. Матрица SWOT
3. Оценка готовности проекта к коммерциализации
4. Инициация проекта
5. Планирование управления проектом
6. График разработки и внедрения ИП
7. Инвестиционный план. Бюджет ИП
8. Основные показатели эффективности ИП

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	26.02.2020
---	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Маланина В.А.	к.э.н		26.02.2020 Г

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ81	Александрова Ю.С.		26.02.2020 Г

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1ВМ81	Александрова Юлия Сергеевна

<b>ШКОЛА</b>	<b>ИШНКБ</b>	<b>Отделение</b>	
<b>Уровень образования</b>	Магистр	<b>Направление/специальность</b>	15.04.01 «Машиностроение»

**Тема дипломной работы: «Исследование свариваемости труб, имеющих металлизационное защитное покрытие»**

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Лаборатория находится в 16-ом уч. корпусе, в кабинете номер 315 оборудована холодной и горячей водой, сливом, вентиляцией, вытяжным шкафом, письменным столом, оргтехникой
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:


<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>	<p>К числу вредных факторов на рабочем месте следует отнести наличие электромагнитных полей на рабочем месте, наличие шума. периодическое несоответствие освещенности рабочего места (при этом требуется провести расчет освещения на рабочем месте с рисунком (размеры в системе СИ)), присутствие не оптимальных метеоусловий на рабочем месте,</p> <p>К числу опасных факторов следует отнести наличие электроисточников, оборудования с повышенной температурой поверхности, присутствие механического оборудования, горючих материалов, тем самым, присутствие повышенной степени пожароопасности.</p> <p>Для всех случаев вредных и опасных факторов на рабочем месте указаны ПДУ, ПДД, допустимые диапазоны существования, в случае превышения этих значений перечислены средства коллективной и индивидуальной защиты; приведены классы электроопасности помещений, а также безопасные номиналы тока, напряжения, сопротивления заземления, и категории пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение.</p>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> </ul>	<p>Наличие отходов (металлическая стружка, абразивная пыль, черновики бумаги, отработанные картриджи принтера,)</p>



<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>потребовали разработки методов (способов) утилизации перечисленных отходов. Также требует разработки их утилизации.</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>Приводятся возможные для Сибири ЧС; Возможные ЧС: морозы, диверсия</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- разрабатываются превентивные меры по предупреждению ЧС;</li> <li>- разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> <li>разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</li> </ul>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>Приведены перечень НТД, используемых в данном разделе, схема эвакуации при пожаре, схема размещения светильников на потолке согласно проведенному расчету.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	26.02.2020 г.
--	---------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ТПУ	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		26.02.2020 г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ81	Александрова Ю.С.		26.02.2020 г.

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 172 страниц, 20 рисунков, 30 таблиц, 57 использованных источников, 15 листов демонстрационного материала (слайдов), 2 приложения

Ключевые слова: трубопровод, газо и нефтепровод, двухслойная сталь, коррозия, защитное покрытие.

Объектом исследования являются образцы стали 20, 09Г2С, размером 20x30 мм и толщиной до 5 мм.

Целью данной работы является исследование внутреннего покрытия образцов, имеющих металлизационное покрытие, для улучшения качества сварного шва, а также оценить его влияние на уровень микротвердости.

Для достижения заданной цели в работе необходимо решить следующие задачи:

1. Подвергнуть образцы к визуальному и измерительному контролю, радиографическому контролю.
2. Провести механические статические испытания
3. Исследовать образцы на стойкость к питтинговой коррозии
4. Выполнить измерения микротвердости
5. Провести металлографическое исследование
6. На основании полученных результатов сделать заключение

## **Abstract**

The final qualifying work contains 172 pages, 20 figures, 30 tables, 57 sources used, 15 sheets of demonstration material (slides), 2 appendices

Keywords: pipeline, gas and oil pipeline, double-layer steel, corrosion, protective coating.

The object of research is samples of steel 20, 09G2S, size 20x30 mm and thickness up to 5 mm.

The purpose of this work is to study the internal coating of samples that have a metallization coating to improve the quality of the weld, as well as to assess its impact on the level of microhardness. To achieve this goal, you need to solve the following tasks:

1. Subject the samples to visual and measurement control, radiographic control.
2. Perform mechanical static tests
3. To examine the samples on the resistance to pitting corrosion
4. Measurements of microhardness
5. To conduct a metallographic examination of
6. On the basis of the results obtained to make recommendations on technological parameters of obtaining such coatings.

## Оглавление

Введение.....	15
1 Надежность, безопасность и коррозионная стойкость магистральных трубопроводов .....	17
1.1 Общая надежность.....	17
1.1.1 Строительство магистральных трубопроводов.....	21
1.1.2 Опасность разрушения магистральных трубопроводов.....	22
1.1.3 Прочность магистральных трубопроводов с критическими повреждениями.....	24
1.1.4 Повышение надежности магистральных трубопроводов .....	29
1.2 Надежность сварных трубопроводов .....	32
1.2.1 Материалы трубопроводов.....	35
1.2.2 Применение высокопрочных сталей .....	36
2 Способы защиты от коррозии.....	39
2.1 Причины и виды коррозионного разрушения трубопроводов .....	39
2.2 Методы предотвращения от коррозии .....	44
3 Двухслойные стали.....	52
3.1 Марки, способы получения и область применения .....	52
3.1.1 Механические свойства двухслойной стали .....	60
3.1.2 Особенности усталостного разрушения двухслойных сталей .....	64
3.2 Особенности сварки двухслойных сталей или сталей с плакирующим коррозионно-стойким слоем .....	67
3.2.1 Сварка кольцевых стыков.....	70
3.2.2 Характеристика сочетаний сталей в комбинированных сварных соединениях .....	73
3.2.3 Формирование структуры металла шва .....	74
4 Методика и материалы исследования.....	77
5 Экспериментальная часть .....	79
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	89
6.1 Предпроектный анализ .....	89
6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	89

6.1.2	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	90
6.2	Fast анализ .....	91
6.2.1	Описание главных, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом.....	91
6.2.2	Определение значимости выполняемых функций объектом.....	93
6.2.3	Определение значимости функций.....	97
6.2.4	Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования ..	98
6.2.5	Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ	100
6.2.6	Оптимизация функций, выполняемых объектом.....	100
6.3	SWOT – анализ.....	101
6.4	Оценка готовности проекта к коммерциализации .....	103
6.5	Методы коммерциализации результатов научно технического исследования .....	105
6.6	Инициация проекта .....	105
6.7	Планирование управления проектом.....	107
6.7.1	Структура работ в рамках научного исследования .....	107
6.7.2	Определение трудоемкости выполнения работ .....	109
6.7.3	Разработка графика проведения научного исследования .....	111
6.8	Бюджет научного исследования. Затраты на материалы и эксперименты	114
6.9	Расчет фонда заработной платы.....	115
6.10	Определение ресурсной финансовой и бюджетной эффективности исследования .....	119
6.10.1	Оценка сравнительной эффективности проекта .....	119
7	Социальная ответственность .....	123
7.1	Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды .....	124
7.1.1	Электромагнитные поля в производственных помещениях.....	124
7.1.2	Производственный шум.....	127
7.1.3	Освещенность рабочей зоны .....	128
7.1.4	Микроклимат в помещении.....	132

7.2	Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды .....	134
7.2.1	Факторы электрической природы.....	134
7.2.2	Факторы пожарной и взрывной природы .....	140
7.3	Охрана окружающей среды.....	143
7.4	Защита в ЧС.....	144
7.5	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	145
	Заключение .....	147
	Список литературы .....	148
	ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	154
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	170

## **Введение**

Защита стальных изделий и конструкций, газо и нефтепровода от коррозионного разрушения в настоящее время приобретает особую актуальность. Эксплуатируемые в строительстве, нефтепереработке, сельском хозяйстве изделия попадают в коррозионную среду как низкой, так и высокой агрессивности. Это обуславливает значительные вложения средств, направленных на поддержание как эксплуатируемых, так и вновь создаваемых конструкций в рабочем состоянии [1].

Выбор метода, используемого при нанесении защитного покрытия, является важным этапом обеспечения длительной эксплуатации конструкции. Неправильный выбор вида защитного покрытия приводит к дополнительным эксплуатационным затратам. Для обеспечения антикоррозионной защиты стальных изделий в мировой практике активно используется нанесение специальных защитных металлизационных покрытий. Наиболее практичными и распространенными являются коррозионно-стойкие покрытия.

Коррозионно-стойкие покрытия делятся на 2 вида. Металлические и неметаллические. Металлические покрытия по своему влиянию делят на катодные и анодные. Неметаллические покрытия представляют собой вещества с ионным и молекулярным типом связи, являющимися по своим электрическим свойствам диэлектриками и полупроводниками.

Так же альтернативным способом коррозионно-стойким покрытиям может служить защита внутренне поверхности околошовной зоны стыка самофлюсующимся порошковым покрытием, которое наносится на внутренние концы труб и при сварке труб расплавляется и растекается по поверхности и корневому шву, обеспечивая высокую гарантию защиты внутренней поверхности трубы.

Целью, данной выпускной квалификационной работы является, исследование внутреннего покрытия образцов, имеющих металлизационное

покрытие для улучшения качества сварного шва, а также оценить его влияние на уровень микротвердости.

Для достижения заданной цели в работе необходимо решить следующие задачи:

1. Подвергнуть образцы к визуальному и измерительному контролю, радиографическому контролю.
2. Провести механические статические испытания
3. Исследовать образцы на стойкость к питтинговой коррозии
4. Выполнить измерения микротвердости
5. Провести металлографическое исследование
6. На основании полученных результатов сделать заключение



# **1 Надежность, безопасность и коррозионная стойкость магистральных трубопроводов**

## **1.1 Общая надежность**

Трубопроводные конструкции и системы находят широкое применение практически во всех отраслях промышленности. Трубопроводы относятся к категории энергонапряженных объектов, отказы которых сопряжены со значительным материальным и экологическим ущербом. Многочисленные отказы на технологических трубопроводах, транспортирующих пожаро-взрывоопасные продукты, ядовитые компоненты и токсичные среды, приводят к локальным и общим загрязнениям окружающей среды, создают повышенный риск возникновения опасности для персонала и населения.

Определяющим критерием безопасности эксплуатации нефтегазопроводов является их конструктивная надёжность, заключающаяся в их способности выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные свойства в течение требуемого промежутка времени "жизненного цикла".

Особая проблема экологическая безопасность при использовании магистрального трубопроводного транспорта нефти, газа и нефтегазопродуктов. Отказ магистрального нефтегазопровода, проявляющийся в местной потере герметичности стенки трубы, трубных деталей или в общей потере прочности в результате разрушения, приводит, как правило, к значительному экологическому ущербу с возможными непоправимыми последствиями для окружающей природной среды.

До настоящего времени проблема надёжности магистральных нефтегазопроводов рассматривалась только с точки зрения формирования нормативных свойств трубопроводных конструкций по конечным эксплуатационным критериям и количественной оценке таких свойств по заданным конструктивным и технологическим показателям. При этом основным математическим аппаратом анализа является статистическая оценка вероятностей, использующая в качестве своей информационной базы

ретроспективные сведения об отказах трубопроводных конструкций.

Надёжность нефтепровода – это основной фактор обеспечения его безопасности для окружающей среды. Магистральный трубопровод представляет собой систему последовательно соединенных элементов – труб, трубных деталей, арматуры. Поэтому отказ любого из них приводит к аварийным ситуациям. Наибольшая вероятность отказов падает на трубы и сварные соединения, выполняемые при строительстве трубопровода. Магистральные трубопроводы являются уникальными сооружениями из-за их большого диаметра и производительности, их энергетической мощности.

Рассматривая проблему работоспособности и надёжности трубопроводов, следует отметить уникальный характер и интенсивность взаимодействия этих сооружений с окружающей средой, протяженность прокладки в различных климатических и гидрогеологических условиях, площадь поверхности контакта с грунтом, массу транспортируемого продукта, его теплосодержание и количество вносимого тепла (холода) в грунт, пересечение множества естественных и искусственных преград. Уникальность состоит в том, что трубопроводы (так же больших диаметров) постоянно в течение всего срока службы во всех своих частях испытывают значительные внутренние напряжения, близкие к нормативным характеристикам прочности металла. Поэтому даже незначительные отклонения действительных условий от принятых за исходные в расчетах приводят систему в состояние предельного состояния.

Конструктивной надёжностью трубопровода является его свойство сохранять потенциальную способность выполнять заданные функции в течение требуемого промежутка времени. Указанная способность, в свою очередь, раскрывается через систему объективных критериев качества трубопровода, обуславливающих его нормативную работоспособность в режиме активного воздействия эксплуатационных факторов, в число которых входят также факторы окружающей среды. С этой точки зрения, конструктивная надёжность, как свойство трубопроводной конструкции, должна удовлетворять

экологическим критериям, поскольку полная или частичная утрата трубопроводом его работоспособности неизбежно сопровождается отрицательным воздействием на окружающую среду.

Экологическая надёжность трубопроводов - собирательное понятие для обозначения совокупности свойств, определяющих качество функционирования объекта. Магистральный трубопровод представляет собой сложную техническую систему с восстанавливаемыми и резервированными элементами. Под экологической надёжностью магистральных трубопроводов следует понимать их свойство сопротивляться внешним и внутренним нагрузкам и воздействиям, сопутствующим транспортировке продукта без нарушения герметичности при соблюдении правил эксплуатации, технического обслуживания и ремонта.

Повышение конструктивной надёжности магистральных трубопроводов во многом способствует повышению их функциональной надёжности. Важность проблемы надёжности магистральных трубопроводов, прежде всего, связана с возросшей ролью трубопроводного транспорта в экономике страны.

Современные магистральные газо и нефтепроводы качественно изменились: выросла их энергетическая мощность, строятся они в разнообразных почвенно-климатических условиях, причем основные объёмы строительства трубопроводов перемещаются в арктические и субарктические, сильно заболоченные районы Западной Сибири и европейского Севера. Увеличение диаметра трубопроводов и повышение давления транспортируемого продукта, с одной стороны, увеличивает запас кинетической энергии, способной вызывать высокие напряжения в стенках труб, а в газопроводах - лавинные разрушения, с другой стороны, потери продукта при аварийных разрушениях таких трубопроводов резко возрастают.

Проблема надёжности магистральных трубопроводов многопланова и в настоящее время еще не имеет четкого теоретического и методологического выражения. Не разработана оценка уровня надёжности и не определены конкретные мероприятия по обеспечению ее требуемого уровня. Нет

систематизированных данных по расчету надёжности проектируемых трубопроводов, а также удобных для практики методик расчетов погрешности результата при расчете надёжности трубопроводных систем.

С точки зрения обеспечения экологической надёжности трубопроводов в эксплуатационный период важна разработка мероприятий, обеспечивающих предупреждение аварий, а не ликвидацию их последствий. Оценка надёжности трубопроводов важна на каждом этапе эксплуатации. Речь идет о технической диагностике магистральных трубопроводов, об оценке их работоспособности.

Одним из основных направлений исследования в области конструктивной надёжности магистральных трубопроводов следует считать прогнозирование их эксплуатационной надёжности. По заданному уровню эксплуатационной надёжности формируются требования к качеству исходных материалов (труб, изоляции, электродов и т.п.), проектных решений, культуре строительства и эксплуатации.

Главным критерием оценки качества исходных материалов следует считать стабильность их свойств. Масштабный фактор современных трубопроводов по закону больших чисел, очевидно, не дает возможности достичь такого качества строительства и эксплуатации, при котором полностью исключалась бы вероятность появления дефектов и нарушений прочности магистралей. В то же время строители и эксплуатационники не располагают абсолютно надёжными методами и средствами контроля качества производства работ и поведения трубопровода в период эксплуатации. Не установлена физическая природа надёжности элементов трубопроводов и, прежде всего, линейной части, и не определен в свете новых условий и требований экологически целесообразный уровень надёжности трубопроводных систем.

Магистральные трубопроводы воздействуют на окружающую среду не только при аварийных ситуациях. При строительстве трубопроводов наблюдается деструкция грунтового массива и нарушение сложившихся равновесных взаимосвязей между компонентами ландшафта. Первые аэрокосмические исследования районов прокладки трубопроводов в Западной

Сибири показали значительное обводнение трасс трубопроводов и особенно коридоров, в которых проложено несколько ниток в первые годы после строительства [2].

### **1.1.1 Строительство магистральных трубопроводов**

Строительство магистрального трубопровода является сложной технической задачей, при выполнении которой должны строго соблюдаться все требования, заложенные на стадии проектирования и все требования в соответствии со строительными нормами и правилами.

Подземный способ прокладки магистрального трубопровода определяется спецификой различных типов грунта. Так на территории региона, характерно наличие болот, имеющих низкую несущую способность, что существенно ограничивает сроки проведения основных видов строительства, которые проводят в зимний период. Трубы укладываются в траншеи, которые засыпают песком, фиксируют при помощи анкеров, завинченных в стабильный грунт, или пригружают балластными плитами [3].

Кроме того, для указанного региона характерно наличие участков многолетнемерзлых грунтов, при оттаивании которых нарушается устойчивость трубопровода и трубопровод испытывает дополнительные нагрузки, приводящие к изменению его напряженно-деформированного состояния.

Альтернативой в таких случаях может быть надземная укладка трубопровода на сваях, для избегания нарушения стабильности мерзлого грунта. При этом трубопровод теплоизолирован и для опор применяется метод термостабилизации, при помощи специальных охлаждающих сифонов, в которых циркулирует хладагент, например, аммиак. На небольших участках вечной мерзлоты, встречающейся на пути нефтепровода, этот метод, согласно [4], эффективен. Особенности прокладки трубопровода заключаются еще в том, что их прокладывают через различные виды естественных и искусственных препятствий. Так, в работе [5, 6] приведен пример прокладки трубопровода через

подводный переход. Особенность прокладки заключалась в том, что трубопровод имеет 2 нитки, основную и запасную, для экстренного переключения нагрузки в случае возникновения аварийной ситуации. Трубы были уложены в траншею, вырытую на дне реки и закреплены балластным грузом. В работе принимали участие водолазы, применялись средства связи и дистанционного управления механизмами. Работы имели сложный характер.

Для трубопроводов, проложенных по территории с высокоразвитой инфраструктурой характерно наличие авто - и железных дорог.

Наличие линий электропередач [7]. Поэтому для перехода через указанные коммуникации используют метод бестраншейного перехода, часто выполняемый при помощи горизонтально направленного бурения. Сущность такого метода заключается в том, что радиоуправляемая буровая головка, под руководством оператора, прокладывает пилотную скважину под автомобильной или железной дорогой, потом скважину расширяют и протягивают трубу [8].

### **1.1.2      Опасность разрушения магистральных трубопроводов**

Одной из важнейших проблем трубопроводного транспорта является сохранение работоспособного состояния линейной части промышленных и магистральных трубопроводов. Многочисленные обследования показывают, что подземные газопроводы, работающие при нормальных режимах, находятся в удовлетворительном состоянии в течение нескольких десятков лет. Этому способствует то большое внимание, которое уделяется систематическому контролю состояния подземных и надземных газопроводов и своевременная ликвидация появляющихся дефектов, одним из опасных дефектов является коррозия.

Коррозия трубопроводов, пожалуй, самый хорошо изученный и систематизированный вид коррозии трубопроводов. По крайней мере, магистральные трубопроводы - это единственный вид трубопроводов, защита от коррозии которых регламентируется отдельным национальным стандартом

ГОСТ Р 51164-98 [9] «Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии». Конечно, ГОСТ Р 51164-98 в основном посвящен методам противокоррозионной защиты, а не механизмам коррозионного разрушения, однако, при его внимательном изучении можно выделить и определенную систематизацию опасности коррозии магистральных трубопроводов в зависимости от ее механизма. Сразу следует отметить, что магистральные трубопроводы используются для транспорта подготовленных коррозионно-инертных продуктов, поэтому для них опасность представляет только наружная коррозия, причем на участках надземной прокладки только сравнительно неопасная атмосферная коррозия.

Итак, ГОСТ выделяет 3 вида участков магистральных трубопроводов, подверженных особым коррозионным опасностям: участки высокой коррозионной опасности, участки повышенной коррозионной опасности и коррозионно-опасные участки. Среди критериев ГОСТ, касающихся механизмов коррозии и позволяющих отнести некоторые участки трубопроводов к особо опасным участкам, можно выделить следующие критерии участков повышенной коррозионной опасности:

- блуждающие токи от источников постоянного тока;
- микробиологическая коррозия;
- коррозионное растрескивание под напряжением.

Дополнительно, ГОСТ относит к участкам повышенной коррозионной опасности участки прокладки магистральных трубопроводов, на которых может резко возрасти опасность обычной почвенной коррозии:

- участки трубопроводов в засоленных почвах любого района страны (солончаковых, солонцах, солодах, сорах и др.);
- участки трубопроводов на участках промышленных и бытовых стоков, свалок мусора и шлака;
- участки трубопроводов с температурой транспортируемого продукта выше 303 К (30 °С).

Исходя из вышеперечисленного можно сделать вывод что магистральные трубопроводы нуждаются в повышенной защите от коррозии и для этого нужно подобрать стали и метод сварки

### **1.1.3 Прочность магистральных трубопроводов с критическими повреждениями**

Высокое внутреннее давление в сочетании с внешней нагрузкой (изгиб-растяжение) и агрессивной средой, а также потенциальным наличием локальных повреждений делает оценку прочности и структурной целостности магистральных трубопроводов.

Снижение пластичности и увеличение предела текучести из-за старения; уменьшение операции температуры; остаточные растягивающие напряжения, действующие во внутренней части трубы на вершине обжима во время формирования пластикового обжима; и оцениваются остаточные растягивающие напряжения, вызванные сваркой. Учет влияния этих повреждающих факторов позволяет оценить снижение несущей способности поврежденных трубопроводов. Угроза возникновения повреждений в виде обжимов либо игнорируется, либо принимается во внимание только частично существующими процедурами анализа прочности трубопровода.

Обеспечение прочности и структурной целостности магистральных трубопроводов (МТ) является одной из критических проблем в процесс добычи, транспортировки и переработки углеводородов. В конце XX-го и начала XXI века, эта проблема стала критической для обеспечения не только промышленной и энергетической безопасности, но и для национальной безопасности в России и других странах-производителях и транспортировщиках нефти / газа.

Высокое внутреннее давление в сочетании с внешней нагрузкой и агрессивной средой, наряду с потенциальным присутствием локальных повреждений делают оценку прочности.



Целостность магистральных трубопроводов - сложная задача. Значительное количество аварий на МТ вызвано либо нарушением технологии строительства трубопровода, либо операции или путем несанкционированного врезания ответвлений, которые связаны с большими пластическими деформациями и существенными изменениями геометрии трубопровода.

Различные локальные повреждения магистрального трубопровода, приводящие к резкому снижению их прочности и срока службы. Потенциально опасными с точки зрения образования обжима являются нагретые и закрепленные зоны трубопроводов, зоны всплытия и арки. Например, В Российской Федерации на северных газопроводах наблюдаются арки длиной 80-150 метров, прогибы длиной до 500 метров, а также всплывающие участки длиной до 10000 метров.

Формирование обжима может происходить в процессе изготовления и транспортировки компонентов магистральных трубопроводов или во время строительства, эксплуатации, технического обслуживания и ремонта магистральных трубопроводов. Размер обжима можно сравнить с толщиной стенки трубопровода и его диаметром. Симметричные и асимметричные обжимы, расположенные в зонах сварных соединений, а также комбинации обжимов и сварных соединений представляют собой особую угрозу, так как они изменяют геометрическую форму трубопровода и механические свойства его материала и могут вызвать разрушение трубопровода [10].

Высота  $h$ , внешний радиус  $R_{ex}$ , внутренний радиус  $R_{in}$ , разница между ними  $\Delta R = R_{ex} - R_{in}$  и отверстие сгиба  $l$  являются основными геометрическими характеристиками обжима (рис. 1). В действующих трубопроводах характеристика обжима  $l / h$  относительно постоянна и зависит от отношения  $\delta / R_0$  (где  $R_0$  - внутренний радиус трубопровода,  $\delta$  - толщина стенки) и степени развития обжима  $\Delta R / R_0$ . Максимальное (статистическое) значение при продолжении разрушения трубопроводов находится в диапазоне 2,5-4. Это значение мало зависит от диаметра трубопровода  $D_0 = 2R_0$ . Обжим на прямой или упруго изогнутой части трубопровода может происходить в местах

ограничения или в зонах неоднородности физико-механических свойств материала трубы. Круглое сварное соединение также является зоной такой неоднородности. Усиленный сварной шов имеет более высокую жесткость и обычно (если он не содержит макродефектов) оказывается прочнее основного металла.

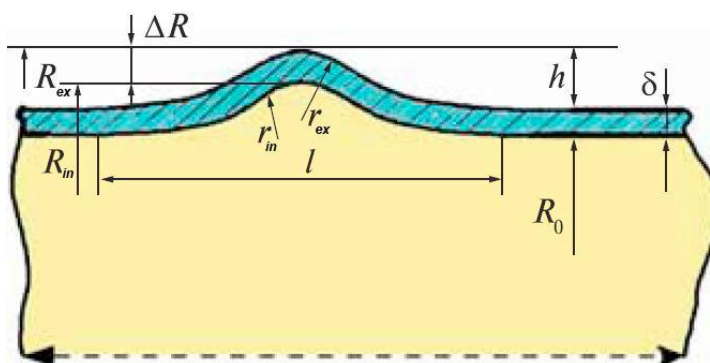


Рисунок 1.1 – Геометрические характеристики обжимов

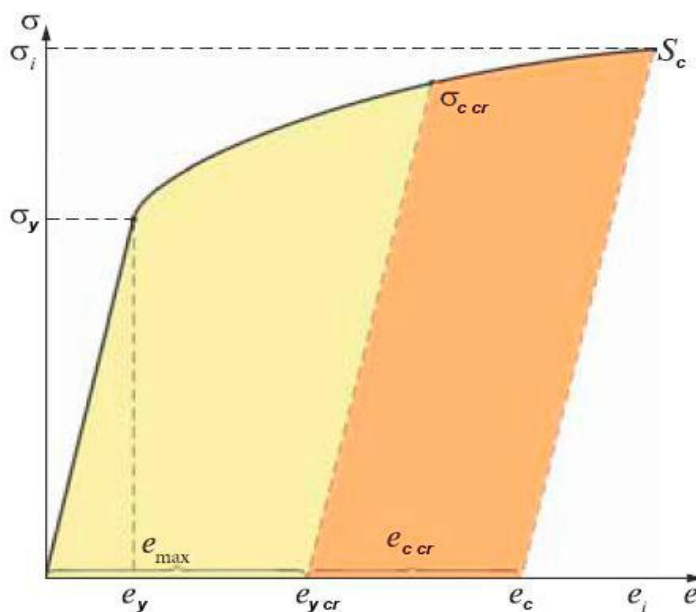


Рисунок 1.2 – Кривая деформации в истинных координатах и ее параметры

Формирование обжима может быть и в изогнутых сегментах. Геометрическая нелинейность формы трубы, номинальные и локальные, пластические деформации стенки и остаточные напряжения появляются после холодного изгиба. Эти факторы и факторы локального повреждения, могут возникнуть во время изготовления и строительства или эксплуатации, которые могут привести к образованию обжима в этой части трубы. Симметричный

круговой обжим - довольно редкое явление. Его формирование обычно вызвано из-за падения температуры и осевым сжатием, которое может быть результатом ограничения трубопровода. В этом случае основное перемещение трубопровода происходит только вдоль его оси. Широко распространенный полукруглый обжим образуется за счет совместного действия продольных сил и изгибающих моментов с возможностью смещения трубопровода в плоскости и за ее пределами.

После деформация развивается в самых слабых зонах и локализуется в виде асимметричных извилин. Обжим формируется в сжатой зоне трубы по внутреннему радиусу изгиба. Разрушение трубопроводов в зонах опрессовки может быть вызвано как статическими, так и циклическими нагрузками. Стенка трубы в зоне обжима подвергается значительным локальным пластическим деформациям под действием всех силовых факторов, это приводит к изменению физико-механических свойств металла трубы, которыми обычно пренебрегают в традиционных оценках прочности трубопровода.

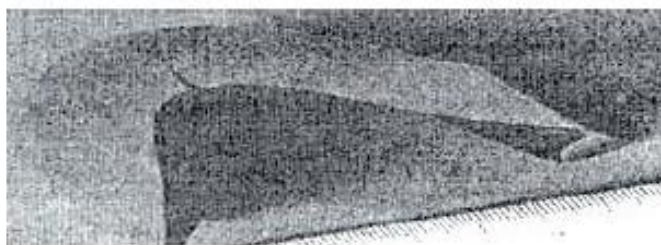
Локальные деформации  $\epsilon_{\max}$ , которые измеряются экспериментально с использованием метода сеток и тензометрии, могут существенно превышать предельные упругие напряжения. Излом может произойти в верхней части обжима и в месте, где наклон обжима соединен с цилиндрической частью трубы.

Угроза образования обжима заключается в том, что при повышении внутреннего давления, возникают напряжения и интенсивно увеличиваются в зоне обжима, чем напряжения в гладкой части трубопровода. Так же может происходить частичный пластичный разрыв или становится хрупким из-за истощения пластичности в зоне обжима.

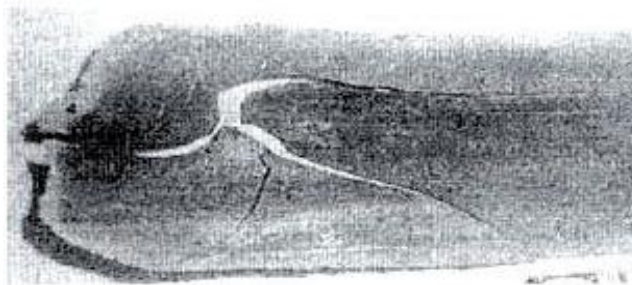
Рассмотренные выше изменения геометрии и механических свойств в зоне обжима, в этом случае характеризуется процессами истощения предельной пластичности и увеличением предела локальной текучести. Поскольку время службы трубопроводов с обжимами проходит, а рабочие температуры увеличивают, влияние на старение становится более интенсивным, а остаточная локальная пластичность металла в зонах обжима уменьшается.

Представленные расчетные и экспериментальные данные показывают, что формирование обжима может значительно (до 50%) уменьшить статическую прочность трубопроводов. Испытания на прочность трубопроводов диаметром 720-1020 мм, поврежденных обжимами, показали, что первые трещины появляются при относительно низких номинальных напряжениях.

Начальные трещины появляются и развиваются в круговом направлении в верхней части обжима на его внутреннюю сторону (рис. 3а). Также возможно разрушение, вызванное обжатием при напряжениях. В продольном направлении вдоль сварного соединения (рис. 3б), когда высота обжима относительно мала, она расположена в зоне термического влияния сварного шва.



(а)



(б)

Рисунок 1.3 – Примеры разрушения трубопровода в зоне обжима (а) и (б)

Обжимы, которые могут быть нанесены при строительстве, эксплуатации и ремонте трубопроводов, на 50% снижают их статическую прочность, в основном это происходит из-за высокой концентрации напряжений и истощения пластичности. Влияние этих повреждающих факторов, позволяет оценить снижение несущей способности повреждения трубопроводов.

Угрозу образования обжима, следует считать еще более серьезной, если происходит:

- сокращение пластичности и увеличения предела текучести вследствие старения;
- снижения рабочей температуры;
- остаточного растягивающие напряжения, действующие во внутренней части трубы на вершине обжима и остаточные растягивающие напряжения, вызванные сваркой.

Также важным фактором, способствующим повышению риска разрушения трубопроводов, поврежденных обжимами. К сожалению, снижение несущей и деформационной способности трубопроводов, поврежденных обжимами, либо игнорируется или только частично учтены в действующей нормативной и нормативной базе. Это требует широких усилий реализовано для заполнения пробела и разработки надежных процедур проектирования.

#### **1.1.4 Повышение надежности магистральных трубопроводов**

По протяженности магистральных трубопроводов для транспортировки нефти, воды, газа, и сточных вод Российская Федерация занимает второе место в мире после США. Но в тоже время, российские трубопроводные магистрали, являются самыми изношенными в мире. Месторождения нефти и газа в РФ, расположены гораздо дальше от потребителей, чем в любой другой стране мира, вследствие этого эффективность и надежность функционирования нефтяной и газовой промышленности во многом зависят от надежной и безопасной работы трубопроводных систем.

Изношенность основных фондов магистральных трубопроводов, которая составляет в России более 75 %, и внушительный средний возраст трубопроводов, превышающий 25 лет, отражаются на безопасности эксплуатации и аварийности в целом. Проведенный анализ аварийности показал, что коррозионное растрескивание под напряжением определяется несколькими факторами: технологией производства труб, коррозионной средой,

характеристиками сталей труб, условиями эксплуатации, напряжениями в стенке труб от внутреннего давления и других нагрузок.

Для предупреждения аварийности на ряде участков по техническому состоянию, понижается разрешенное рабочее давление до момента проведения их реконструкции или ремонта [11].

Происходящие аварии и утечки из нефтепроводов наносят стране экономический и экологический ущерб. Если экономический ущерб возместить можно за сравнительно короткое время, то восстановление благоприятной экологической обстановки в местах аварий и прорывов трубопроводов может затянуться и на многие годы. В особенности страдает природа от утечек нефти из магистральных нефтепроводов.

В следствии этого и повышаются требования к безопасности, надежности, долговечности эксплуатации трубопроводов. Когда возникла настоятельная потребность сооружать трубопроводы нового поколения, стало крайне важно сформировать научно обоснованную теорию надежности и безопасности трубопроводных систем, благодаря внедрению и развития внутритрубной диагностики.

На сегодняшний день, около 65 % магистральных нефтепроводов оснащены камерами запуска-приема. За последнее время значительно возросла разрешающая способность внутритрубных дефектоскопов. Используемые, так называемые снаряды-дефектоскопы, относятся к классу высокого разрешения, способные гарантированно выявлять дефекты, а также с высокой точностью измерять их объемные геометрические размеры и классифицировать по типам и степени опасности без производства шурфовочных работ. В настоящее время был создан высокочувствительный многоканальный электронный профилемер, у которого чувствительность к изменению диаметра труб составляет 1 мм. Так же успешно работают стресс-коррозионные дефектоскопы и испытываются дефектоскопы с байпасом.

К трубопроводам, у которых не приспособиваются внутритрубная диагностика, инженеры активно развивают наземные методы диагностики и

обследуют применение вертолетной техники. Для создания систем мониторинга напряженно-деформационного состояния на потенциально-опасных участках, трубопроводы оборудуются интеллектуальными вставками, которые оснащены датчиками. Но при этом необходимо предусматривать возможность непрерывного мониторинга данных участков трубопроводов.

Доставляемая таким образом информация о коррозионном состоянии трубопроводов, напряженном состоянии труб, состоянии сварных соединений и изменений этих показателей в зависимости от сроков и режимов эксплуатации, состояния грунтов и их коррозионной активности, марок трубной стали, а также от техногенного воздействия объектов, находящихся вблизи трубопровода, от проведенных ремонтов и других факторов позволит систематизировать все эти массивы информации, также определить тенденции и динамику изменения показателей, характеризующих состояние трубопровода, и на основе всех этих материалов, создать научно обоснованную методику определения остаточного эксплуатационного ресурса того или иного участка трубопровода и сформировать научные подходы к проектированию и повышению ремонтов.

Повышение надежности эксплуатации магистральных трубопроводов, связанное с увеличением точности оценки коррозионной опасности и долгосрочным (5-10 лет) прогнозированием его остаточного ресурса, неотделимо от объективной оценки фактического коррозионного состояния трубопровода на любой момент эксплуатации. Создание мощной диагностической базы позволит осуществить развертывание информационных средств анализа данных и прогнозирования [12].

## 1.2 Надежность сварных трубопроводов

Технологии и организация строительства магистральных трубопроводов за рубежом.

Организационно-технологические схемы строительства. Методы организации строительства во всех зарубежных странах приблизительно одинаковы. При осуществлении строительства магистрального трубопровода за рубежом, большое значение придается правильной и четкой организации управления проектно-строительными работами на основе методики управления проектами.

Сварочно-монтажные работы. В последние годы отечественное трубопроводное строительство подвергает весьма существенные изменения, связанные с введением прогрессивной технологии сварочных работ зарубежных стран, повышением требований к качеству, сокращением сроков строительства. В последние годы за рубежом, а также в Российской Федерации, начиная со строительства газопровода «Ямал – Европа», при сооружении линейной части наблюдаются устойчивый рост объемов применения полуавтоматической и автоматической сварки и снижение объемов применения ручной дуговой сварки покрытыми электродами. Эта тенденция, обозначившаяся при сооружении указанного выше газопровода, наиболее полно сказалась при строительстве нефтепроводов «Тенгиз – Новороссийск» (КТК), «Баку – Тихорецк», «Суходольная – Родионовское», газопровода «Россия – Турция», нефтепроводов Балтийской системы (БТС).

К настоящему моменту накоплен весьма большой опыт применения оборудования и материалов зарубежных фирм для полуавтоматической и автоматической сварки.

Так же в зарубежном трубопроводном строительстве используются следующие способы сварки стыков трубопроводов:

– ручная дуговая с применением электродов с целлюлозным и основным видами покрытия, для сварки корневого и последующих слоев шва;



- полуавтоматическая сварка самозащитной порошковой проволокой, с использованием специального комплекта оборудования, для сварки всех слоев шва, кроме корневого;
- полуавтоматическая сварка корневого слоя шва в среде защитных газов проволокой сплошного сечения, с использованием источников питания сварочной дуги специального назначения;
- полуавтоматическая сварка неповоротных стыков в среде защитных газов сплошной электродной проволокой;
- механизированная и автоматическая сварка под слоем флюса проволокой сплошного сечения поворотных стыков труб на трубосварочных базах;
- односторонняя автоматическая сварка порошковой проволокой в среде защитных газов с помощью специальных сварочных головок;
- двусторонняя автоматическая сварка проволокой сплошного сечения в среде защитных газов;
- односторонняя автоматическая сварка в среде защитных газов с помощью специальных головок;
- односторонняя автоматическая сварка проволокой сплошного сечения в среде защитных газов с использованием при сварке корневого слоя технологических подкладок.

Большинство приведенных выше способов и процессов нашли применение в составе комбинированных вариантов сварки, а также при сварке всех слоев шва одним способом.

Изоляционные работы. В настоящее время при строительстве и внесении в эксплуатацию магистральных нефтегазопроводов за рубежом, применяются преимущественно стальные трубы с заводским антикоррозионным покрытием. При этом в качестве заводских покрытий труб могут использоваться следующие типы защитных покрытий:

- заводские эпоксидные покрытия;

- заводские полиэтиленовые покрытия;
- заводские полипропиленовые покрытия.

Данные типы покрытий соответствуют самым современным техническим требованиям и обеспечивают наиболее эффективную защиту трубопроводов от коррозии.

Получившие широкое применение в США, Канаде, Великобритании и ряде других стран тонкопленочные (350—500 мкм) заводские эпоксидные покрытия труб отличаются высокими защитными и эксплуатационными характеристиками, повышенной теплостойкостью (до 100—110 °С), но при этом имеют недостаточно высокую ударную прочность, в особенности при отрицательных температурах окружающей среды, это в значительной степени ограничивает область их применения.

Заводские полипропиленовые покрытия труб характеризуются высокой теплостойкостью, повышенной стойкостью к продавливанию, истиранию, абразивному износу и в основном предназначены для строительства трубопроводов, строящихся по методам «закрытой» прокладки (проколы, «микротоннелирование», наклонно-направленное бурение). А так же, данный тип покрытия рекомендуется к применению при строительстве подводных переходов, морских и шельфовых трубопроводов и для строительства трубопроводов с температурой эксплуатации 80-110 °С.

На вновь строящихся нефтегазопроводах в качестве антикоррозионного покрытия трубопроводов в настоящее время применяются в основном заводские двухслойные и трехслойные полиэтиленовые покрытия. При применении заводских полиэтиленовых покрытий было отмечено, что покрытия обладают высокой эффективностью и способностью обеспечивать надежную защиту трубопроводов от коррозии при температурах эксплуатации до плюс 60 °С.

Помимо стальных труб, при строительстве магистральных нефтепроводов применяются: запорная арматура, фасонные соединительные детали трубопроводов, кривые «горячего» и «холодного» гнутья. Требования к их надежности и долговечности должны соответствовать требованиям,

предъявляемым к стальным трубам. Из этого можно сделать вывод, что уровень противокоррозионной защиты перечисленных элементов трубопроводов, должен быть сопоставим с уровнем противокоррозионной защиты стальных труб [13].

### **1.2.1 Материалы трубопроводов.**

Материал для трубопроводных конструкций выбирают, опираясь на многие показатели. Но в первую очередь выбор материала зависит от климатических условий. Помимо этого, важным критерием выбора материала является тип среды, транспортировку которой будет производить система. В основном применяются трубы из металла и пластика. Металлические трубы могут быть чугунными или стальными. Пластиковые, в свою очередь, подразделяют на: поливинилхлоридные (ПВХ), полиэтиленовые (ПЭ), полипропиленовые и прочие.

Кроме этого, можно встретить системы из бетона, асбестоцемента, керамики, стекла.

Самым популярным материалом, который применяется в изготовлении труб для магистральных систем, является сталь. Стальные изделия обладают рядом преимуществ: надёжность, прочность, экономичность, простота сварки. Магистральная труба из такого материала служит, как правило, достаточно долго и надёжно.

По методу производства все трубы для магистральных конструкций принято разделять на:

1. Не имеющие шва.
2. Имеющие продольный шов.
3. Имеющие спиральный шов.

Труба магистральная бесшовная применяется в конструкциях с диаметром до 529 мм. Сварные трубы используют с диаметром 219 мм и выше. Длина выпускаемых труб, как правило, колеблется от 10,5 до 11,6 м. Диаметр наружной

поверхности и показатели толщины стенок труб подчиняются определённым стандартам.

Помимо этого, все трубы для трубопроводов подразделяют по климату, в котором они применяются на:

1. Обычные.
2. Северные.

Обычные трубы используются при строительстве конструкций в средних и южных широтах, а северные — в холодных климатических условиях. Рабочая температура для первой группы труб — 0 °С и выше. Для северных труб эксплуатационная температура — от –20 °С до –40 °С.

Сталь, которая используется для трубопроводных элементов, подвергается разным вариантам обработки и является, как правило, низколегированной.

В данной диссертационной работе мы будем рассматривать применение высокопрочных сталей.

### **1.2.2 Применение высокопрочных сталей**

Для понимания вопросов и задач, связанных со сваркой высокопрочных нефтепроводных сталей, подробно рассмотрены требования к химическому составу и механическим свойствам этих материалов. Можно сделать вывод, что микроструктура и легирование некоторых новейших марок высокопрочных трубопроводных сталей - X70, X80, X90, X100 и X120 позволяют увеличить размер и пропускную способность труб по сравнению с более ранними марками - X42, X46, X52, X56, X60 и X65.

Рассмотрены исследования по исследованию разрушения труб и обобщены причины их разрушения. Это помогает выявить проблемы, которые должны быть решены заранее, для применения сварной конструкции. В рамках данной обзорной статьи [14], была предпринята попытка критически проанализировать и обсудить вопросы и проблемы, связанные со

свариваемостью высокопрочных трубопроводных материалов. Важнейшими проблемами при сварке трубопроводов являются: коррозия, водородное охрупчивание, остаточные напряжения, ремонт сварного шва и ухудшение зоны термического воздействия, которые отрицательно влияют на эксплуатационные характеристики сварной конструкции.

При подготовке сварочных конструкций сварщик должен учитывать серьезность негативных последствий всех этих проблем для предполагаемого срока службы. Для этой цели представлено базовое понимание каждой проблемы и их роль в ухудшении качества сварного шва. Кроме того, серьезность их влияния на характеристики сварной конструкции критически обсуждается в отношении параметров сварки и микроструктуры материала. Различные типы коррозии, водородного охрупчивания, а также их благоприятные условия и методы предотвращения.

Исследования, касающиеся коррозии сварного шва, водородного охрупчивания сварных конструкций и остаточных напряжений при сварке, сосредоточены в основном для марок стали для трубопроводов X65, X70 и X80.

Остаточные напряжения могут увеличить скорость разрушения или разрушения сварной конструкции; это следует дополнительно изучить для используемых в настоящее время марок, таких как X65, X70 и X80, а также для сверхвысоких марок прочности. Состояние исследований ЗТВ находится в соответствии с текущими потребностями. Он исследуется для большинства марок в связи с различными процессами сварки.

Кроме того, обсуждаются и обобщаются текущие тенденции развития с целью определения будущих направлений. Тенденции развития в области сварки трубопроводов разделены на категории и для каждой категории представлено текущее состояние исследований. Эти категории и их дальнейшее разделение осуществляется следующим образом:

Распределение остаточных напряжений при сварке представляет собой сложное явление, которое изменяется от процесса к процессу из-за условий нагрева и удержания сварки. Поэтому измерение и прогнозирование

распределения остаточных напряжений в сварной конструкции необходимо дополнительно исследовать для каждого материала в зависимости от различных процессов сварки.

Присущая гибридным методам сварки универсальность должна быть полностью исследована для сварки трубопроводных сталей, но одновременно с этим необходимо решить сложные вопросы, связанные с оборудованием и процедурой сварки гибридных сварочных процессов.

Развитие новых материалов и сварочных процессов порождает развитие сварочных расходных материалов. Сварочные материалы для сварки двух разнородных марок Трубной стали и сверхвысокопрочных материалов должны быть разработаны и оценены в полной мере на благо отрасли. Это также поможет в использовании ремонта сварных швов вместо замены компонентов.

Распределение остаточных напряжений при сварке представляет собой сложное явление, которое изменяется от процесса к процессу из-за условий нагрева и удержания сварки. Поэтому измерение и прогнозирование распределения остаточных напряжений в сварной конструкции необходимо дополнительно исследовать для каждого материала в зависимости от различных процессов сварки.

Поскольку полное предотвращение возникновения сварочного дефекта неизбежно, поэтому необходимы постоянные усилия, чтобы избежать выхода из строя труб и трубопроводов путем минимизации сварочных дефектов. Предлагаемые подходы для этой цели нуждаются в дальнейшей проверке для передовых марок, а также для гибридных сварочных процессов.

Оценка восприимчивости водорода к охрупчиванию до сих пор проводится с использованием традиционных методов, которые требуют больших затрат времени. Разработка некоторых новых методов моделирования может помочь получить представление о восприимчивости материала к водородному охрупчиванию.

Современное развитие методов оценки коррозионной восприимчивости сварных швов труб требует все больших усилий исследователей.

## **2 Способы защиты от коррозии**

### **2.1 Причины и виды коррозионного разрушения трубопроводов**

Нефтегазовая промышленность – это отрасль экономики, занимающаяся добычей, переработкой, транспортировкой, складированием и отгрузкой полезного природного ископаемого нефти и сопутствующих нефтепродуктов. Оборудование изготавливается в основном из металлов и сплавов, сталей и чугунов. Это прочные технологичные материалы, которые эксплуатируются при высоких температурах, давлениях, в условиях механического износа в агрессивных средах. Одной из основных проблем при добыче подготовки транспорта и переработки отраслевой продукции, является отказ или разрушение трубопроводов узлов и агрегатов по причине коррозии. При этом надо знать, что коррозия – это самопроизвольное разрушение металла оборудования от воздействия внешних и внутренних факторов. Интенсивной коррозии в нефтегазовой отрасли подвергается нефтегазопромысловое оборудование, например, скважины и сборные коллекторы, трубопроводы для транспорта нефти газа и воды, оборудование для хранения нефти и газа, например, резервуары, газгольдеры, нефтезаводское, нефтехимическое оборудование и тд. В результате коррозии происходит разгерметизация оборудования и трубопроводов, что может привести к потери сырья, простоя оборудования, пожару и взрыву, загрязнению окружающей среды.

Коррозия – это разрушение твердых тел вызванная взаимодействием их с внешней средой.

Наиболее часто встречаются следующие виды коррозии:

1. Равномерная – охватывает всю поверхность равномерно;
2. Неравномерная;
3. Избирательная ;
4. Атмосферная;
5. Грунтовая;
6. Щелевая;

7. Питтинговая;
8. Контактная.

Основная причина коррозии – это термодинамическая неустойчивость металла в различных средах при данных внешних условиях. Термодинамика дает исчерпывающие сведения о возможности или невозможности самопроизвольного протекания коррозионного процесса при определённых условиях. Сам коррозионный процесс протекает на границе раздела двух фаз металл и окружающая среда. То есть является процессом взаимодействия жидкой или газообразной среды с металлами. При этом очень большую роль играет в каком состоянии находится металл, является ли его структура, особенно структура его поверхности однородной или неоднородной, в зависимости от этого термодинамическая энергия которая может израсходована на коррозию очень сильно отличается. Кроме того, очень важно действует ли на металл различные механические нагрузки различной природы, если они действуют, то они существенным образом ускоряют коррозию и могут приводить к очень неприятным и тяжелым последствиям для металла. Среда, которая окружает металл и контактирует с ним, так же играет очень большую роль поскольку от ее состав существенным образом зависит взаимодействия среды с металлом и скорость коррозии [15].

По словам профессора кафедры технологии нефтяного аппаратостроения механического факультета Уфимского государственного нефтяного технического университета-опорного ВУЗа России (УГНТУ) Дмитрия Бугая – для изучения механизма коррозии установления закономерности взаимодействия электролита и коррозионной среды с металлом нужно знать много факторов, один из основных факторов это структура металла, без знания структуры металла невозможно изучить механизм процессов, которые происходят при контакте металла с коррозионной средой. Необходимо так же знать состав коррозионной среды и ее свойства и только после этого можно изучить то, что происходит на поверхности металла в ходе коррозии. Это сложные процессы, которые можно подразделить на несколько разновидностей.



Если коррозия происходит в газовой среде – это газовая коррозия, протекающая по химическом механизму. Если взаимодействие происходит электролитами коррозионной среды с поверхностью металла, то это электрохимическая коррозия, которая происходит по законам электрохимической кинетики.

С точки зрения механизма коррозионного процесса можно выделить два основных типа коррозии: химическую и электрохимическую. Рассмотрим их по отдельности.

#### Химическая коррозия.

Под химической коррозией понимают разрушение металлических материалов под воздействием коррозионных сред непроводящих электрически ток, например, кислород, диоксид углерода, диоксид серы, нефть и продукты ее переработки. Подобные среды встречаются не так часто, чаще всего агрессивным компонентом среды является кислород воздуха при высокой температуре, а это гораздо выше  $100^{\circ}\text{C}$ , которые вступают в химическую реакцию с металлом. Поэтому в литературе при описании химической коррозии рассматривают процесс окисления металлов кислородом воздуха. Таким образом при взаимодействии металла с кислородом последнее абсорбируется на поверхности металла в результате на металле образуется оксидная пленка продуктов коррозии. На образовании пленки расходуется не только атмосферный кислород, но и металл. Поэтому чем толще пленка, тем тоньше становится металл. Наиболее распространённым и наиболее значительным видом химической коррозии металла, является газовая коррозия. Коррозия газов и металлов, при высоких температурах. Газовая коррозия металлов имеет место при работе многих металлических деталей и аппаратов. Сам механизм химической коррозии заключается в росте оксидной пленки на поверхности металла и диффузии сквозь нее от металла края пленки катионов и электронов, а также встречной диффузии сквозь пленку из атмосферы к металлу ионов кислорода или иных агрессивных частиц.

По словам доцента кафедры технологии нефтяного аппаратостроения механического факультета Уфимского государственного нефтяного

технического университета УГНТУ Льва Захарова – Такие металлы как барий, калий, магний образуют легкоплавкие окислы и поэтому они не могут сопротивляться газовой коррозии, металлы как титан, никель, хром, имеют более совершенную пассивную защитную пленку и лучше противостоят данному виду коррозии.

Для эксплуатации в условиях газовой коррозии применяются в основном так называемые жаростойкие, жаропрочные сплавы. Для увеличения сопротивления окислению в состав углеродистых сталей или чугунов вводят как правило хром, никель, кремний и алюминий.

Электрохимическая коррозия.

Отличие электрохимической коррозии от химической коррозии, является разрушение металлических материалов под воздействием коррозионных сред, проводящих электрических ток это водные растворы солей, кислоты щелочей. Это самый распространенный вид коррозии, так как встречается везде где есть влага. Причины электрохимической коррозии так же является термодинамическая неустойчивость металлов в водных растворах, реакция взаимодействия металла с окружающей средой включает 2 основных процесса:

Анодный. Переход металла в раствор при взаимодействии ионов с диполями молекул воды в виде гидратированных ионов с задержкой эквивалентного количества электронов в корродирующем металле.

Катодный. Ассимиляция избыточных электронов деполяризаторами, то есть молекулами миллионами раствора, восстанавливающийся на катоде.

По словам доцента кафедры технологии нефтяного аппаратостроения механического факультета Уфимского государственного нефтяного технического университета УГНТУ Михаила Худякова – При электрохимической коррозии в отличии от химической, процесс происходит за счет переноса электрических зарядов. Согласно классической теории электрохимической коррозии, коррозионный процесс возникает в следствии работы многочисленных гальванических элементов.

Одной из теорий, значительно повлиявших на восстановление науки о коррозии, стала теория короткозамкнутых гальванических элементов. В начале IX века была сформулирована теория локально-гальванических элементов, согласно которой при коррозии в короткозамкнутом элементе электроотрицательные участки металла, являются растворяющимися микроанодами, а электроположительными микро катодами. Чистый металл с однородной поверхностью не должен корродировать, скорость процесса тем выше, чем больше разность потенциалов между электродами, то есть микроанодами и микро катодами, которые являются движущей силой процесса. Эту теорию подтвердили экспериментально обнаруженные катодные и анодные участки на неоднородной поверхности металла. Ассимилируют электроны с катодных участков протоны, это происходит только в очень кислых средах и у термодинамически активных металлов. В результате на катодах будет выделяться водород, такие процессы называют коррозия с водородной деполяризацией. При наличии в растворе газообразного кислорода и при невозможности протекания процесса коррозии с водородной деполяризацией, роль деполяризатора играет кислород. Коррозионные процессы, в которых катодная деполяризация осуществляется в растворенном электролите кислородом, называется процессами коррозии с кислородной деполяризацией. Это наиболее распространённый вид коррозии в воде, в нейтральных и слабокислых солевых растворах, в морской воде, в грунтовых электролитах и в атмосфере воздуха. Этот процесс приводит либо к подщелачиванию среды, либо к появлению воды в слабокислых средах.

Около 10% ежегодно добываемого в мире металла безвозвратно теряется вследствие коррозии оборудования. Основной ущерб от коррозии связан не только с потерей самого металла, но и с порчей или выходом из строя металлических конструкций. Так как в следствии коррозии они теряют требуемую прочность, пластичность, герметичность, тепло электропроводность, отражательную способность и другие важные свойства.

По словам доцента кафедры технологии нефтяного аппаратостроения [16] механического факультета Уфимского государственного нефтяного технического университета УГНТУ Виктора Кравцова – Полностью остановить этот процесс невозможно, но человек научился управлять этим процессом и существенно замедлять коррозию, применяя различные способы.

## **2.2 Методы предотвращения от коррозии**

В настоящее время существуют много методов защиты металлов и сплавов от коррозии. В нефтегазовой отрасли применяют следующие методы противокоррозионной защиты:

### **1. Использование коррозионностойких сталей и сплавов.**

Данный метод связан с применением при сооружении оборудования весьма дорогостоящих легированных сталей и сплавов и используются только тогда, когда это экономически целесообразно.

### **2. Электрохимическая защита.**

Это очень широко используемый метод защиты, применяющихся для протяженных металлоконструкций и в первую очередь для защиты нефтегазопроводов от грунтовой коррозии. Его смысл заключается в поляризации внешней поверхности трубы таким образом, чтобы скорость коррозии металла стала минимальной [15].

### **3. Антикоррозионное покрытие.**

Они так же используются для защиты внешней поверхности нефтегазопроводов в сочетании с электрохимической защитой. Для этого применяют полимерные, лакокрасочные, силикатно эмалевые, эпоксидные и металлические покрытия, в зависимости от вида защищаемого оборудования в условиях его эксплуатации.

### **4. Металлические покрытия.**

Металлическое покрытие наносится на металл, который необходимо защитить от коррозии, слоем другого металла, устойчивого к коррозии в тех же

условиях. Если металлическое покрытие изготовлено из металла с более отрицательным потенциалом (более активный), чем защищаемый, то такое покрытие носит название - анодное покрытие. Если металлическое покрытие изготовлено из металла с более положительным потенциалом (менее активный), чем защищаемый, то такое покрытие носит название – катодное покрытие.

Можно привести такой пример, если при нанесении слоя цинка на железо, нарушается целостность покрытия, цинк выступает в качестве анода и будет разрушаться, тем самым железо будет защищено до тех пор, пока не израсходуется весь цинк. Цинковое покрытие является в данном случае анодным. Катодным покрытием для защиты железа, может, например, быть медь или никель. То при нарушении целостности такого покрытия, начинает разрушаться защищаемый металл.

#### 5. Неметаллические покрытия.

Такие покрытия могут быть неорганические (цементный раствор, стекловидная масса) и органические (высокомолекулярные соединения, лаки, краски, битум).

#### 6. Химические покрытия.

В данном случае защищаемый металл подвергается химической обработке с целью образования на поверхности пленки его соединения, устойчивой к коррозии. К этому можно отнести:

- Оксидирование – получение устойчивых оксидных пленок ( $Al_2O_3$ ,  $ZnO$  и др.);
- Фосфатирование – получение защитной пленки фосфатов ( $Fe_3(PO_4)_2$ ,  $Mn_3(PO_4)_2$ );
- Азотирование – поверхность металла (стали) насыщают азотом;
- Воронение стали – поверхность металла взаимодействует с органическими веществами;
- Цементация – получение на поверхности металла его соединения с углеродом.

Изменение состава технического металла может способствовать повышению стойкости металла к коррозии. В таком случае в металл вводят такие соединения, которые усиливают его коррозионную стойкость.

#### 7. Протекторная защита.

К защищаемому сооружению приспособливают пластины более активного металла, такой металл называется протектором. Протектор – это металл с более отрицательным потенциалом – является анодом, а защищаемое сооружение – катодом. При соединении протектора и защищаемого сооружения проводником тока, приводит к разрушению протектора.

#### 8. Ингибиторы коррозии.

Этот метод защиты широко распространен при добыче нефти и газа и заключается в введении в коррозионную среду небольших количеств органических или неорганических веществ ингибиторов, значительно снижающих агрессивность коррозионной среды.

Применение ингибиторов – это один из самых эффективных способов борьбы с коррозией металлов в различных агрессивных средах. Наиболее распространенным ингибитором коррозии стал Ифхан – 118. Так же можно отметить, что ингибиторы – это такие вещества, которые способны в малых количествах не только сдерживать протекание химических процессов, но и останавливать их. Термин ингибитор происходит от латинского слова *inhibere*, которое означает «сдерживать», «останавливать», «замедлять». Ингибирующее воздействие на металлы, преимущественно на сталь, оказывает целый ряд неорганических и органических веществ, которые часто присоединяются в среду, вызывающую коррозию. Так же ингибиторы имеют свойство создавать на поверхности металла очень тонкую пленку, защищающую металл от коррозии [17].

#### 9. Эмальевая защита.

Развитие многих производств химии, металлургии, энергетики, нефтяной, газовой и других отраслей тесно связано с необходимостью применения

конструкционных материалов и покрытий, обладающих высокой химической устойчивостью.

К числу наиболее надежных и универсальных средств защиты металлических изделий от коррозии относятся эпоксидно-полиуретановое и силикатно-эмалевое покрытие.

Силикатно-эмалевое покрытие.

Сочетает в себе прочностные свойства металла – стали с высокой химической устойчивостью к агрессивным средам.

Применение неорганических материалов в антикоррозионной защите – перспективное направление, поскольку их свойства долговечны и стабильны во времени.

Покрытия из силикатных эмалей обладают высокой термостойкостью при практически полном отсутствии старения, свойственного всем органическим материалам. Широкий интервал рабочих температур (от + 350 до – 600°С) позволяет использовать их для защиты подземных трубопроводов самого разного назначения, строящихся и на Крайнем Севере, и в Средней Азии. Эмалевое покрытие характеризуется высокой прочностью на сжатие и истирание, хорошими адгезионными и электроизоляционными свойствами.

Силикатно-эмалевое покрытие применяется:

- для трубопроводов, транспортирующих нефть и нефтепродукты;
- для сухотрубных растворопроводов и их внутренней разводки;
- для трубопроводов хозяйственного и питьевого водоснабжения и водоотведения;
- для трубопроводов противопожарного водоснабжения, постоянно заполненных рабочим раствором пенообразователя;
- при использовании морской воды для пожаротушения.

Покрытие обеспечивает защиту поверхности изделий от коррозии, воздействия температур и среды транспортируемого продукта; сохраняет первоначальный состав перекачиваемого продукта без потери его качества. Покрытие для растворопроводов надземной и подземной прокладки

обеспечивает защиту от коррозии, вызванной воздействием морской воды и водных растворов пены для пожаротушения в интервале температур от +5°C до + 30°C.

Покрытия из силикатных эмалей с успехом могут применяться для защиты не только газо- и нефтепроводов, но и теплопроводов, а также трубопроводов химической водоочистки и гидрозолоудаления. Наиболее важной представляется возможность использования этих покрытий в качестве антикоррозионных для труб тепловых сетей при температуре теплоносителя до 300°C.

Кроме того, при обжиге эмали происходит одновременно, и закалка стали труб, что качественно повышает ее механические свойства. Вследствие этого можно применять трубы с меньшей толщиной стенки.

Применение этого покрытия имеет следующие преимущества:

- увеличение срока службы трубопроводов до 50 лет;
- увеличение пропускной способности труб более чем в 1,5 раза;
- обеспечение высокой чистоты транспортируемого продукта;
- предотвращение абразивного износа и отложения на стенках труб;
- повышение надежности трубопроводов в эксплуатации, особенно в условиях воздействия коррозионно-активных сред [18].

#### 10. Защита с помощью напыления.

Существуют 2 основных вида напыления, термическое и газотермическое. Рассмотрим каждый вид по отдельности.

Термическое напыление металлических покрытий – это процесс нанесения расплавленного металла на основу (грунтовку) до проектирования. Применяемые методы нанесения и металлы могут быть разными, но главное, чтобы результат на поверхности покрытия оставался тонким, устойчивым к коррозии и абразивному действию, что улучшает свойства поверхности. Этот метод напыления металлических покрытий применяется уже достаточно долго. Результаты и тестирования применения внешнего воздействия на поверхность,



показал, что данный метод является более эффективным в длительной антикоррозионной защите стали, чем обычное покрытие поверхности краской.

Как и для атмосферной защиты железа и стали, так и для защиты поверхности при погружении в солёную и пресную воду, рекомендуют использовать два металла, такие как алюминий и цинк. Цинк является чистым на 99,9% и не вызывает загрязнения в процессе напыления. Значит, что термически напыляемые цинковые покрытия более чистые, чем те, которые используются в процессе горячей гальванизации, к примеру никель, который используют в процессе гальванизации, содержит большое количество примесей железа. А алюминий обычно чистый на 99% и используется в процессе большинства антикоррозионных работ.

Чтобы защитить изделия с помощью методов как покраска или нанесение электролитического покрытия, используют напыление тонкого цинкового покрытия, толщина которого (25 микрон), обеспечивает наиболее лучшую защиту небольших металлических частей, такие как гайки и болты, которые изготавливают, затем покрывают металлическим покрытием в очистном барабане (для отливок). Алюминиевое покрытие дешевле, чем цинковое или другое покрытие, имеющее такую же толщину, однако перед его напылением необходима более тщательная подготовка поверхности. Алюминий не рекомендуют для использования в покрытиях толщиной менее 75 микрон. Таким образом, цинк рекомендуют использовать только в том случае, если необходимо уменьшить стоимость дробеструйной очистки до минимума или в случае необходимости очень тонкого покрытия. Однако цинк имеет более высокий электролитический потенциал, чем алюминий и обеспечивает наиболее лучшую защиту, но может наноситься только на небольшие участки поверхности. К небольшим покрытым участкам можно отнести царапины и пустоты на обратной стороне заклёпок лучше защищать методом гальванизации с использованием цинка, а не алюминия.

Ниже перечислены преимущества цинкового и алюминиевого покрытия.

Алюминий:

- Устойчивость к высоким температурам;
- Лёгкий;
- Хорошая устойчивость к загрязнённой и морской средам;
- Образует оксидный слой, что уменьшает пропускающую способность поверхности;
- Уменьшает коррозию.

Цинк:

- Подходит для катодной защиты;
- Хорошая устойчивость к механическим повреждениям;
- Срок службы пропорционален толщине покрытия (в том случае, если укрепляющие материалы не применяются);
- Используется в антикоррозийных грунтовочных покрытиях.

Напыленный алюминий способен выдерживать действие многих разведённых растворов кислот (имеющих рН 3.5 и выше), срок службы данного покрытия определяется в зависимости от химического состава реагентов и вида поверхности. Сильно разбавленные растворы окиси азота и серной кислоты, а также многие органические кислоты имеют незначительное воздействие на напыленные алюминиевые покрытия, если они обработаны подходящим укрепляющим материалом. Напыленный цинк плохо противостоит действию почти всех кислот, как органических, так и не органических. Цинковые покрытия используются, преимущественно, в диапазоне рН от 6 до 12.

Как и при напылении цинкового покрытия, срок службы определяется плёнкообразующей природой среды. Сопротивляемость цинка больше в жёсткой воде, чем в мягкой. Он имеет плохую сопротивляемость в любой воде при температуре выше 240°C [19].

Газотермическое напыление.

Газотермическое напыление – это метод переноса расплавленных частиц на обрабатываемую поверхность при помощи газового или плазменного потока.

Покрyтия, образованные газотермическим способом, обладают износостойкостью, коррозионной устойчивостью, антифрикционными, противозадирными, термостойкими, электропроводными и другими свойствами.

В качестве напыляемого материала используются проволоки, шнуры и порошки из металлов, керамики или металлокерамики.

Существуют следующие методы газотермического напыления:

- Высокоскоростное газопламенное напыление: используется для образования плотных металлокерамических и металлических покрытий;
- Детонационное напыление: применяется для восстановления небольших поврежденных участков поверхности;
- Плазменное напыление: используется для создания тугоплавких керамических покрытий;
- Электродуговое напыление: применяется для нанесения антикоррозионных металлических покрытий на большие площади поверхности;
- Газопламенное напыление: самый простой и недорогой метод в плане внедрения и эксплуатации; используется для защиты больших поверхностей от коррозии и восстановления геометрии деталей;
- Напыление с оплавлением: металлургически связывает покрытие с основанием; применяется в тех случаях, когда отсутствует риск деформации деталей или этот риск оправдан. [20]

### **3 Двухслойные стали**

#### **3.1 Марки, способы получения и область применения**

Двухслойные стали, относятся к разряду биметаллов, которые имеют, обычно, основной слой из конструкционной стали и плакирующий из коррозионностойкой, являются уникальным материалом, который сочетает требуемые механические свойства и необходимую коррозионную стойкость [21]. Основными показателями качества двухслойного проката, которые определяют его технологичность при изготовлении оборудования и эксплуатационные свойства изделия, являются не только сплошность и прочность соединения слоев, но и специальные свойства плакирующего слоя (износостойкость, коррозионная стойкость и др.) [22]. В настоящее время в Российской Федерации данные требования к листовым двухслойным сталям нормируются по ГОСТ 10885-85, которые ориентированы на биметалле и, получают по схеме пакетной прокатки. Повышения потребностей в высокопроизводительном оборудовании для нефтегазоперерабатывающих и химических производств, работающем в самых экстремальных условиях, такие как, высокие и низкие температуры, давление, действие агрессивных сред, также циклические нагрузки, вызывают необходимость применения надежных биметаллов, которые обеспечивают соблюдение требований Ростехнадзора к пожаро- и взрывоопасным объектам безопасную эксплуатацию оборудования на протяжении долгих лет. В случае многократных циклических нагрузок при эксплуатации часто обнаруживаются нарушения сплошности сцепления слоев и отслаивание плакирующего слоя из-за недостаточной прочности сцепления в исходном двухслойном прокате [23]. Это вызывает необходимость проведения ремонтов с соответствующими экономическими затратами и снижает ресурс работы оборудования. Регламентируемые ГОСТ 10885 – 85 характеристики к сожалению, не отвечают современным требованиям, в связи с чем широкое распространение получили проекты иностранных фирм. На сегодняшний день при строительстве аппаратов и установок российских нефтеперерабатывающих

заводов (НПЗ) используются импортные двухслойные стали. Это обстоятельство вызывает потребность развития современных отечественных технологий производства биметаллов с высокими показателями качества. При этом технология их получения должна обеспечивать комплекс требуемых свойств, а также быть экономичной и конкурентоспособной как на внутреннем, так и на мировом рынках.

Наиболее часто применяют двухслойные стали толщиной 8-40 мм с основным слоем из стали СтЗсп2, Ст10, 15К, 20К, 16ГС, 09Г2С, 12МХ, 12ХМ и защитным (плакирующим) слоем из коррозионностойких сталей марок 20Х13, 08Х18Н10Т, Х17Н13М2Т [24].

Применяются также двухслойные стали толщиной 10-12мм коррозионностойким слоем из стали 0Х23Н28М3Д3Т.

Двухслойные стали получают с помощью совместной горячей прокатки двух листов из стали основного и плакирующего слоя, а затем прочно свариваются между собой. Складирование двухслойных сталей различных марок и толщины должны изготавливаться с помощью складской программы, которая позволит быстро найти нужную марку стали или деталь. Для осуществления таких целей и потребностей существует простая программа для склада, не требующая специального обучения персонала.

Сварка двухслойных сталей производится следующими способами:

1. Автоматическая сварка под слоем флюса основного и плакирующего слоя;
2. Ручная дуговая сварка (РДС) основного и плакирующего слоя,
3. Автоматическая сварка под слоем флюса основного слоя и ручной дуговой сваркой плакирующего слоя,
4. Полуавтоматическая сварка в среде защитным газом основного слоя и аргонодуговой сваркой плакирующего слоя.

При РДС после выполнения сварного шва со стороны основного слоя производится выплавка углеродистого шва со стороны плакирующего слоя. Для сварки плакирующего слоя аустенитными электродами применяют постоянный

ток обратной полярности. Сварку производят короткой дугой. При сварке в несколько проходов, последующие слои накладывают после охлаждения предыдущего слоя до температуры не выше 100°C.

На сегодняшний день получение двухслойных листов с самыми высокими технологическими и эксплуатационными свойствами стало возможным в условиях ОАО «Северсталь» способом электрошлаковой наплавки (ЭШН) коррозионно износостойкой и других специальных сталей на слябы с последующей их прокаткой.

Сущность промышленной технологии получения двухслойных слябов с помощью ЭШН заключается в том, что в зазоре между поверхностью сляба из основного металла и водоохлаждаемым кристаллизатором направляется шлаковая ванна, в которую помещаются вертикально расположенные электроды из коррозионностойкой стали с перекрытием всей ширины, которые подаются сверху вниз с одновременным передвижением сляба (по стрелке – рис. 3.1). При протекании электрического тока происходит разогрев шлаковой ванны, при этом мощности должно быть достаточно, чтобы не только расплавились расходующиеся электроды, но, и чтобы происходили подплавления поверхностных участков основного слоя. Наплавленный слой кристаллизуется на поверхности сляба, а толщина его складывается из величины зазора между поверхностью сляба и кристаллизатором, также глубина проплавления основного слоя. Толщина наплавленного слоя модифицируется в зависимости от требуемой толщины плакирующего слоя в готовом прокате.

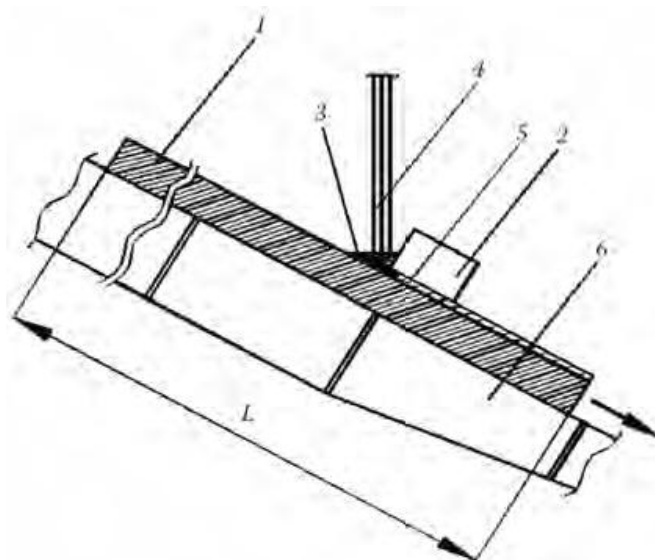


Рисунок 3.1 – Схема получения двухслойного сляба методом широкослойной наклонной электрошлаковой наплавки: 1 – сляб основы; 2 – кристаллизатор; 3 – жидкая шлаковая ванна; 4 – расходимые электроды; 5 – наплавленный слой; 6 – селетка для сляба; L – длина сляба

В процессе электрошлаковой наплавки происходит рафинирование лакирующего слоя, то есть снижение содержания серы, кислорода и неметаллических включений, но при этом соединение основного и лакирующего слоев происходит при совместной кристаллизации из жидкого состояния, благодаря чему обеспечивается высокая прочность сцепления слоев. Специалистами ФГУП «ЦНИИ чермет имени И.П. Бардина» и ООО «Институт биметаллических сплавов» были проведены масштабные комплексные исследования по оптимизации технологических режимов получения исходных составляющих, корректировке электрических параметров процесса чтобы предотвратить разную толщину лакирующего слоя.

В наши дни проводится улучшение существующего оборудования, чтобы добиться полной автоматизации процесса и исключения влияния человеческого фактора при получении двухслойных слябов. Ввод рекомендаций по разработанной технологической схеме, которая пока не имеет мировых аналогов, в рамках, выпускаемых в ОАО «Северсталь» промышленных партий обеспечивает прочность сцепления слоев до 500 Мпа, которая превышает все существующие требования стандартов по этому показателю для других способов

производства. Такой высокий уровень прочности сцепления слоев полностью исключает возможность расслоения в процессе производства, также эксплуатации сосудов и аппаратов из двухслойных сталей, позволяет повысить срок их гарантии, вплоть до 40 лет.

За последние несколько лет при участии ведущих отечественных научно-исследовательских и проектных организаций на базе этой технологии были разработаны ТУ, СТО, РП на изготовления двухслойных листов с основным слоем из сталей 12ХМ, 09Г2С и Ст3 и плакирующим слоем из сталей 08Х13 и (08-12)Х18Н10Б. В новых нормативно-технических документах были учтены требования международных стандартов и проектов известных организаций, таких как АХСЕНС, FLUOR, Conoco Phillips, АВВ и т.д. Так же стала осуществляемая в настоящее время отработка технологии прокатки двухслойных слябов в условиях стана 5000 ЛПЦ-3 ОАО «Северсталь» позволит получать крупногабаритные листы площадью 50 м<sup>2</sup>. Это приведет к уменьшению количества сварных швов, промежуточных послесварочных циклов термообработки и соответственно затрат при изготовлении оборудования для химической и нефтеперерабатывающей отраслей, такие как, ректификационные колонны, реакторы, теплообменники, резервуары для хранения сырой и товарной нефти и многое другое. При этом 80% необходимости этих отраслей можно обеспечить благодаря применению отечественных высококачественных двухслойных сталей.

Помимо производства надежной нефтехимической аппаратуры, появляются некоторые вопросы о повышении коррозионной стойкости нефтепромыслового оборудования – сварных внутрипромысловых нефтепроводов, резервуаров для хранения сырой и товарной нефти (рис. 3.2), ведь при повышенном содержании в водной фракции хлоридов и других агрессивных компонентов активно развиваются процессы локальной коррозии. Можно привести пример, скорость язвенной коррозии нижнего пояса и днища резервуаров превосходит скорость общей коррозии в 3 – 6 раз и может достигать



3...4 мм/год. Наиболее опасными становятся сквозные проржавления, которые приводят к утечке нефтепродукта.

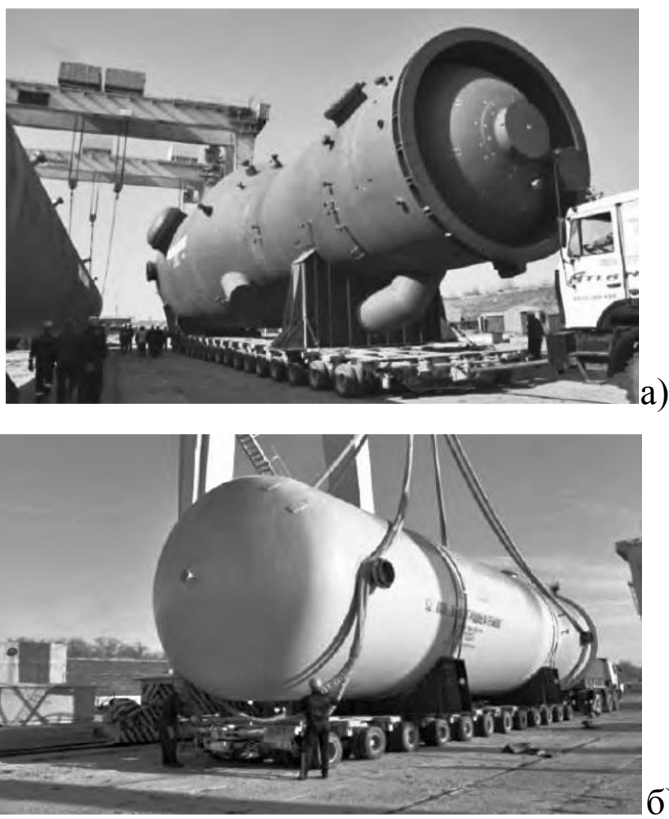


Рисунок 3.2 – Коксовая камера (а): диаметр – 6700мм, толщина стенки – 40мм, длина – 22мм (12ХМ+08Х13); реактор 400RO1 (б):

диаметр – 5600мм, толщина стенки – 40мм, длина – 18м (09Г2С+08Х13)

Среднестатистический срок службы днища резервуаров с применяемыми в настоящее время защитными покрытиями не превышает 10 лет. В некоторых случаях межремонтные сроки могут составить всего лишь один год, ремонты проводятся в летний период и достаточно продолжительны, поэтому нанесение защитных покрытий требует специальной подготовки поверхности и промежуточных просушек. В связи с этим является перспективным применение двухслойных сталей с плакирующим слоем из коррозионностойкой небольшой (до 1,5 мм) толщины хромистой стали. Использование горячекатаных биметаллических листов из рулонов, получаемых на стане 2000 ЛПЦ-2 ОАО «Северсталь», существенно позволяет сократить сроки сдачи оборудования резервуаров и его стоимость. Проведенные в НИФХИ им. Л.Я. Карпова

испытания на стойкость против общей и питтинговой коррозии, в которых в том числе и были и сварные соединения, а также натурные испытания показали, что плакирующий слой из стали 08X13, полученный способом электрошлаковой наплавки, имеет наилучший показатель, но и наибольшую склонность к питтингообразованию коррозионностойкие стали обычной выплавки (рис. 3.3 график). Следовательно, применение двухслойного проката для изготовления и ремонта нефтяных резервуаров является главным решением проблемы защиты от коррозии их внутренней поверхности.

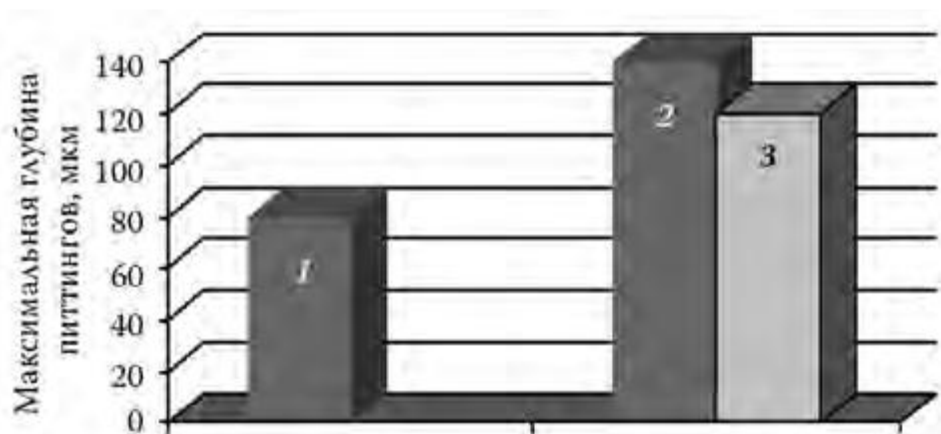


Рисунок 3.3 – Результаты испытаний на стойкость против питтинговой коррозии:

1 – наплавленный слой 08X13 повышенной чистоты по примесям; 2 – обычная сталь 08X13; 3 – обычная сталь 08X18H10T

Для улучшения экологической обстановки регионов и экономической целесообразности перспективно применение двухслойных коррозионностойких сталей для труб нефтяного сортамента (рис. 3.4) на участках трасс нефтепроводов, наиболее интенсивно подвергающихся коррозионному воздействию и наиболее опасных в аварийном отношении [25].



Рисунок 3.4 – Бесшовные биметаллические трубы и сварные нефтепромысловые трубопроводы

В 1997 г., был произведен первый опыт применения коррозионностойких биметаллических сваренных токами высокой частоты (ТВЧ) труб был связан с опытной партией сварных трехслойных труб и строительством нефтепромысловых трубопроводов в ОАО «Славнефть-Мегионнефтегаз» При сборке трубопроводов были отмечены не только высокая технологичность труб из трехслойной стали, но и полное отсутствие расслоений при проведении подготовительных и сварочных работ. В общей сложности строительство трубопроводов из плакированных труб диаметром 159...426 мм велось в 1997–2003 гг.

Однако двухслойные трубы, полученные с применением ТВЧ, массового распространения не смогли получить, так как в процессе производства при снятии грата плакирующий слой частично удалялся, и приходилось вести монтаж труб с расположением сварного шва по верхней образующей.

Промысловые и комплексные лабораторные испытания в течении нескольких лет эксплуатации труб показали, что коррозия происходит в месте сварного шва, но общая коррозия внутренней поверхности тела трубы не превышает 0,01 мм/год, также отсутствуют признаки локальной коррозии. Вследствие этого является вопрос о защите сварного шва после удаления грата, с помощью наплавки узкой полоски сварного шва (в месте отсутствия плакирующего слоя) дуговой сваркой с автоматической системой слежения за

процессом. В настоящее время проводится освоение производства двухслойных прямошовных сварных труб диаметром до 1020 мм с плакирующим слоем из коррозионно-стойких Cr–Ni–Mo-сталей. В Российской Федерации таких труб опыт производства отсутствует. Так же в будущем решают вопрос о изготовлении штампосварных деталей трубопроводов и их монтажной сварки.

### **3.1.1 Механические свойства двухслойной стали**

Расчет напряженного и деформированного состояний заготовки, силовых параметров и предельных возможностей формоизменения процесса вытяжки с утонением стенки двухслойных материалов возможен только при наличии информации о характеристиках механических свойств и параметров кривых упрочнения исходной заготовки [26, 27]. Эти величины для конкретного материала определяются экспериментально. В отличие от известных методик определения механических характеристик двухслойных материалов, когда механические свойства двухслойных листов оценивают свойствами материала основного слоя [28], предложено их оценивать, как свойства основного и плакирующего слоев материала. Анизотропия механических свойств листовой горячекатаной стали 12ХЗГНМФБА, плакированной слоем стали 08Х13, оценивали по свойствам материала основного и плакирующего слоев. Для этого вырезали образцы из металла со снятым плакирующим слоем толщиной  $s_0=3$  мм и со снятым основным слоем  $s_0=1$  мм. Образцы с разной исходной толщиной  $s_0$  изготавливали фрезерованием. Пропорциональные образцы вырезались в соответствии с ГОСТ 11701-84 (при  $s_0 < 3$  мм) и ГОСТ 1497-84 (при  $s_0 < 3$  мм) в пределах одного листа под углами 0, 45 и 90° к направлению прокатки по шесть штук каждого вида. Точность размеров образцов обеспечивалась их обработкой в специальных шаблонах. Схема раскроя листов и вырезки образцов приведена на рисунке 3.5.

Предварительно перед испытаниями на образец в зоне расчетной длины  $l_0$  наносилась делительная сетка со стороной квадрата 10 мм. Делительная сетка

с точностью до 0,025...0,03 мм наносилась алмазным индентором на измерительном микроскопе УИМ-21 по методике, изложенной в работах [29-30]. До и после испытаний размеры ячеек образцов измерялись на том же микроскопе. Растяжение образцов, вырезанных под углами 0, 45 и 90° к направлению прокатки, осуществлялось на универсальной испытательной машине «Instron 5982»

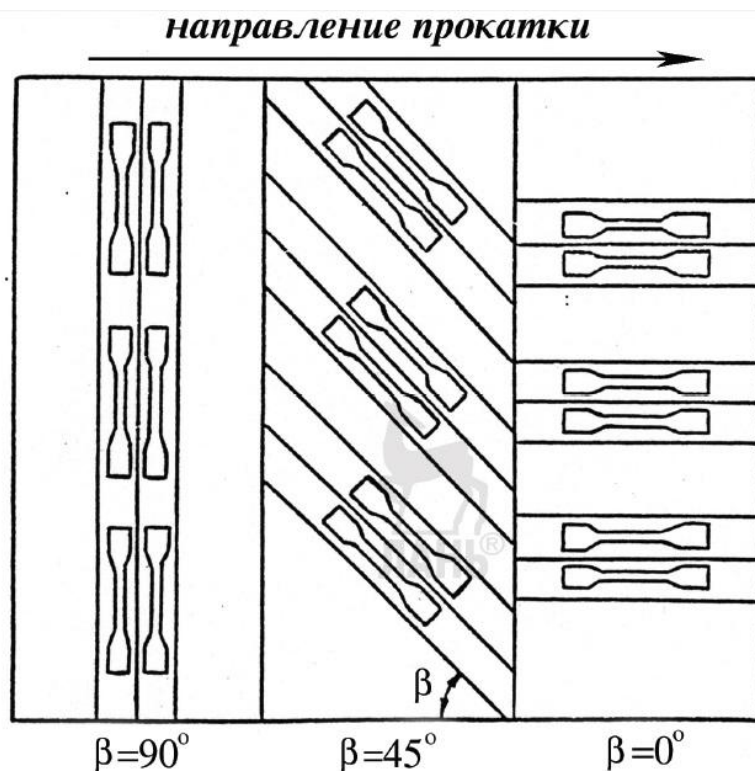


Рисунок 3.5 – Схема раскроя листов и вырезки для испытания на анизотропию механических свойств листового материала

В таблице 3.1 и 3.2, приведены экспериментальные данные могут быть использованы при расчете напряженного и деформированного состояний, силовых параметров исследуемого двухслойного материала в процессе пластического формоизменения [31].

Таблица 3.1 – Значения коэффициентов анизотропии и величин отношений параметров анизотропии

Материал	R <sub>α</sub> при угле вырезки образца β, град			R <sub>ср</sub>	λ <sub>R</sub>	Отношение параметров анизотропии		
	0	45	90			H/F	G/F	N/F
Сталь 12Х3ГНМФБА	1,05	1,10	0,85	1,00	0,250	0,850	0,809	2,894
Сталь 08Х13	0,55	0,48	0,66	0,56	0,321	0,550	1,200	2,156

Таблица 3.2 - Механические характеристики исследуемых материалов от угла вырезки образцов

Материал	β. Град	R <sub>β</sub>	σ <sub>0,2</sub> , Мпа	σ <sub>тц</sub> , МПа	E, МПа	σ <sub>в</sub>
Сталь 12Х3ГНМФБА	0	1,05	$\frac{535,0}{538,5}$	447,3	87792,5	622,2
	45	1,10	$\frac{500,0}{503,9}$	397,3	78238,2	561,6
	90	0,85	$\frac{510,0}{510,0}$	417,0	84879,1	595,5
Сталь 08Х13	0	0,55	$\frac{435,0}{439,3}$	534,6	98763,0	534
	45	0,48	$\frac{472,0}{468,5}$	578,6	98859,3	578,6
	90	0,66	$\frac{465,0}{465,0}$	589,9	109934,9	589,6

Продолжение таблицы 3.2

Материал	β. Град	δ, %	Ψ, %	δ <sub>p</sub> , %
Сталь 12Х3ГНМФБА	0	28,7	52,0	6,8
	45	23,3	59,9	8,1
	90	26,0	51,1	5,78
Сталь 08Х13	0	27,5	54,8	11,1
	45	26,0	52,4	10,3
	90	25,0	51,7	9,5

Константы кривой упрочнения для исследуемых материалов определялись путем обработки индикаторных диаграмм «сила – путь» в области равномерной деформации с учетом постоянства объема материала на базовой длине образца. Экспериментальные константы  $Q_k$  и  $n_k$  находились с использованием методики нелинейного оценивания параметров.

Таблица 3.3 - Константы кривых упрочнений исследуемых материалов

Материал	$\sigma_{i0.2k}$ , МПа	$Q_k$ , Мпа	$n_k$
Сталь 12Х3ГНМФБА	520,2	496,04	0,435
Сталь 10Х13	432,5	512,05	0,498

Обработка экспериментальных данных осуществлялась в предположении изотропного упрочнения анизотропного материала [29, 30], что позволило значительно упростить обработку опытных данных и сократит объем экспериментальных исследований при построении единой кривой упрочнения.

Принимая в качестве базовых экспериментальные данные  $\sigma_{s90} = \sigma_{s90}(\epsilon_{90})$  при растяжении плоских образцов в направлении оси  $y$ , рассчитывались величины интенсивности напряжения  $\sigma_i$  и интенсивности деформации  $\epsilon_e$  по выражениям

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{3R_0(R_{90}+1)}{2(R_0+R_0R_{90}+R_{90})}} \sigma_{s90}; \epsilon_i = \sqrt{2 \frac{(R_0+R_0R_{90}+R_{90})}{3R_0(R_{90}+1)}}$$

Где  $\sigma_{s90}$ ,  $\epsilon_{90}$  сопротивление материала пластическому деформированию и степень логарифмической деформации при растяжении образца в направлении

оси  $y$ . Аналогично в качестве базовых данных могут быть приняты результаты экспериментальных исследований, полученных при растяжении плоских образцов, вырезанных под углами  $0$  и  $45^{\circ}$  по отношению к направлению прокатки (оси  $x$ ). Сопоставление экспериментальных данных об изменении сопротивления материала пластическому деформированию  $\sigma_{s\beta}$  в зависимости от степени логарифмической деформации  $\varepsilon_{\beta}$  при  $\beta = 0,45^{\circ}$  с расчетными позволило судить о справедливости принятой выше гипотезы об изотропном упрочнении анизотропного материала при пластическом формоизменении. Максимальная величина расхождения теоретических и экспериментальных данных не превышала более 5 %

### **3.1.2 Особенности усталостного разрушения двухслойных сталей**

Особенностью малоциклового усталости является то, что этот вид воздействия реализуется длительное время без макроскопической деформации и высоких скоростей распространения трещин. При этом усталостное разрушение обычно происходит неожиданно. В связи с этим, предсказание его приближения для индивидуального объекта является сложной проблемой. Подобная задача обычно решается с применением разнообразных сложных методик раннего выявления усталостных микро трещин.

В процессе усталости в материале происходит накопление усталостных повреждений, т. е. происходит необратимое изменение физико-механических свойств материала объекта под действием переменных напряжений. Уровень накопленных повреждений  $N^*$  определяется как отношение числа циклов  $N$ , при котором проводились измерения, к числу циклов  $N_r$ , соответствующих разрушению. Физико-механические свойства материалов тесно связаны с их акустическими характеристиками. Поэтому для оценки изменения физико-механических свойств материалов часто используются ультразвуковые средства неразрушающего контроля [31].



Использование зависимости, представленной на рис. 3.6, для предсказания перехода биметалла к необратимому разрушению возможно, но не дает необходимой точности, поскольку скорость ультразвука уменьшается непрерывно в течение всего периода нагружения, различаясь только темпом убывания на разных стадиях процесса. Более информативным в данном случае является метод, который заключается в нахождении первой и второй производной от  $V^*$  по  $N^*$ , как это можно видеть на рис. 3.6 и 3.7 соответственно.

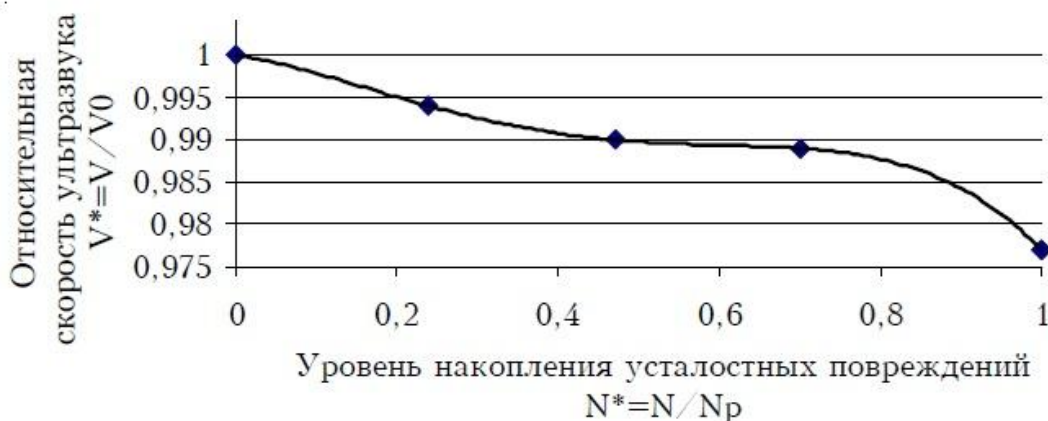


Рисунок 3.6 – зависимость относительной скорости ультразвука от уровня накопления усталостных повреждений

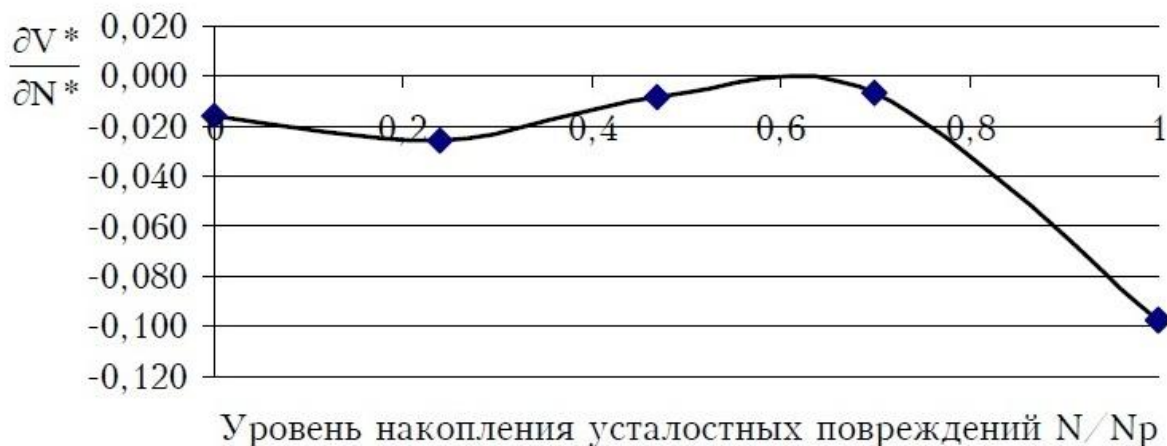


Рисунок 3.7 – Зависимость первой производной от  $V^*$  по  $N^*$  от уровня накопления усталостных повреждений

Особенно информативным является поведение второй производной, которая при переходе к необратимому разрушению материала меняет знак (рис. 3.8). Этот хорошо заметный момент фиксирует начало наиболее опасной стадии

усталостного разрушения. Практическое использование данного метода не требует измерений скорости ультразвука в ненагруженном объекте, т. е. отсутствует необходимость изучения предыстории нагружения объекта.

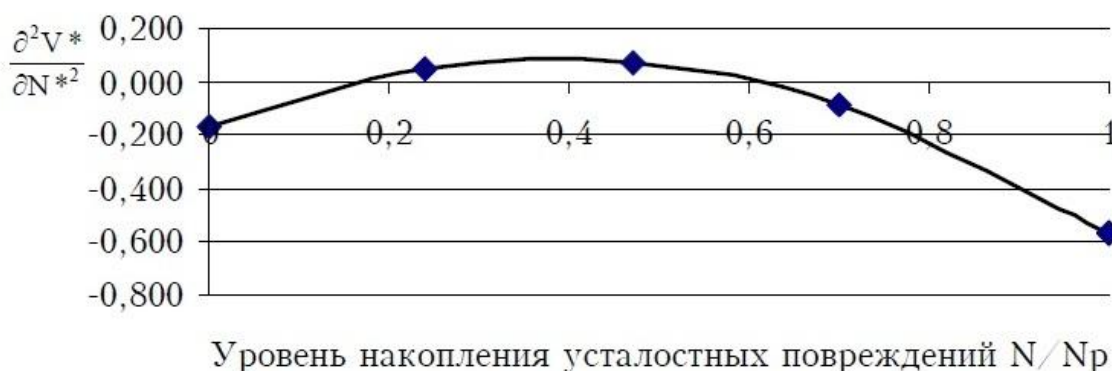


Рисунок 3.8 – Зависимость второй производной от  $V^*$  по  $N^*$  от уровня накопления усталостных напряжений

Критическая стадия процесса может быть выявлена по знаку производной  $\partial^2 V^*/\partial N^{*2}$  при небольшом числе дополнительных циклов нагружения.

Анализируя зависимости поверхностной энергии и скорости ультразвука от уровня накопления усталостных повреждений для различных областей по длине рабочей зоны образца, можно сделать вывод, что существует конкуренция между различными зонами образца за разрушение, которая развивается до уровня поврежденности  $N/N_p = 0.2 \dots 0.4$  (поверхностная энергия во всех зонах возрастает, скорость ультразвука снижается). По достижении уровня поврежденности  $N/N_p = 0.4$ , а в некоторых зонах и ранее, борьба между зонами образца за разрушение прекращается, поверхностная энергия перестает возрастать, а скорость ультразвука – снижаться. Остается единственная зона 1, в которой тенденция возрастания поверхностной энергии и убывания скорости ультразвука сохраняется в течение всего периода испытаний, что является характерными признаками предстоящего разрушения [32].

После достижения предельного состояния, что соответствует уровню поврежденности  $N/N_p = 0.7$ , вновь начинают включаться в процесс разрушения некоторые зоны, наблюдается множественность возникновения очагов разрушения (поверхностная энергия в этих областях снова возрастает, скорость

ультразвука – снижается), на поверхности образца в данных зонах появляются усталостные трещины, но магистральная трещина развивается в зоне 1. Именно в этой зоне впоследствии и происходит разрушение.

В образце с самого начала деформирования проявляется зона разрушения, причем, если в исходном состоянии потенциально возможных областей разрушения несколько, то после достижения уровня поврежденности  $N/N_p = 0.4$  остается одна [33].

### **3.2 Особенности сварки двухслойных сталей или сталей с плакирующим коррозионно-стойким слоем**

В последнее время в нефтегазохимической отрасли, станет все более востребовано оборудование и аппараты из двухслойной стали (нефтеперегонные ректификационные колонны, корпуса и днища сосудов). Двухслойные (плакированные) стали представляют собой прокатанные в горячую два листа разнородной стали различной толщины: один - основной конструкционный слой из углеродистых или низколегированных сталей толщиной до 150 мм и более, а второй - плакирующий слой (до 10...12 мм) из высоколегированных коррозионно-стойких сталей. Обычно двухслойные стали используют для изготовления аппаратуры, < 67 > работающей в коррозионной среде.

Их применение позволяет без снижения работоспособности конструкций резко уменьшить потребление дефицитных высоколегированных сталей. Для плакирующего слоя, находящегося в контакте с агрессивной средой, применяют хромоникелевые аустенитные, аустенитно- ферритные стали марок 08X18H10T, 10X18H10T, 08X18H12Б, 10X17H13M2T и др. или высокохромистые ферритные и мартенситноферритные стали (08X13, 12X13 и др.).

Основной конструкционный слой, воспринимающий силовые нагрузки, изготавливают из сталей марок ВСт.3, 20К, 15ХМ и др. Сварные соединения из этих сталей должны отвечать следующим требованиям:

1) плакированный слой должен быть однородным, при этом его коррозионная стойкость не должна быть пониженной;

2) в сварном шве между плакирующим и основным слоями не должны образовываться комплексные сплавы с пониженными механическими свойствами. Обеспечение указанных требований достигается выбором способа сварки и его режимов, соответствующих сварочных материалов, разделки кромок и последовательности выполнения сварки [34].

Для основного слоя необходимо использовать методы и режимы ручной дуговой сварки, автоматической под флюсом, сварки в защитных газах и электрошлаковой сварки, подробно регламентированные СТО 00220368-012, РД 24.942.02. Сварка плакирующего слоя может выполняться методами ручной дуговой сварки, автоматической под флюсом и сварки в защитных газах в один или несколько слоев в зависимости от требований к коррозионной стойкости.

При наплавке переходного слоя сварных соединений двухслойной стали сварочными материалами условной группы должно быть обеспечено минимальное разбавление высоколегированного металла углеродистым (доля основного металла в шве не более 25 - 30%). Это может быть достигнуто при наличии минимального проплавления углеродистого слоя. Сварочные материалы должны обеспечивать механические свойства металла шва или наплавленного металла не ниже марки стали основного слоя согласно требованиям ГОСТ Р 52630-2006.

Для удовлетворения этого требования применяется ручная дуговая сварка (наплавка), автоматическая сварка под флюсом разделительного слоя должна выполняться на постоянном токе прямой полярности или с применением ленточных электродов, сварка в аргоне или смесях газов на основе аргона ( $Ar + 10 - 20\% CO_2$ ,  $Ar + 5 - 25\% CO_2 + 2 - 5\% O_2$ ). Наибольшую трудность при сварке представляет обеспечение требуемого перехода от основного конструкционного слоя к плакирующему слою, так как разбавление последнего металлом основного конструкционного слоя резко снижает его коррозионные свойства.

Поэтому при сварке по обычной схеме в первую очередь выполняют разделительный слой, обеспечивающий аустенитную или аустенитноферритную структуру, а также отсутствие закалочных структур в зоне сплавления с конструкционными сталями. Для его выполнения ручной дуговой сваркой при плакирующ- < 68 > щем слое из сталей типа 18-10 применяют покрытые электроды типа Э-10Х25Н13Г2. Для сварки под флюсом используют проволоку Св-07Х25Н12Г2Т, флюс АН-26 или АН-45

Вторым выполняют основной конструкционный слой до полного заполнения разделки по обычной технологии, принятой для данной конструкционной марки стали.

Последним выполняют плакирующий слой, что обусловлено требованиями не подвергать повторному нагреву высоколегированный металл и обеспечить его коррозионную стойкость. При выполнении плакирующего слоя используют сварочные материалы, обеспечивающие его работоспособность, равную работоспособности плакирующего слоя. Так, например, если в качестве плакирующего слоя используются стали 08Х13, 12Х13, то для его сварки применяют покрытые электроды типа Э-10Х25Н13Г2Б или проволоку для сварки под флюсом марки Св-10Х16Н25АМ6, плакирующий слой из сталей 10Х17Н13М3Т и им подобных сваривают электродами типа Э-09Х19Н10Г2М2Б или проволокой Св-06Х20Н11М3ТЮ.

Особенности образования сварного соединения двухслойных сталей обусловлены наличием в сварном соединении двух разнородных металлов с различными физическими и механическими свойствами. Поэтому сварку основного и наплавку плакирующего слоев необходимо вести отдельно, разными присадочными материалами [35].

Таким образом, плакированная металлопродукция, полученная на основе современных металлургических технологий, является перспективным материалом для газонефтеперерабатывающей, энергетической, строительной, химической и других базовых отраслей промышленности. За счет минимального перемешивания металла в шве возможно добиться максимально качественного

сварного соединения, при этом сохранив антикоррозионные свойства металла, что существенно увеличит срок эксплуатации дорогостоящего оборудования [36].

### **3.2.1 Сварка кольцевых стыков**

Зажигание дуги следует производить в разделке кромок или с поверхности уже выполненных участков шва. Запрещается зажигать дугу на поверхности трубы или детали. Удаление (сдвиг) внутреннего центриатора разрешается после выполнения всего периметра корневого слоя шва независимо от способа сварки.

При выполнении сборки стыков на наружном центриаторе он может быть удален после выполнения не менее 60% периметра корневого слоя шва. При этом участки корневого слоя шва должны равномерно располагаться по периметру стыка. После снятия центриатора все сваренные участки должны быть зачищены, а их начало и конец зачищены абразивным кругом. Удаление наружного центриатора при сборке стыков труб и запорной арматуры допускается после выполнения прихваток и установки страховочных опор.

Отпуск трубы на опоры (лежки) разрешается после выполнения корневого слоя шва ручной дуговой сваркой электродами с основным видом покрытия, механизированной сваркой в среде углекислого газа.

До полного завершения сварки стыка не допускается перемещать или подвергать любым внешним воздействиям стыки захлестов, соединений труба – соединительная деталь трубопровода, труба – запорная арматура, а также ремонтируемые стыки.

Сварка всех слоев шва для труб диаметром 720 мм выполняется не менее чем двумя сварщиками, за исключением ручной дуговой сварки подварочного слоя шва.

Выполнение подварочного слоя стыков труб диаметром 720 мм не производится.

Сварку каждого прохода следует начинать и заканчивать с обеспечением минимального расстояния 50 мм от заводских швов труб, соединительных деталей.

Место начала сварки каждого последующего слоя должно быть смещено относительно начала предыдущего слоя шва не менее чем на 30 мм.

Места окончания сварки смежных слоев шва («замки» шва) должны быть смещены относительно друг друга на расстоянии от 70 до 100 мм.

Не следует оставлять не полностью сваренные стыки. В случае, когда производственные условия не позволяют завершить сварку стыков труб необходимо соблюдать следующие требования:

- Стык должен быть сварен не менее чем на 2/3 толщины стенки трубы;
- Незавершенный стык следует накрыть водонепроницаемым теплоизолирующим поясом, обеспечивающим замедленное и равномерное остывание;
- Перед возобновлением сварки стык должен быть вновь нагрет до требуемой минимальной межслойной температуры;
- Стык должен быть полностью завершен в течение 24 часов.

Не допускается оставлять не полностью сваренные стыки, стыки при выполнении специальных сварочных работ – сварке захлестов, разнотолщинных соединений труб и соединений труба соединительная деталь трубопровода, труба запорная арматура, а также при выполнении ремонта сварных соединений.

Обратный кабель (заземление) следует присоединять с помощью специальных контактных устройств, исключающих образование искрений на теле трубы в процессе сварки. Конструкция устройств должна обеспечивать токоподвод преимущественно в разделку кромок труб. Запрещается приваривать к телу трубы какие-либо крепежные элементы обратного кабеля.

Рабочее место сварщика, а также свариваемая поверхность должны быть защищены от дождя, снега и ветра укрытием (палаткой) из несгораемого материала. Допустимая скорость ветра при выполнении сварочных работ

определяется в зависимости от выбранных способа сварки и сварочных материалов и указывается в технологической карте сборки и сварки. При ручной дуговой сварке электродами с основным видом покрытия допускаемая скорость ветра в зоне сварки, измеряемая анемометром составляет не более 10 м/с.

Испытания сварных кольцевых стыков труб под внутренним давлением, как правило, малопоказательны из-за небольшой величины осевых усилий, равных лишь половине окружных. Так как рабочими для кольцевого стыка являются именно осевые усилия, то при их малой величине разрушению стыка всегда предшествует образования трещин по образующей трубы вдали от шва. В то же время при расположении кольцевого стыка вблизи закрепления, например у днища, дополнительные напряжения изгиба могут привести к его преждевременному разрушению.

Так, проведенные испытания давлением при ползучести плоских днищ камер отлов позволили установить границы их применения и рациональное расположение сварных стыков у днища, исключающее появление в них значительных напряжений изгиба. Подобные испытания весьма полезны также для испытания узлов сложной конфигурации, например сварных тройников, у которых в районе швов возможны дополнительные напряжения изгиба [37].

Трубы из стали 20 в исходном состоянии после сварки показали более высокую длительную прочность по сравнению с трубами, отожженными при температуре 900-920<sup>0</sup>С – 25 мин. Такая разница обусловлена технологическим наклепом труб при гибке и сварке, снимаемым отжигом. Разрушения труб в исходном состоянии проходили по основному металлу и шву; после отжига они были локализованы в районе шва. Коэффициент прочности сварной трубы  $\varphi=0,9\div 1,06$  (для отожженных труб). Испытания труб при других видах напряженного состояния – кручении и изгибе – также подтвердили надежность сварных труб и соответствие их требованиям по свойствам для цельнотянутых труб [38].



### **3.2.2 Характеристика сочетаний сталей в комбинированных сварных соединениях**

Разнородными принято считать сочетания сталей, которые отличаются атомно-кристаллическим строением, т.е. имеют грани- или объемно-центрированные кубические (ГЦК-, ОЦК-) решетки, принадлежат к разным структурным классам (перлитные, ферритные, аустенитные), а также сталей с однотипной решеткой, относящихся к различным классам по типу и уровню легирования (низколегированные, легированные, высоколегированные, которые содержат в сумме соответственно до 5, 10 или более 10 % Cr и других легирующих элементов). Основные сочетания различных сталей для изготовления сварных конструкций разного назначения, а также для получения поверхностных слоев с требуемыми свойствами путем изготовительной или ремонтной наплавки [39].

Конструкции, сваренные из разнородных сталей, называют комбинированными [40]. Они применяются в тех случаях, когда условия работы отдельных частей конструкции отличаются температурой, агрессивностью среды, особыми механическими воздействиями (износ, знакопеременное нагружение и т. п.). Если изготовление всей конструкции из стали со специальными свойствами нецелесообразно по технико-экономическим показателям, при проектировании предусматривают комбинированный вариант, а при производстве разрабатывают и применяют специальную технологию сварки заготовок из разнородных сталей или поверхностную наплавку отдельных частей заготовок требуемых составов.

### 3.2.3 Формирование структуры металла шва

При сварке и наплавке ряда сочетаний различных сталей происходит смешивание в различных пропорциях перлитной стали с аустенитными или ферритными сварочными материалами. Получаемый при этом химический состав шва имеет промежуточные значения и различную структуру, оцениваемую по эквивалентам хрома и никеля с помощью диаграммы Шеффлера (рис. 3.9). Металл шва с однофазной аустенитной структурой (область А) весьма склонен к образованию горячих трещин (ГТ) кристаллизационного и подсолидусного типов. Шов с аустенитно-ферритной структурой (область А + Ф), при повторных нагревах претерпевает охрупчивание в результате превращения  $\delta$ -феррита в сигма-фазу ( $\sigma$ ).

Для швов со структурой Ф (феррит) характерен рост зерна при высоких температурах, обуславливающий хрупкость при нормальных температурах. Швы со структурами М, М + А, М + Ф, М + А + Ф имеют мартенситную составляющую, вызывающую образование холодных трещин (ХТ). Возможность формирования швов с перечисленными отдельными структурами осложняет обеспечение свариваемости при сварке разнородных сочетаний, так как различные дефекты возникают не только в шве, но и в зоне сплавления каждой стали, входящей в сочетание [41].

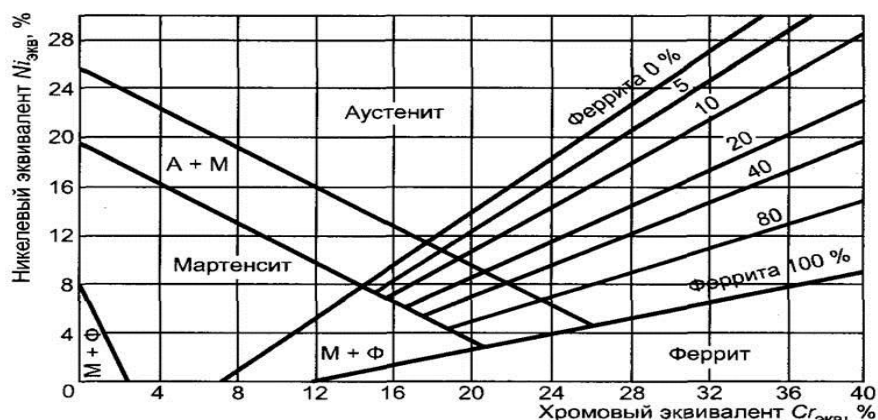


Рисунок 3.9 - Прогнозирование структуры в корне и отдельных слоях металла шва с помощью диаграммы Шеффлера : А - аустенит; М - мартенсит; Ф – феррит.

## Образование кристаллизационной прослойки

Кристаллизационная прослойка возникает при одновременной кристаллизации двух разнородных сталей в зоне сплавления, которая образуется из расплавленных частей свариваемых кромок, перемещенных турбулентными потоками в ванне.

Самым сложным является формирование зоны сплавления при сварке перлитных сталей с аустенитными. Оно имеет место во многих вариантах комбинированных конструкций и отличается несколькими особыми явлениями:

- различным объемом расплавляемых заготовок при образовании ванны, что зависит от теплофизических свойств свариваемых сталей и долей участия основного металла в шве.

- различием температур плавления сталей и металла шва, приводящим к перегреву ОШЗ стали, если температура солидуса металла шва выше температуры ликвидуса основного металла;

- образованием «кристаллизационной» прослойки аномального состава в результате перемешивания основного и наплавленного металлов, что обуславливает химическую, структурную и механическую неоднородности в сварном соединении;

- диффузионным перераспределением углерода из твердого основного металла в расплавленный металл шва вследствие более высокой растворимости углерода в жидкой фазе, чем в твердой;

- образованием после охлаждения повышенных внутренних напряжений между слоями вследствие их различных теплофизических свойств.

При формировании сварочной ванны неодинаковы доли участия аустенитной и перлитной сталей. Они обусловлены различиями в температуре плавления, теплопроводности, теплоемкости и тепловложения при сварке. Как правило, аустенитная и перлитная стали составляют до 60 и 40 % объема шва соответственно в условиях равного теплового воздействия. При этом затвердевание со стороны перлитной стали начинается раньше, когда в аустенитной стали еще продолжается расплавление.

В зоне сплавления перлитной и аустенитной сталей участок кристаллизационной прослойки в среднем содержит 3...12% Cr и 2...7% Ni, который после охлаждения может иметь структуру высоколегированного материала, обнаруживаемую в виде белой нетравящей полоски.

Толщина кристаллизационных прослоек изменяется от 0,05 до 0,6 мм в зависимости от степени аустенитности металла шва и температуры подогрева. Чем выше концентрация никеля в шве и выше скорость охлаждения, тем тоньше кристаллизационная прослойка между перлитной и аустенитной сталями. Наиболее заметны результаты этих процессов при измерении твердости в поперечном сечении сварного соединения [42].

Характер изменения твердости разный в зависимости от степени аустенитности металла шва [40]. При малом значении,  $Cr_{\text{ЭКВ}}Ni_{\text{ЭКВ}}$ , кривые изменения твердости имеют ниспадающий характер, а ширина зоны переменной твердости минимальна. При увеличении,  $Cr_{\text{ЭКВ}}Ni_{\text{ЭКВ}}$ , растет ширина этой зоны. Максимуму,  $Cr_{\text{ЭКВ}}Ni_{\text{ЭКВ}}$ , соответствует максимум значения твердости. В том же порядке увеличивается склонность к появлению ХТ, образующихся в зоне сплавления со стороны аустенитного металла шва, претерпевшей закалку; ХТ такого вида получили название «отрыв», что в макромасштабе подразумевает отрыв аустенитного шва от перлитной стали.

#### 4 Методика и материалы исследования

В работе были выполнены сварные соединения труб по пяти схемам (таблица 4.1) с использованием ручной дуговой сварки покрытыми электродами

Таблица 4.1 - Схемы выполнения образцов

№п п	Номер образца	Размеры трубы	Материал трубы	Внутренний слой	Сварочные материалы	Условия сварки
1.	1	Ø159x8	09Г2С	самофлюсующийся сплав ООО «Комтэк»	LB 52U Ø3,2 мм (корень, заполнение, облицовка)	сварочный пост, крытое помещение
2.	2	Ø159x6	Сталь 20	Втулка из стали 12X18Н10Т ООО «ТМС ТрубопроводСервис»	Корень шва ОК 67.75 Ø3,2 мм Заполнение и облицовка ОК 61.30 Ø3,2 мм	сварочный пост, крытое помещение
3.	3	Ø219x7	Сталь 20	самофлюсующийся сплав ООО «Полимерстрой»	LB 52U Ø3,2 мм	сварочный пост, крытое помещение
4.	4	Ø219x7	Сталь 20	самофлюсующийся сплав ООО «Полимерстрой»	ОК 67.75 Ø3,2 мм	сварочный пост, крытое помещение
5.	5	Ø219x7	Сталь 20	самофлюсующийся сплав ООО «Полимерстрой»	ОК 67.75 Ø3,2 мм	приближенные к трассовым

В таблице 4.2 представлены химический состав и механические характеристики покрытых электродов, используемых для ручной дуговой сварки опытных образцов.

Таблица 4.2 – Химический состав и механические характеристики покрытых электродов

Марка электрода	Химический состав							
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
LB 52U	0.06	0.51	1.02	0.011	0.006	0.01	0.02	0.01
OK 67.75	0.04	0.4	2.1		-	13.0	23.5	0.5
OK 61.30	0.03	0.7	0.9	до 0,025	до 0,025	10	19.5	0.5
Марка электрода	Механические свойства							
	Предел текучести $\sigma_T$ , Н/см <sup>2</sup>			Предел прочности $\sigma_B$ , Н/см <sup>2</sup>			Удлинение $\delta$ , %	
LB 52U	446			540			34	
OK 67.75	470			600			35	
OK 61.30	430			560			43	

Полученные образцы подвергались визуально-измерительному контролю в соответствии с РД 03-606-03, радиографическому контролю в соответствии с ГОСТ 7512-82, механическим статическим испытаниям по ГОСТ 6996-66, измерению микротвердости по ГОСТ 9450-76, металлографическим исследованиям по РД 24.200.04-90 и исследованию на стойкость к питтинговой коррозии по ГОСТ 9.912-89. Оценка качества сварных соединений проводилась в соответствии с СТО Газпром 2-2.2-136-2007.

Механические статические испытания на растяжение и изгиб проводили на универсальной испытательной машине ИР 5082-500. Измерение твердости проводили с использованием микротвердомера HVS-1000 при нагрузке 100 г. с шагом 150 мкм на поперечных шлифах в направлении от корня шва к облицовке.

Металлографические исследования проводили с использованием оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 и комплекта прикладных программ SIAMS. Полированные образцы сварных соединений протравливали в 4%-ом растворе  $\text{HNO}_3$  в  $\text{H}_2\text{O}$ .

Для испытаний на стойкость к питтинговой коррозии вырезались не стандартные образцы 20×30 мм. Облицовочный слой шва зачищался до толщины основного металла. Внутреннее покрытие и корневой слоя шва оставались на образцах.

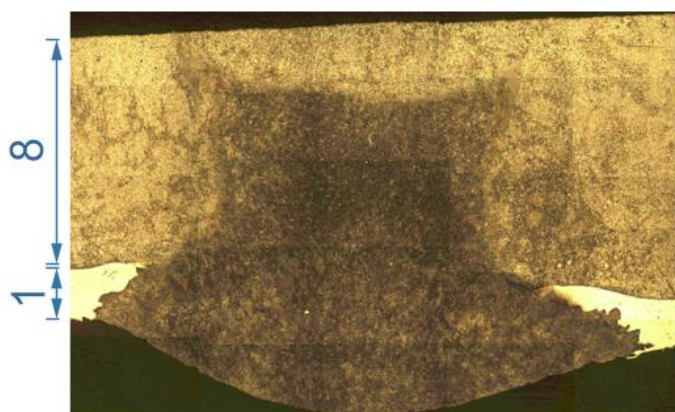
## 5 Экспериментальная часть

По результатам визуально-измерительного контроля сварных соединений дефектов не обнаружено. Результаты радиографического контроля представлены в таблице 5.1

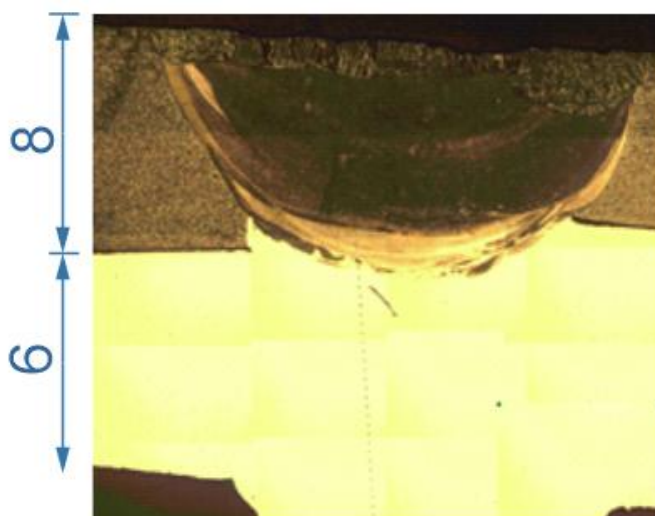
Таблица 5.1 – Результаты радиографического контроля образцов

Номер образца				
1	2	3	4	5
$Fa3 \leq 0,1S$ вогнутость корня шва (утяжина)	$Fa4 \leq 0,1S$ вогнутость корня шва (утяжина)	$Da_{14} \leq 0,05S$ не провар в корне шва	$Fb3 \leq 3\text{мм}$ превышение проплавления (провис)	$Fa3 \leq 0,1S$ вогнутость корня шва (утяжина)

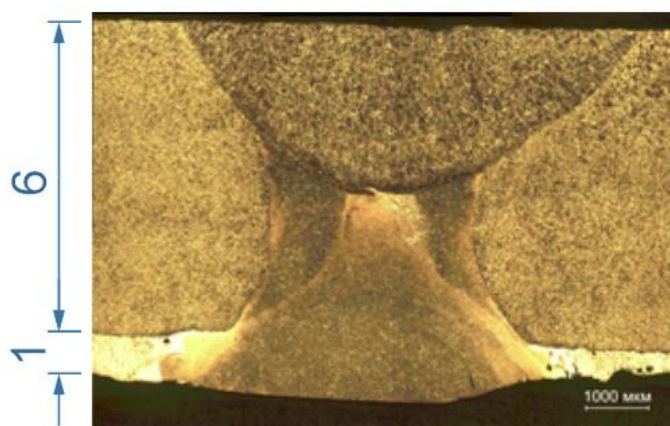
На рисунке 5.1 представлены фотографии поперечного сечения сварных образцов.



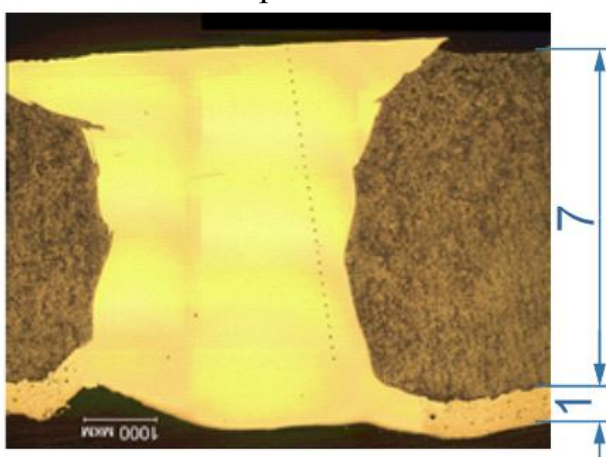
Образец №1



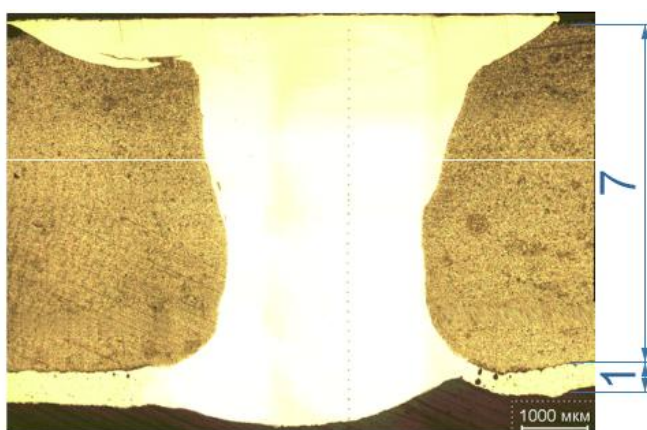
Образец №2



Образец №3



Образец №4



Образец №5

Рисунок 5.1 – Макрофотографии поперечного сечения сварных соединений

На макрофотографиях поперечного сечения сварных соединений отчетливо видны непротравленные участки, выполненные из коррозионно-стойкого материала.



Сварные швы всех образцов недопустимых дефектов не имеют. Внутреннее покрытие, выполненное из самофлюсующегося сплава ООО «Полимерстрой», на всех представленных образцах имеет множественные поры диаметром до 100...150 мкм, а также трещины (рисунок 5.2, а). На внутреннем покрытии, выполненном из самофлюсующегося сплава ООО «Комтэк» крупных множественных пор и трещин не обнаружено (рисунок 5.2, б).

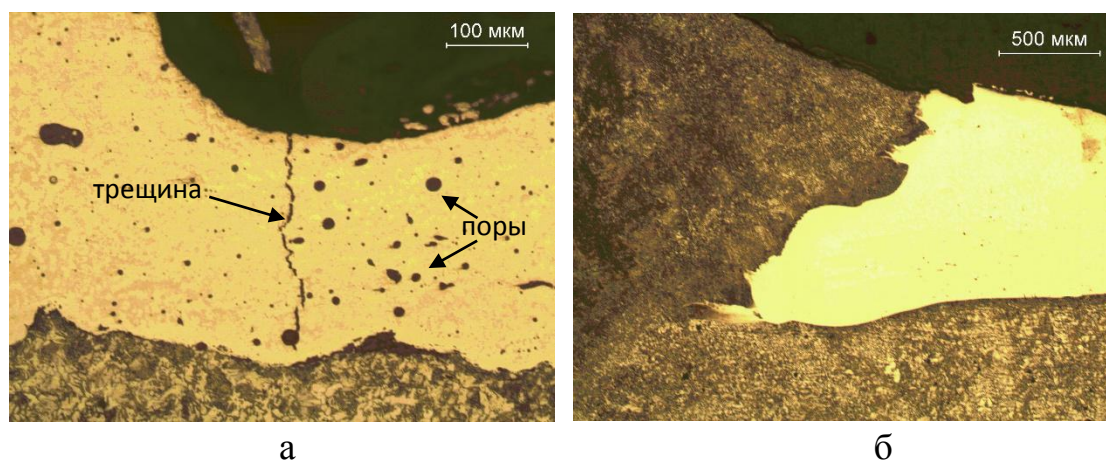


Рисунок 5.2 – Микрофотографии образцов с внутренним покрытием из самофлюсующегося сплава: а – производство ООО «Полимерстрой», б – производство ООО «Комтэк»

Повышенное порообразование в покрытии ООО «Полимерстрой» может способствовать проникновению коррозионно-активных веществ и вызывать ускоренное коррозионное разрушение внутренней поверхности трубопровода.

Стоит отметить, что при выполнении корневого слоя шва образцов, имеющих покрытие из самофлюсующегося сплава, отсутствует концентратор напряжения в виде границы раздела между основным металлом и защитным слоем (рисунок 5.3, а, в-д). При защите внутренней поверхности сварного шва втулкой из коррозионностойкой стали на границе раздела двух слоев имеется концентратор напряжений (рисунок 5.3, б), который впоследствии может негативно сказаться на механических характеристиках сварного соединения.

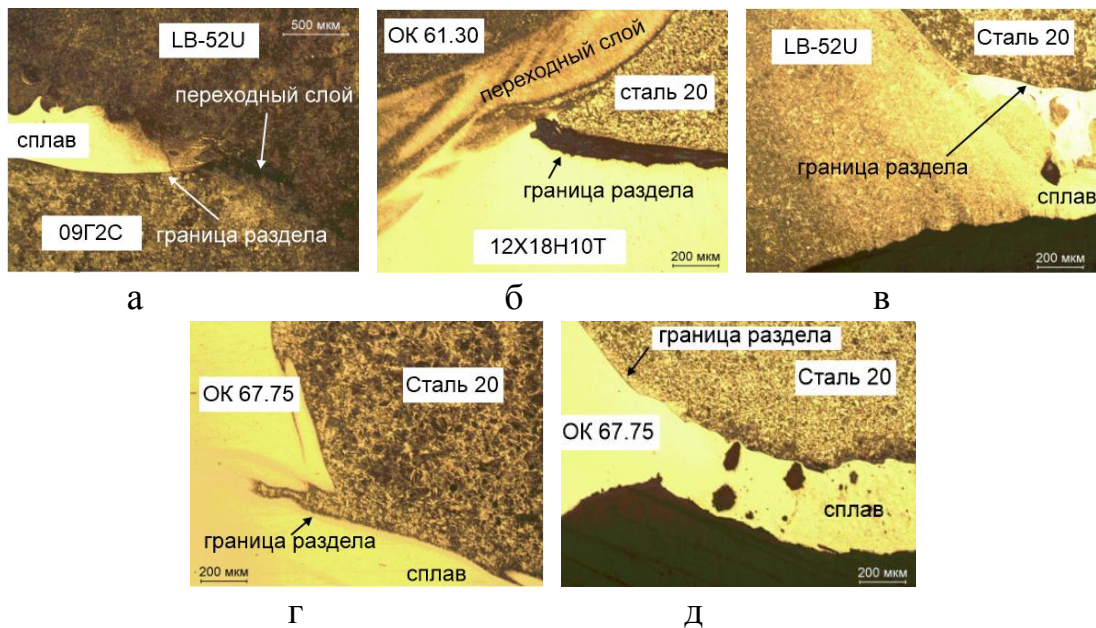
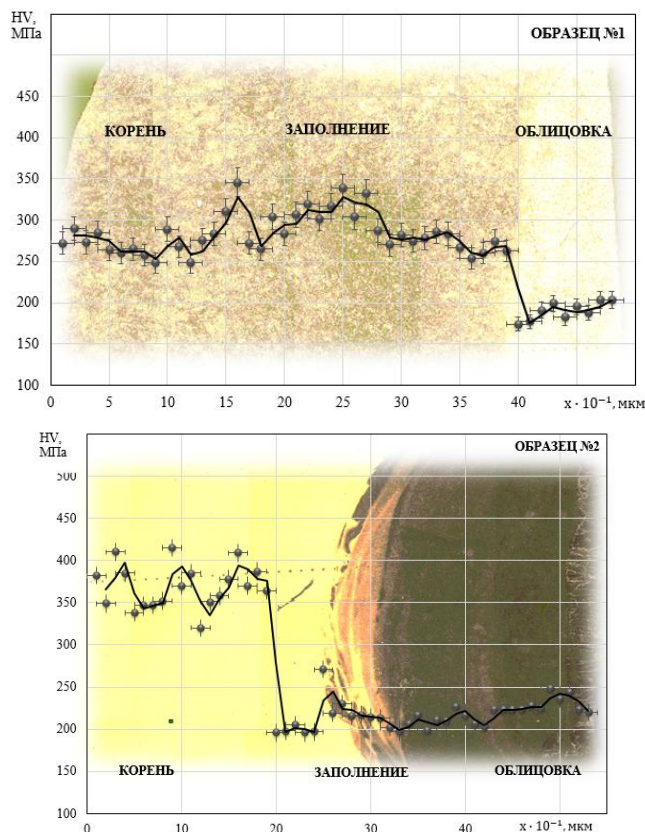


Рисунок 5.3 – Граница раздела основного металла трубы и защитного внутреннего слоя: а- образец №1, б – образец №2, в – образец №3, г – образец №4, д – образец №5

В результате частичного перемешивания основного и электродного металла в корневом слое шва наблюдается увеличение среднего уровня твердости (рисунок 5.4). Наиболее неравномерное распределение микротвердости по сечению сварного шва наблюдается в образцах №2 и №3.



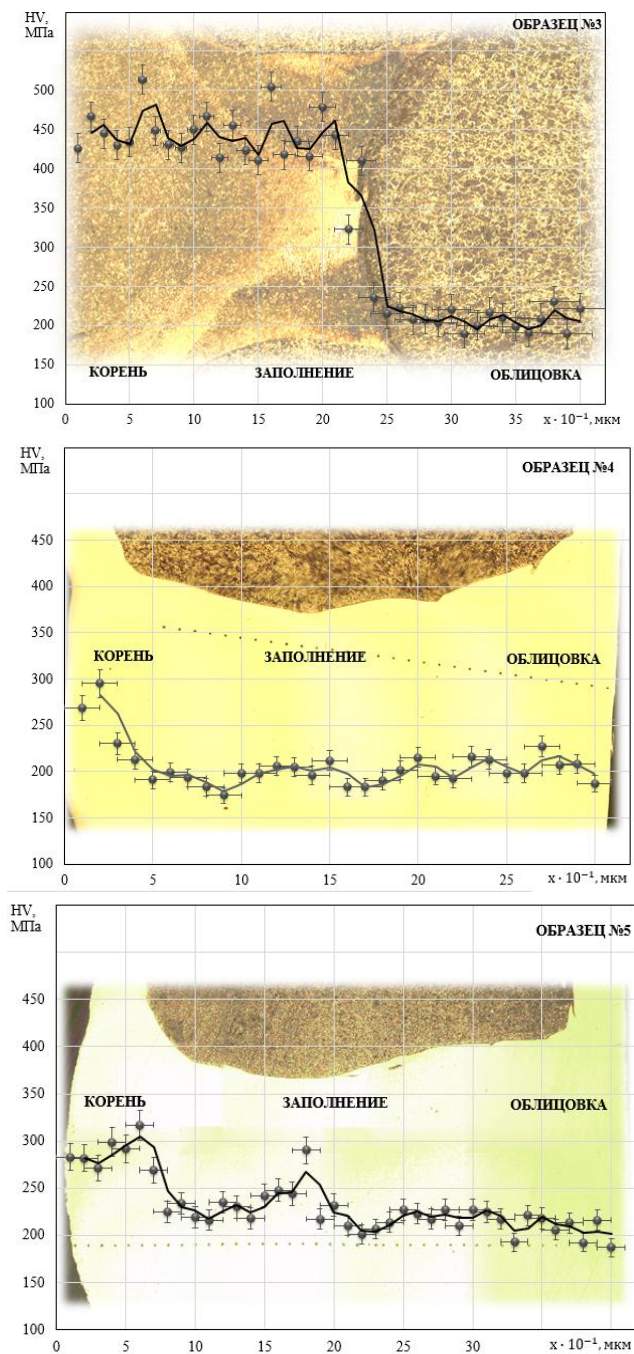


Рисунок 5.4 – Графики распределения микротвёрдости по сечению сварного шва

Средний уровень микротвердости корневого слоя шва образца №2 составляет 369 HV, а облицовочного слоя 218 HV. Таким образом, разница в уровнях твердости достигает 41%.

Средний уровень микротвердости корневого слоя шва образца №3 составляет 439 HV, а облицовочного слоя 210 HV. Таким образом, разница в уровнях твердости достигает 52%.



Разница в уровнях твердости слоев шва, выполненного в образце №1 составляет 32%, в образцах №4 и №5 – 4 и 12% соответственно.

На рисунке 5.5 представлена гистограмма дисперсии значений микротвердости, которая наглядно отражает характер ее распределения в образцах.

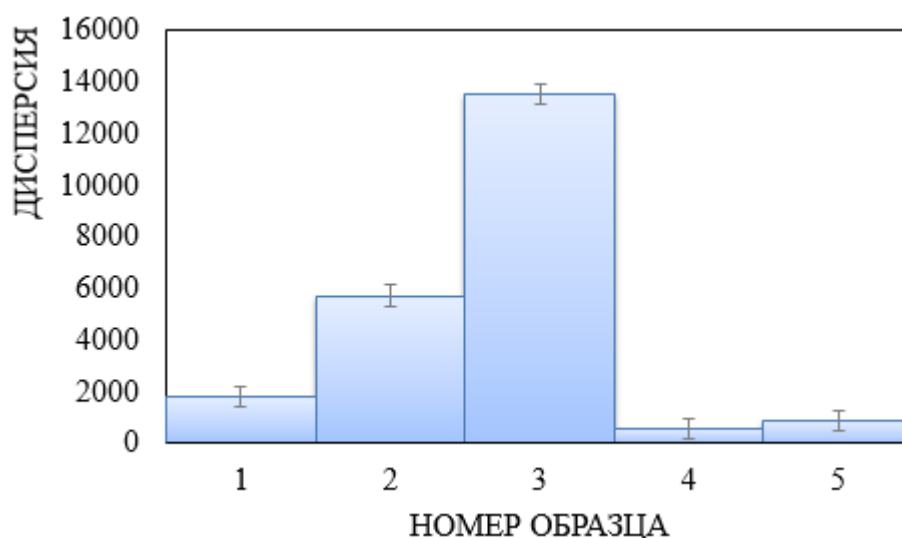


Рисунок 5.5 – Гистограмма дисперсии значений микротвердости

Из представленной гистограммы видно, что наиболее неблагоприятным способом соединения труб, имеющих внутреннее защитное покрытие из коррозионностойкого материала, является применение для сварки всего шва электродов типа Э50А. Ввиду активного участия материала внутреннего покрытия в металле сварного шва формируются структуры переходного состава, обладающие повышенной твердостью и хрупкостью.

Применение для сварки всего шва электродов типа Э-10Х25Н13Г2 способствует наиболее благоприятному распределению микротвердости, что свидетельствует о более пластичном металле шва.

Не смотря на разный характер формирования сварного шва всех образцов при испытаниях сварных соединений на статическое растяжение разрушение происходило по основному металлу с соответствующими значениями предела прочности (таблица 5.2). Однако, при испытаниях на статический изгиб образец №3, имеющий наибольшую дисперсию значений микротвердости, испытания

не выдержал. При угле изгиба корнем шва наружу 50 градусов в сварном соединении образовалась трещина.

Также наблюдалось растрескивание внутреннего покрытия из самофлюсующегося сплава на всех остальных образцах, при том, что сварные швы испытания изгибом до 120 градусов выдержали.

Таблица 5.2 – Результаты механических статических испытаний

№ п/п	Номер образца	Размеры образца, мм	Марка стали	Результаты испытаний на растяжение			Результаты испытаний на изгиб корнем шва			
				Разрушающая нагрузка, кгс ( $10^{-3}$ )	Предел прочности, кгс/мм <sup>2</sup>	Место разрушения	наружу	внутри	трещины	
							Угол, град.			
1.	1	1р	20×8,1×200	09Г2С	80	494	осн. ме.	-	-	-
		2р	20×8,0×200		79	492		-	-	-
		1и	15×8,2×200		-	-		120	-	в покрытии
		2и	15×8,0×200		-	-		-	120	в покрытии
2.	2	1р	20×5,9×200	Сталь 20	49	412	осн. ме.	-	-	-
		2р	20×6,0×200		50	415		-	-	-
		1и	15×6,0×200		-	-				Нет
		2и	15×6,0×200		-	-				нет
3.	3	1р	20×6,9×200	Сталь 20	57	417	осн. ме.	-	-	-
		2р	20×7,0×200		58	415		-	-	-
		1и	15×6,9×200		-	-		50	-	в корне шва
		2и	15×6,9×200		-	-		-	70	
4.	4	1р	20×7,0×200	Сталь 20	59	420	осн. ме.	-	-	-
		2р	20×7,1×200		59	419		-	-	-
		1и	15×7,0×200		-	-		120	-	в покрытии
		2и	15×7,0×200		-	-		-	120	в покрытии
5.	5	1р	20×7,0×200	Сталь 20	58	418	осн. ме.	-	-	-
		2р	20×7,1×200		59	415		-	-	-
		1и	15×7,0×200		-	-		120	-	в покрытии
		2и	15×7,0×200		-	-		-	120	в покрытии

Вероятность растрескивания внутреннего покрытия при изгибе может способствовать развитию коррозионных процессов при эксплуатации трубопроводов.

С помощью химического метода согласно ГОСТ 9.912-89 были проведены испытания на стойкость исследуемых образцов к питтинговой коррозии.

Образцы выдерживались в растворе трихлорида железа ( $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ) с последующим определением потери массы образцов. Перед испытанием образцы взвешивались с погрешностью не менее  $\pm 0,1$  мг.

Испытания проводились в стеклянных сосудах, продолжительность выдержки составила 72 часа.

После выдержки в растворе образцы были зачищены от продуктов коррозии, просушены и взвешены. Результаты эксперимента представлены в таблице 5.3.





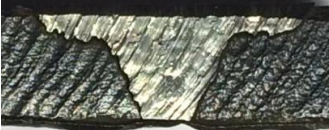

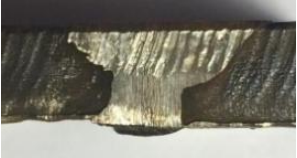

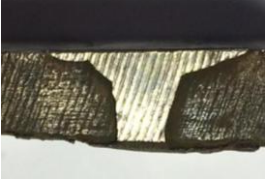

Таблица 5.3 – Результаты испытания сварных соединений на стойкость к питтинговой коррозии

№пп	Номер образца	Начальный вес, г	Вес после выдержки 72 часа, г	$V^1_{м, г/м^2ч}$
1.	1	32,131	30,744	43,6
		32,843	30,505	
		35,299	33,686	
2.	2	57,556	55,747	35,7
		51,413	49,868	
		63,226	62,212	
3.	3	33,439	33,370	15,4
		35,829	34,567	
		29,885	29,336	
4.	4	41,733	40,224	28,7
		41,525	40,582	
		42,955	41,892	
5.	5	40,086	38,768	30,9
		39,843	38,538	
		40,196	38,781	

В виду того, что в испытаниях на стойкость к коррозии принимал участие основной металл, проводить сравнительный анализ скорости коррозии представленных образцов не корректно, так как основной целью является анализ стойкости к реагенту внутреннего покрытия и металла сварного шва. В таблице 5.4 представлены фотографии внешнего вида образцов после выдержки в растворе.

<sup>1</sup> Средняя условная скорость питтинговой коррозии

Таблица 5.4 – Внешний вид образцов после испытания на стойкость к питтинговой коррозии

Номер образца	Поперечное сечение	Со стороны корневого слоя шва
1		
2		
3		
4		
5		

На фото образцов, представленных в таблице, видно, что сварные швы, выполненные аустенитными электродами не подвержены коррозии, тогда как швы, выполненные низколегированными электродами имеют явные следы разрушения.

Таким образом, можно сделать вывод, что наилучшим вариантом защиты сварного соединения является не только нанесение внутреннего коррозионно-стойкого покрытия, но и выполнение всего сварного шва аустенитными электродами.



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

### **6.1 Предпроектный анализ**

На сегодняшний день с развитием науки, непосредственно развиваются и все отрасли промышленности. Конкуренция технологий и разработок, внедряются и замещают устаревшую продукцию с рынка. Внедрение новой технологии происходит тем больше чем больше надежность и экономическая эффективность.

Все то что мы видим вокруг, создано из различных материалов, различающихся своим назначением, свойством и ценой. И большинство желает иметь самое лучшее, что может позволить себе по доступной цене. Крупные компании не являются исключением ведь независимо от надежности разработки, главным успехом любой компании является увеличение дохода путем снижения затрат.

#### **6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Данное исследование посвящено изучению исследования свариваемости труб, имеющих металлизационное защитное покрытие сварки. Данное исследование позволит определить величину коррозии материала при разных режимах сварки. Результаты исследования целесообразно применить в производстве для прокладки труб в зонах с повышенной коррозией металла.

Итак, целевой рынок результатов исследования будет включать в себя все отрасли промышленности, нуждающиеся в высокой коррозионной стойкости и прочности изделия.

## **6.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

В настоящее время строительство магистрального трубопровода является сложной технической задачей, при выполнении которой должны строго соблюдаться все требования, заложенные на стадии проектирования и все требования в соответствии со строительными нормами и правилами [9]. Кроме того, для указанного региона характерно наличие участков многолетнемерзлых грунтов, при оттаивании которых нарушатся устойчивость трубопровода и трубопровод испытывает дополнительные нагрузки, приводящие к изменению его напряженно-деформированного состояния [10-11].

Коррозия трубопроводов, пожалуй, самый хорошо изученный и систематизированный вид коррозии трубопроводов. По крайней мере, магистральные трубопроводы - это единственный вид трубопроводов, защита от коррозии которых регламентируется отдельным национальным стандартом ГОСТ Р 51164-98\* «Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии». Конечно, ГОСТ Р 51164-98\* в основном посвящен методам противокоррозионной защиты, а не механизмам коррозионного разрушения, однако, при его внимательном изучении можно выделить и определенную систематизацию опасности коррозии магистральных трубопроводов в зависимости от ее механизма. Сразу следует отметить, что магистральные трубопроводы используются для транспорта подготовленных коррозионно-инертных продуктов, поэтому для них опасность представляет только наружная коррозия, причем на участках надземной прокладки только сравнительно неопасная атмосферная коррозия [9]. Таким образом сварка двуслойных сталей для магистральных трубопроводов будет очень важна для дальнейшего её изучения с целью применения и внедрения в производство, что очень важно как с практической точки зрения, так и с экономической.

## 6.2 Fast анализ

В качестве предмета исследования выбран микротвердомер ПМТ-3М, так как с помощью него производилась основная часть исследования и измерения микротвердости.

### 6.2.1 Описание главных, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом

Таблица 6.1 – Классификация функций, выполняемых объектом

Наименование детали (узла, процесса)	Количество деталей на узел	Выполняема функция	Ранг функции		
			Главная	Основная	Вспомогательная
1.Основание	1	Обеспечение устойчивости микротвердомера			X
2.Колонна	1	Обеспечивает перемещение кронштейна и тубуса		X	
3.Гайка	1	Обеспечивает передвижение кронштейна и тубуса			X
4.Зажимной винт	1	Обеспечивает крепление кронштейна			X
5.Барашек грубого движения	1	Обеспечивает грубое движение тубуса		X	

Продолжение таблицы 6.1

6.Барашек микрометрическо го движения	1	Обеспечивает микрометрическое движение тубуса		X	
7.Рукоятка	1	Обеспечивает стопорение грубого движения тубуса			X
8.Барашек	1	Определяет высоту			X
9.Предметный столик	1	Обеспечивает установку рассматриваемого образца		X	
10.Винт	1	Обеспечивает перемещение в двух взаимно перпендикулярных плоскостях столика			X
11.Стопорный винт	1	Обеспечивает стопорение столика			X
12.Рукоятка	1	Обеспечивает поворот столика			X
13.Призма	1	Обеспечивает исследование поверхностей цилиндрических предметов		X	
14.Пластина	1	Обеспечивает поместить предмет любой конфигурации		X	
15.Механизм нагружения (шток)	1	Обеспечивает необходимое нагружение		X	
16.Оправка с алмазной пирамидой	1	Обеспечивает нанесение укола на исследуемый объект	X		
17.Гирька	1	Обеспечивает необходимое усилие		X	
18.Рукоятка арретира	1	Обеспечивает опускание штока	X		

Продолжение таблицы 6.1

19. Осветитель	1	Обеспечивает освещение исследуемого предмета	X		
20. Светофильтры	1	Обеспечивают контрастность исследуемого предмета		X	
21. Трансформатор	1	Обеспечивает питание	X		
22. Винтовой окуляр-микрометр	1	Обеспечивает наблюдение исследуемого предмета	X		

**6.2.2 Определение значимости выполняемых функций объектом**

Таблица 6.2. – Матрица смежности

	Основание	Колонна	Гайка	Зажимной винт	Барашек грубого движения	Барашек микрометрического движения	Рукоятка
Основание	=	>	>	>	<	<	>
Колонна	<	=	>	>	<	<	>
Гайка	<	<	=	<	<	<	<
Зажимной винт	<	<	>	=	<	<	>
Барашек грубого движения	>	>	>	>	=	<	>
Барашек микрометрического движения	>	>	>	>	>	=	>
Рукоятка	<	<	>	<	<	<	=

Продолжение таблицы 6.2

	Барашек	Предметный столик	Винт	Стопорный винт		Рукоятка	Призма	Пластина
Барашек	=	<	>	>		>	<	>
Предметный столик	>	=	>	>		>	<	>
Винт	<	<	=	<		<	<	>
Стопорный винт	<	<	>	=		>	<	>
Рукоятка	<	<	>	>		=	<	>
Призма	>	>	>	>		>	=	>
Пластина	<	<	>	<		<	<	=
	Механизм нагружения (шток)	Оправка алмазной пирамидой	Гирька	Рукоятка арретира	Осветитель	Светофильтры	Трансформатор	Винтовой окуляр микрометр
Механизм нагружения (шток)	=	<	>	>	<	>	<	<
Оправка с алмазной пирамидой	>	=	>	>	>	>	<	<
Гирька	<	<	=	<	<	>	<	<
Рукоятка арретира	<	<	<	=	<		<	<
Осветитель	>	<	>	>	=	>	<	<
Светофильтры	<	<	<	<	<	=	<	<
Трансформатор	>	>	>	>	>	>	=	>
Винтовой окуляр микрометр	>	>	>	>	>	>	<	=

Примечание: «<» – менее значимая; «=» – одинаковые функции по значимости; «>» – более значимая

Преобразовываем матрицы смежности в матрицы количественных соотношений функций.

Таблица 6.3 – Матрица количественных соотношений функций

	Основание	Колонна	Гайка	Зажимной винт	Барашек грубого движения	Барашек микрометрического движения	Рукоятка	Итого
Основание	1	1,5	1,5	1,5	0,5	0,5	1,5	8
Колонна	0,5	1	1,5	1,5	0,5	0,5	1,5	7
Гайка	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5	1,5	5
Зажимной винт	0,5	0,5	1,5	1	0,5	0,5	1,5	6
Барашек грубого движения	1,5	1,5	1,5	1,5	1	0,5	1,5	9
Барашек микрометрического движения	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1	1,5	10
Рукоятка	0,5	0,5	1,5	0,5	0,5	0,5	1	5
								Σ=50
	Барашек	Предметный столик	Винт	Стопорный винт	Рукоятка	Призма	Пластина	Итого
Барашек	1	0,5	1,5	1,5	1,5	0,5	1,5	8,5
Предметный столик	1,5	1	1,5	1,5	1,5	0,5	1,5	9
Винт	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5	1,5	5
Стопорный винт	0,5	0,5	1,5	1	1,5	0,5	1,5	7
Рукоятка	0,5	0,5	1,5	1,5	1	0,5	1,5	7
Призма	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1	1,5	9,5
Пластина	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	4
								Σ=50

Примечание: 0,5 при «<»; 1,5 при «>»; 1 при «=»

Продолжение таблицы 6.3

	Механизм нагружения(шток)	Оправка с алмазной пирамидой	Гирька	Рукоятка арретира	Осветитель	Светофильтры	Трансформатор	Винтовой окуляр микрометр	
Механизм нагружения(шток)	1	0,5	1,5	1,5	0,5	1,5	0,5	0,5	
Оправка с алмазной пирамидой	1,5	1	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5	0,5	
Гирька	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1,5	0,5	0,5	
Рукоятка арретира	0,5	0,5	0,5	1	0,5	1,5	0,5	0,5	
Осветитель	1,5	0,5	1,5	1,5	1	1,5	0,5	0,5	
Светофильтры	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5	0,5	
Трансформатор	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1	1,5	
Винтовой окуляр микрометр	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5	1	
			Итого						
Механизм нагружения(шток)			8,5					0,14	
Оправка с алмазной пирамидой			9,5					0,16	
Гирька			5,5					0,09	
Рукоятка арретира			5,5					0,09	
Осветитель			8,5					0,14	
Светофильтры			5,5					0,09	
Трансформатор			11,5					0,19	
Винтовой окуляр микрометр			10,5					0,17	



### 6.2.3 Определение значимости функций

Определяем значимость функций путем деления балла, полученного по каждой функции, на общую сумму баллов по всем функциям. Так, для основания  $8/50=0,16$ ; колонны  $7/50=0,14$ ;  $5/50=0,1$ ; зажимного винта  $6/50=0,12$ ; барашка грубого движения  $9/50=0,18$ ; барашка микрометрического движения  $10/50=0,2$ ; рукоятки  $5/50=0,1$ ; барашка  $8,5/50=0,17$ ; предметного столика  $9/50=0,18$ ; винта  $5/50=0,1$ ; стопорного винта  $7/50=0,14$ ; рукоятки  $7/50=0,14$ ; призмы  $9,5/50=0,19$ ; пластины  $4/50=0,08$ ; механизма нагружения (шток)  $8,5/50=0,17$ ; оправки с алмазной пирамидой  $9,5/50=0,19$ ; гирьки  $5,5/50=0,11$ ; рукоятки арретира  $5,5/50=0,11$ ; осветителя  $8,5/50=0,17$ ; светофильтров  $5,5/50=0,11$ ; трансформатора  $11,5/50=0,23$ ; винтового окуляр-микрометра  $10,5/50=0,21$  [43].

## 6.2.4 Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Таблица 6.4 – Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Наименование детали (узла, процесса)	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Норма расхода, кг	Трудоемкость детали, нормо-часов	Стоимость материала, руб.	Заработная плата, руб.	Себестоимость, руб.	Итого
Основание	1	Обеспечение устойчивости микротвердомера	0,21	0,2	34,6	27,4	40,1	102,1
Колонна	1	Обеспечивает перемещение кронштейна и тубуса	2	1,75	80,2	80,1	88	248,3
Гайка	1	Обеспечивает передвижение кронштейна и тубуса	0,67	0,9	73,6	25,5	75,8	174,6
Зажимной винт	1	Обеспечивает крепление кронштейна	0,78	0,34	67,1	24,7	69,2	161
Барашек грубого движения	1	Обеспечивает грубое движение тубуса	0,82	0,87	70,5	27,7	76,8	175
Барашек микрометрического движения	1	Обеспечивает микрометрическое движение тубуса	0,9	0,78	74,3	29	79,9	183,2
Рукоятка	1	Обеспечивает стопорение грубого движения тубуса	0,32	0,45	50,8	22,7	55,7	129,2
Барашек	1	Определяет высоту	0,25	0,5	45,1	26,7	48,9	120,7

Продолжение таблицы 6.4

Предметный столик	1	Обеспечивает установку рассматриваемого образца	1	1	50,2	29,7	55,7	135,6
Винт	1	Обеспечивает перемещение в двух взаимно перпендикулярных плоскостях столика	0,45	0,76	34,5	22,8	38,3	95,6
Стопорный винт	1	Обеспечивает стопорение столика	0,44	0,32	45,2	32,4	50,1	127,7
Рукоятка	1	Обеспечивает поворот столика	0,34	0,44	42,1	30,1	47,2	19,4
Пластина	1	Обеспечивает поместить предмет любой конфигурации	1	0,76	54,2	44,1	59,7	158
Механизм нагружения (шток)	1	Обеспечивает необходимое нагружение	0,7	0,43	45,7	34,9	50,1	130,7
Оправка с алмазной пирамидой	1	Обеспечивает нанесение укола на исследуемый объект	0,8	0,67	67,2	45,5	72,9	185,6
Гирька	1	Обеспечивает необходимое усилие	0,45	0,62	43,3	33,8	46,7	123,8
Рукоятка арретира	1	Обеспечивает спускание штока	0,32	0,67	46,5	40,1	48,9	135,5
Осветитель	1	Обеспечивает освещение исследуемого предмета	0,8	0,9	57,5	50,2	62,5	170,2
Светофильтры	1	Обеспечивает контрастность исследуемого предмета	0,25	0,31	45,7	38,2	48,4	132,3
Трансформатор	1	Обеспечивает питание	1,57	1,2	67,9	58,9	77,7	204,5
								Σ=3165,7

## 6.2.5 Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ

Информация об объекте исследования, собранная в рамках предыдущих стадий, на данном этапе обобщается в виде функционально – стоимости диаграммы (рис. 6.1)

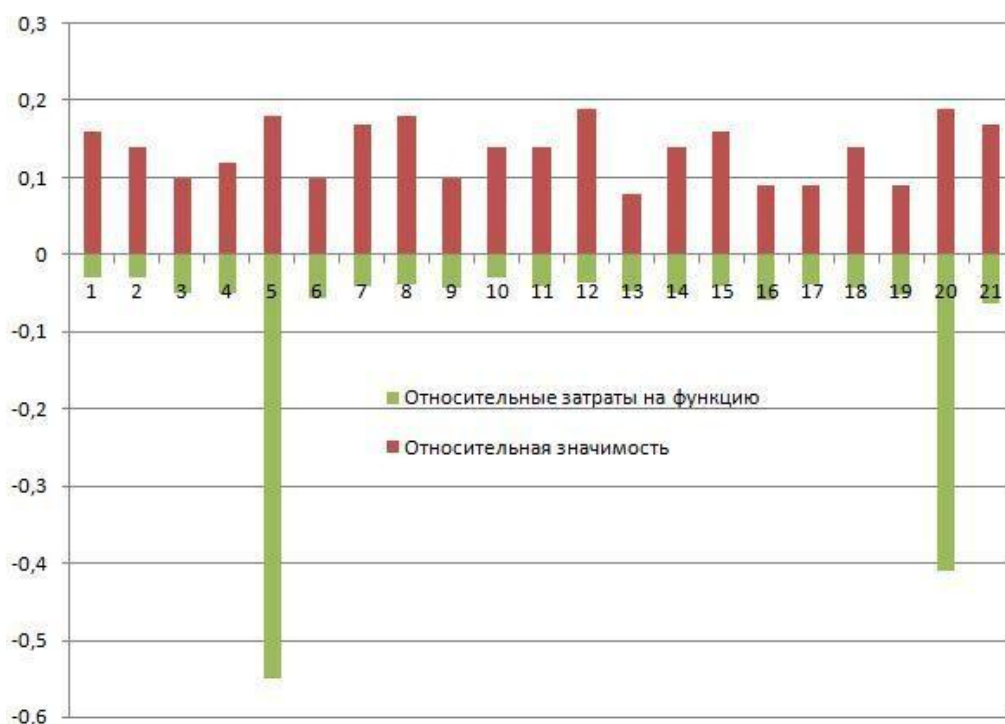


Рисунок 6.1. – Функционально-стоимостная диаграмма

Анализ, приведенный выше ФСД показывает явное наличие рассогласования по функциям 5, 20, которые являются: барашек грубого сечения и светофильтры. Необходимо провести работы по ликвидации данных диспропорций [44].

## 6.2.6 Оптимизация функций, выполняемых объектом

В качестве оптимизации данных функций можно выделить следующее:

1. применения принципиально новых конструкторских решений;
2. унификации сборочных единиц и деталей;
3. использование новых заготовок и материалов;
4. оптимизация параметров надежности.

### 6.3 SWOT – анализ

В этом разделе необходимо выявить сильные и слабые стороны научного проекта, а также возможности и угрозы для его дальнейшей реализации.

Сильные стороны проекта.

Во-первых, научное исследование является фундаментальным, на сегодняшний день, согласно обзору литературных источников, развитие магистральных трубопроводов является очень важно для нефтедобывающих компаний. На сегодняшний день очень много времени затрачивается на отработку ремонта магистральных трубопроводов после дефекта – коррозии.

Во-вторых, результаты исследования могут быть применены не только в нефтегазовой промышленности но и других видах промышленности связанных с прокладкой труб в зонах с повышенной коррозией для металла

Слабые стороны проекта.

Данное исследование зависит от дорогостоящего оборудования для исследования структуры после сварки двуслойных сталей, и очень важный риск, это выход из строя этого оборудования.

Конкуренция, на сегодняшний день состоит только в том, что уже существуют методы по которым работают предприятия и уход от них для них будут взывать опасения, но если продолжиться исследовательская работа в этом направлении, то это приведёт к несомненному развитию и Результаты данного исследования будут широко применяться.

С уверенностью можно сказать, что все сильные стороны проекта оказывают очень сильное влияние на возможность его успешного завершения и последующего внедрения в производство. А именно такие сильные стороны как: фундаментальность исследования, финансовая поддержка, практическое внедрение результатов исследования в производство

Таблица 6.5 – SWOT – анализ

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p>
	<p>С1. Финансирование из государственного бюджета.</p>	<p>Сл1. Дорогостоящее использование оборудования для исследования</p>
	<p>С2. Фундаментальность исследования.</p>	
<p>С3. Возможность практического внедрения результатов исследования в высокопроизводительное нефтегазовое дело</p>	<p>Сл2 Замена труднодоступных и дорогостоящих элементов</p>	
<p><b>Возможности:</b></p>	<p>Поддержка со стороны СО РАН очень сильно скажется на продвижении исследования и ускорит темпы внедрения результатов исследования в производство</p>	<p>Помощь СО РАН может выражаться в уменьшении стоимости пользования установкой до той величины, которую сможет финансировать государственный бюджет для данного исследования</p>
<p>В1. Заключение соглашения между НИ ТПУ и СО РАН о взаимной помощи в этом исследовании.</p>		
<p>В1. Приобретение дополнительного оборудования в ИШНКБ ТПУ: РЭМ и ПЭМ, которое может приносить прибыль.</p>		

Продолжение таблицы 6.5

<p>Угрозы: У1. Закрытие проекта в связи с нехваткой финансов и материальной базы (специального оборудования) для проведения исследования. У2. Выход из строя труднодоступных и дорогостоящих элементов оборудования для исследования.</p>	<p>Государство заинтересовано в развитии науки и всё больше средств вкладывать в финансирование научной деятельности. Чем быстрее результаты исследования будут внедрены в производство, тем быстрее исчезнут факторы, угрожающие развитию исследования. В дальнейшем возможна заинтересованность производственной стороны в финансировании проекта и его развития.</p>	<p>На данный момент слабые стороны связаны с выходом из строя дорогостоящих элементов оборудования, нехваткой финансов для проведения исследования.</p>
---	---	---

#### 6.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

В данном разделе проводится оценка текущего исследования и степень его готовности к коммерциализации, а также определение уровня собственных знаний для его проведения. Специальная форма, содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта показана в таблице 6.6

Таблица 6.6 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации.

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

Продолжение таблицы 6.6

3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	2	3
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	4
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	3
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	3
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	3	3
9	Определены пути продвижения научной разработки	3	4
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	4
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	4	3
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	3
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	4
15	Проработан механизм реализации научного проекта	5	4
<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>		<b>52</b>	<b>49</b>

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

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

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

Значение  $B_{\text{сум}}$  позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Так, если значение  $B_{\text{сум}}$  получилось от 59 до 45 – то перспективность выше среднего.



Для успешной коммерциализации текущей разработки необходимы небольшие объемы инвестиции в области маркетинговых исследований, детальная проработка вопросов международного сотрудничества с привлечением специалистов из данной отрасли в команду проекта и повышение уровня компетенций разработчика в области маркетинговых исследований рынков сбыта. По результатам оценки готовности научного проекта к коммерциализации его перспективность выше среднего.

### **6.5 Методы коммерциализации результатов научно технического исследования**

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

Методом коммерциализации результатов научно-технического исследования является –передача интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия.

Заинтересованными лицами в полученных данных будут являться сотрудники ИШНКБ ТПУ. Исследование свариваемости труб, имеющих металлизационное защитное покрытие.

### **6.6 Инициация проекта**

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы.

Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта [43].

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать [43].

Устав научного проекта магистерской диссертации имеет структуру, представленную ниже [43].

1) Цели и результат проекта. Информация по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 6.7

Таблица 6.7 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Промышленность направленная на создание магистральных трубопроводов	Исследование позволит получить данные, которые помогут провести углубленный анализ структуры двуслойной стали при сварке и в последствии подверженной коррозии
Нефтегазовая промышленность	

В таблице 6.8, представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 6.8 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Исследование особенностей сварке двуслойных сталей с последующей коррозией.
Ожидаемые результаты проекта:	Получение экспериментальных результатов микротвердости сталей после коррозии.
Критерии приемки результата проекта:	Получение четких результатов микросъёмки для проведения анализа
Требования к результату проекта:	Требование: Выполнение поставленных задач Научное объяснение результатов экспериментов Заключение о результатах исследования

2) Организационная структура проекта. Информация об участниках проекта представлена в табличной форме (таблица 6.9).

Таблица 6.9 – Рабочая группа проекта

п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции
1	Першина А.А. д.т.н., доцент ИШНКБ ТПУ	Руководитель	Отвечает за реализацию, координирует деятельность участников проекта
2	Александрова Ю.С. магистрант ИШНКБ ТПУ	Исполнитель	Выполнение экспериментальной части

3) Ограничения и допущения проекта.

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

Таблица 6.10 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	
3.1.1. Источник Финансирования	Финансовой поддержке государственного задания Министерства образования и науки РФ на проведение научно-исследовательских работ ТПУ
3.2. Сроки проекта:	
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	24.02.2019
3.2.2. Дата завершения проекта	

## 6.7 Планирование управления проектом

### 6.7.1 Структура работ в рамках научного исследования

Научное исследование будет состоять из четырех основных этапов, таких как: разработка технического задания и календарного плана, теоретическая подготовка, экспериментальные исследования и обобщение и оценка

результатов по данной теме. Каждый этап содержит перечень важных работ, которые необходимо выполнить. В зависимости от вида работ будет свой исполнитель.

Таблица 6.11 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Выбор темы, постановка цели и задач ВКР	Научный руководитель
	2	Составление предварительного плана ВКР	Научный руководитель
Теоретическая подготовка	3	Подбор и первоначальное ознакомление с литературой по теме ВКР	Инженер
	4	Изучение и выбор метода исследований в ВКР	Инженер
	5	Написание теоретической части ВКР	Инженер
	6	Подбор оборудования и заготовок для проведения процесса	Научный руководитель
Экспериментальные исследования	7	Наплавление металла заготовки	Инженер
	8	Получение результатов исследования	Инженер
	9	Создание базы данных исследования	Инженер
	10	Анализ базы исследования/ получение результатов	Научный руководитель Инженер
Обобщение и оценка результатов	11	Оформление итогового варианта ВКР	Инженер
	12	Согласование и проверка работы с научным руководителем	Научный руководитель Инженер

Таким образом, выделили основные этапы работ и их содержание, а также исполнителей, выполняющие данные работы.

## 6.7.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Для определения ожидаемого значения трудоемкости используем формулу

$$t_{\text{оти}} = \frac{3t_{\text{мини}} + 2t_{\text{макси}}}{5} \quad (2)$$

где  $t_{\text{оти}}$  – ожидаем трудоемкость выполненной  $i$ -й работы чел. - день.

$t_{\text{мини}}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -го работы (оптическая оценка в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел. – дн.

$t_{\text{макси}}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел. –дн. После того, как рассчитали  $t_{\text{оти}}$ , рассчитывается продолжительность каждой работы в рабочих днях:

$$T_{\text{pi}} = \frac{t_{\text{оти}}}{\text{Ч}_i} \quad (3)$$

где  $T_{\text{pi}}$  – продолжительность одной работы, раб. Дн;

$\text{Ч}_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же

работу на данном этапе, чел.

Составление предварительного плана ВКР:

$t_{\text{макси}}=3$  дня;  $t_{\text{мини}}=1$  день.

$$t_{\text{ожи}} = \frac{3t_{\text{мини}} + 2t_{\text{макси}}}{5} = \frac{3 + 6}{5} = 1,5 \text{ дня};$$

$$T_{\text{pi}} = \frac{t_{\text{оти}}}{\text{Ч}_i} = \frac{1,4}{1} = 1,4 \sim 2 \text{ дня};$$

Подбор и первоначальное ознакомление с литературой по теме ВКР:

$t_{\text{макси}}=14$  дней;  $t_{\text{мини}}=7$  дней.

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{21 + 28}{5} = 9,8 \text{ дня;}$$

$$T_{pi} = \frac{t_{oti}}{Ч_i} = \frac{9,8}{2} = 4,9 \sim 5 \text{ дня;}$$

Изучение и выбор метода исследований в ВКР:

$t_{maxi} = 14$  дней;  $t_{mini} = 10$  дней.

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{30 + 28}{5} = 11,6 \text{ дня;}$$

$$T_{pi} = \frac{t_{oti}}{Ч_i} = \frac{11,6}{2} = 5,8 \sim 6 \text{ дня;}$$

Написание теоретической части ВКР:

$t_{maxi} = 21$  день  $t_{mini} = 14$  дней.

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{42 + 42}{5} = 16,8 \text{ дня;}$$

$$T_{pi} = \frac{t_{oti}}{Ч_i} = \frac{16,8}{1} = 16,8 \sim 17 \text{ дней;}$$

Подбор оборудования и заготовок для проведения эксперимента

$t_{maxi} = 12$  день  $t_{mini} = 7$  дней.

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{21 + 24}{5} = 9 \text{ дней;}$$

$$T_{pi} = \frac{t_{oti}}{Ч_i} = \frac{9}{2} = 4,5 \sim 5 \text{ дней;}$$

Получение результатов исследования и создание базы данных  
исследования

$t_{maxi} = 14$  день  $t_{mini} = 7$  дней.

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{21 + 28}{5} = 9,8 \text{ дней;}$$

$$T_{pi} = \frac{t_{oti}}{Ч_i} = \frac{9,8}{1} = 9,8 \sim 10 \text{ дней;}$$

Анализ базы исследования/полученных результатов

$t_{maxi} = 21$  день  $t_{mini} = 7$  дней.

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{21 + 42}{5} = 29,4 \text{ дня;}$$

$$T_{pi} = \frac{t_{oti}}{Ч_i} = \frac{29,4}{2} = 14,7 \sim 15 \text{ дней};$$

### 6.7.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для разработки графика проведения научного исследования будет использована диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

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

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

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.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{кал}} - T_{\text{пр}}}$$

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

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

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

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 14}$$

Все рассчитанные значения вносим в таблицу 14, после заполнения таблицы построим календарный план-график (таблица 6.6).

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

Таблица 6.12 – Временные показатели проведения научного исследования

Название 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		$t_{ожi}$ , чел-дни					
	Руководитель	Инж	Руководитель	Инж	Руководитель	Инж	Руководитель	Инж	Руководитель	Инж
Выбор темы, постановка цели и зад ВКР	3	-	5	-	3,8	-	4	-	6	-
Составление предварительного плана ВКР	1		3		1,4	-	2	-	2	-
Подбор и первоначальное ознакомление с литературой по теме ВКР	7	7	14	14	9,8	9,8	5	5	4	12
Изучение и выбор метода исследований в ВКР	10	10	14	14	11,6	11,6	6	6	2	21
Написание теоретической части ВКР	-	14	-	21		16,8	-	17	-	17
Подбор оборудования и заготовок для проведения эксперимента	7	7	12	12	9	9	5	5	5	5
Проведение эксперимента	7	7	12	12	9	9	-	10	-	10
Полчение результатов исследования	-	7	-	14	-	9,8	-	10	-	10
Создание базы данных исследования	-	7	-	14	-	9,8	-	10	-	10,5
Анализ азы исследования-полученных результатов	7	7	21	21	29,8	29,8	5	25	10	35
Оформление итогового варианта ВКР	-	10	-	21	21	14,4	-	14	-	21
Согласование и проверка работы с научным руководителем	2	2	4	4	2,8	2,8	1	1	1,5	1,5



Таблица 6.13 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ раб от	Вид работ	Исполнители	Ткi, кол. Дн.	Продолжительность выполнения работ														
				Январь			Февраль			Март			Апрель			Май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Выбор темы, постановка цели и задач ВКР	Научный руководитель	6		▨													
2	Составление предварительного плана ВКР	Научный руководитель	2		▨													
3	Подбор и первоначальное ознакомление с литературой по теме ВКР	Научный руководитель, Инженер	4 12			▨												
4	Изучение и выбор метода исследований в ВКР	Научный руководитель, Инженер	2 21				▨											
5	Написание теоретической части ВКР	Инженер	17							▨	▨	▨	▨	▨	▨			
6	Подбор оборудования и заготовок для проведения эксперимента	Научный руководитель, Инженер	5 5											▨				
7	Проведение эксперимента	Инженер	10											▨	▨	▨	▨	
8	Получение результатов исследования	Инженер	10												▨	▨	▨	▨
9	Создание базы данных исследования	Инженер	10,5													▨	▨	▨
10	Анализ базы исследования / получение результатов	Научный руководитель, Инженер	10 35														▨	▨
11	Оформление итогового варианта ВКР	Инженер	21														▨	▨
12	Согласование и проверка работы с научным руководителем	Научный руководитель, Инженер	1,5															▨

## **6.8 Бюджет научного исследования. Затраты на материалы и эксперименты**

Затраты на проведение научного исследования приведены в таблице 6.14

Большие затраты потребовались для проведения испытаний на испытательной машине ИР 5082-500, также довольно затратно обошлись услуги растровой электронной микроскопии РЭМ, которая необходима была для проведения исследования [45].

Стоимость оборудования, используемого при выполнении НИР, имеющегося на кафедре отделения химической инженерии стоимостью свыше 40 тыс. рублей, учитывалось в виде амортизационных отчислений. В данном случае выбран линейный способ амортизации оборудования, при котором происходит равномерное начисление амортизации с первоначальной до остаточной стоимости (в конце срока службы) в течение всего срока использования. Текущая остаточная стоимость определяется вычитанием суммарной накопленной амортизации основного средства из первоначальной стоимости.

Формула амортизации оборудования для определения ежемесячной суммы (М):

$$\sum M = ПС * n, \quad (5)$$

где ПС – первоначальная стоимость оборудования;

n – ежемесячная норма амортизации, рассчитываемая как отношение 1 к сроку полезного использования, выраженному в месяцах.

Расчет затрат по статье «Амортизация оборудования» представлена в таблице 6.14.

Таблица 6.14 - Расчет затрат по статье «Амортизация оборудования»

Наименование оборудования	Цена оборудования, руб.	Эксплуатации оборудования, количество лет	Амортизация, руб.
Растровый электронный микроскоп (РЭМ) <i>OLYMPUS GX51</i>	1750000	8	18230
Испытательная машина ИР 5082-500	2500000	6	34725
Спектрометр АРГОН - 5СФ	3700000	8	38541

Таблица 6.15– Затраты на сырье на проведение НИР

Наименование	Затраты, руб.
Материалы	1000
Алмазные пасты	1500
Итого:	2500

## 6.9 Расчет фонда заработной платы

Заработная плата определяется в соответствии с количеством отработанного времени по теме и установленным штатно-должностным окладом [45].

Для техника (дипломника) месячный оклад составляет  $Z_{бт}=13150$  руб/мес, для руководителя (профессора с ПКГ ППС 4) -  $Z_{бп} = 33162$  руб/мес.

Заработная плата рассчитывается по формуле 6 [35]:

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (6)$$

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

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) рассчитывается по следующей формуле 7[36]:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} * T_{\text{раб}}, \quad (7)$$

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

$T_{\text{р}}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.,

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

Среднедневную заработную плату можно рассчитать по формуле [36]:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}}}{T} \quad (8)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$T$  – количество рабочих дней в месяце. Принимаем 6- дневную рабочую систему, значит  $T=26$  дней.

Месячный должностной оклад работника [37]:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} * k_{\text{р}}, \quad (9)$$

где  $Z_{\text{б}}$  – базовый оклад, руб.;

$k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Теперь рассчитываем месячную заработную плату работников проекта:

$$Z_{\text{мт}} = 13150 \cdot 1.3 = 17095 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{мп}} = 33162 \cdot 1.3 = 43110.6 \text{ руб.}$$

Определяем среднедневную заработную плату:

$$Z_{\text{дн.т}} = \frac{17095}{26} = 657,5 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{дн.п}} = \frac{43110.6}{26} = 1658.1 \text{ руб.}$$

Основную заработную плату определим с допущением, что на данный проект его работники затратили 100 полных рабочих дней (8 часов в день)

$$Z_{\text{осн.т}} = 657,5 \cdot 100 = 65750 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{осн.п}} = 1658.1 \cdot 100 = 165810 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10–15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы [45].

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

где  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.;  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.

Принимаем коэффициент дополнительно зарплаты равным 0,1 и получаем:

$$Z_{\text{доп.т}} = 0.1 * 65750 = 6575 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{доп.п}} = 0.1 * 165810 = 16581 \text{ руб.};$$

Итак, определяем полную зарплату работников:

$$C_{\text{зпт}} = 65750 + 6575 = 72325 \text{ руб.};$$

$$C_{\text{зпп}} = 165810 + 16581 = 182391 \text{ руб.}$$

Также необходимо рассчитать отчисления во внебюджетные фонды (социальные нужды) по формуле 11 [42]:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (11)$$

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

Принимаем  $k_{\text{внеб}} = 0.302$ .

$$C_{\text{внеб.т}} = 0.302 * 72325 = 21842,15 \text{ руб.};$$

$$C_{\text{внеб.п}} = 0.302 * 182391 = 55082,082 \text{ руб.}$$

Накладные расходы примем не более 16% от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле 12 [35]:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (12)$$

где  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов. Принимаем  $k_{\text{накл}} = 0.8$

$$C_{\text{накл.т}} = 0.16 * 231560 = 37049,6 \text{ руб}$$

Результаты расчета фонда заработной платы представлены в таблице 6.16

Таблица 6.16 – Фонд заработной платы

Исполнитель	Число исполнителей	Трудоемкость выполнения работы Тисп,д	Заработная плата по тарифной ставке руб./мес.	Среднедневная заработная плата, руб	Основная заработная плата исполнителя ЗП осн,руб.	Месячный должностной оклад, руб
Дипломник	1	100	13150	657,5	65750	17095
Руководитель	1	100	33162	1658.1	165810	43110.6
Итого:	2	200			231560	

Таблица 6.17 – Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НТИ	2500
2. Затраты на амортизацию оборудования	91496
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	231560
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	23156
4. Отчисления на социальные нужды	36508,6
5. Накладные расходы	37049,6
6. Бюджет затрат НТИ	421970,2

Бюджет научного исследования, который включает материальные затраты, затраты по основной и дополнительной заработной плате, амортизацию оборудования и отчисления во внебюджетные фонды и накладные расходы и составил 421970,2руб.

## **6.10 Определение ресурсной финансовой и бюджетной эффективности исследования**

### **6.10.1 Оценка сравнительной эффективности проекта**

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

В нашем эксперименте экономия будет связана с резким уменьшением затрат на количество потребляемых изделий. К примеру, если взять обычную сталь и двухслойную сталь, которая была разработана в данной работе, провести с ними эксперимент. Конечный результат будет оцениваться по двум критериям:

- срок эксплуатации;
- появление и влияние коррозии на данном образце.

Исходя из данного эксперимента, можно сделать вывод о том, двухслойная сталь, т.е. та, которую мы разработали, имеет гораздо больший срок эксплуатации по сравнению с первой моделью, а так же достаточно долгое время противостоит коррозии.

В нашем эксперименте экономия будет связана с уменьшением затрат на механическую обработку наплавленного изделия. К примеру, распредвал, который после наплавки коренных и шатунных шеек подвергается механической обработке и чистовой шлифовки в то время как Механическая обработка и шлифовка для мартенситностареющей наплавленной стали будет менее затратной с точки зрения экономии дорогостоящего инструмента (резцов и алмазных кругов) и время обработки будет в разы меньше, т.к. после окончательной механической обработки необходимо провести старение и деталь готова к эксплуатации, в то время как для обычной наплавки требуется механическая обработка чистовая обработка с использованием дорогостоящих инструментов.

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. В нашем исследовании мы можем рассчитать интегральный показатель ресурсоэффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом [43]:

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

где  $I_m$  – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го параметра;

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

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, которая приведена ниже. В текущем исследовании применялась мартенситно - стареющая сталь при вакуумно - электронно лучевой наплавки, в нашем случае для исследования мы измеряем твердость по Виккерсу. В качестве аналогов для проведения эксперимента рассмотрим существующую измерение твердости по Бринелю (аналог 1) и Роквеллу (аналог 2).



Таблица 6.18 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Сложность точной постановки эксперимента	0,4	5	4	2
2. Удобство в эксплуатации	0,4	5	5	2
3. Энергосбережение	0,15	3	2	1
4. Безопасность	0,15	3	3	2
5. Стоимость эксперимента	0,2	4	3	2
ИТОГО	1			

По формуле 13 и данным таблицы 6.18 рассчитаем интегральный показатель ресурсоэффективности.

$$I_m^p = 0.4 \cdot 5 + 0.1 \cdot 5 + 0.15 \cdot 3 + 0.15 \cdot 3 + 0.2 \cdot 4 = 4.2;$$

$$I_m^{a1} = 0.4 \cdot 5 + 0.1 \cdot 5 + 0.15 \cdot 2 + 0.15 \cdot 3 + 0.2 \cdot 3 = 3.85;$$

$$I_m^{a2} = 0.4 \cdot 2 + 0.1 \cdot 2 + 0.15 \cdot 1 + 0.15 \cdot 2 + 0.2 \cdot 2 = 1.85.$$

где  $I_m^p$  – интегральный показатель текущего проекта,  $I_m^{a1}$  – интегральный показатель аналога 1,  $I_m^{a2}$  – интегральный показатель аналога 2

Из расчётов наглядно видна ресурсоэффективность установки, на которой были проведены эксперименты настоящего исследования.

Из таблицы видно, что для текущего исследования коэффициенты энергосбережения и стоимости эксперимента выше, чем у аналогов. Из этого можно сделать вывод, что интегральный финансовый показатель будет меньше, чем у аналогов исследования.

А значит, на данное исследование был израсходован бюджет, величина которого могла быть больше при проведении исследований с помощью аналогов.

## **Вывод**

В ходе выполнения данного раздела выпускной квалификационной работы был проведен технико-экономический анализ исследования свариваемости труб, имеющих металлизационное защитное покрытие. Целевой рынок результатов исследования будет включать в себя все отрасли промышленности, нуждающиеся в высокой износостойчивости, прочности, и сравнительно дешёвой механической обработки. Результаты исследования могут найти практическое применение на объектах оборонной промышленности и тяжелого машиностроения.

Построена интерактивная матрица SWOT-анализа, в которой показаны слабые и сильные стороны для разрабатываемого проекта. Сделан план исследования, в котором распределялись основные функции проекта между руководителем и дипломником и сделан расчет бюджета научного исследования, в который вошли расходы на материалы и оборудование, а также заработные платы участников проекта.

По оценке ресурсоэффективности проекта, можно сделать выводы, что для текущего исследования коэффициенты энергосбережения и стоимости эксперимента выше, чем у аналогов. Из этого можно сделать вывод, что интегральный финансовый показатель будет меньше, чем у аналогов исследования. А значит, на данное исследование был израсходован бюджет, величина которого могла быть больше при проведении исследований с помощью аналогов. Рассчитан бюджет научного исследования, который включает материальные затраты, затраты по основной и дополнительной заработной плате, отчисления во внебюджетные фонды и накладные расходы и составил 421970,2руб

## 7 Социальная ответственность

В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды.

В данной работе рассмотрено исследование формирования структуры мартенситно-старяющей стали в процессе вакуумной электронно-лучевой наплавки, данный эксперимент проводится в офисных помещениях 16а корпуса НИТПУ, кабинета 316. В ходе научного основная часть работы была выполнена с использованием ЭВМ, а также специальных электронных оборудований для проведения испытания, поэтому в данном разделе ВКР рассматриваются вопросы анализа и выявления возможных опасных и вредных факторов на рабочем месте инженера-лаборанта. Площадь занимаемого помещения составляет 40 м<sup>2</sup>, на которых располагаются 6 человек.

Под проектированием рабочего места понимается целесообразное пространственное размещение в горизонтальной и вертикальной плоскостях функционально взаимосвязанных средств производства (оборудования, оснастки, предметов труда и др.), необходимых для осуществления трудового процесса.

При проектировании рабочих мест должны быть учтены освещенность, температура, влажность, давление, шум, наличие вредных веществ, электромагнитных полей и другие санитарно-гигиенические требования к организации рабочих мест.

При проектировании лаборатории необходимо уделить внимание и охране окружающей среды, а в частности, организации безотходного производства.

Также необходимо учитывать возможность чрезвычайных ситуаций. Так как лаборатория находится в городе Томске, наиболее типичной ЧС является мороз. Так же, в связи с неспокойной ситуацией в мире, одной из возможных ЧС может быть диверсия.

## **7.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды**

Вредным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего человека в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению трудоспособности. В результате идентификации выявлены следующие вредные производственные факторы:

- электромагнитные поля в производственных помещениях;
- производственный шум;
- освещенность рабочей зоны;
- микроклимат в помещении.

### **7.1.1 Электромагнитные поля в производственных помещениях**

Основным вредным фактором является электромагнитное поле (ЭПМ). Находясь в электромагнитном поле, человек поглощает его энергию, в тканях возникают высокочастотные токи с образованием теплового эффекта.

Биологическое действие электромагнитного излучения зависит от длины волны, напряженности поля, длительности и режима воздействия. При воздействии на человека электромагнитного поля возникают нарушения электрофизиологических процессов в центральной нервной и сердечнососудистой системах. Функций щитовидной железы, генеративной функции организма.

Основными источниками электромагнитного излучения во время разработки проекта были электронный ускоритель, ЭВМ, а также электронный микроскоп и испытательная машина

Согласно [46], временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ, составляют:

- напряженность электрического поля в диапазоне частот 5 Гц - 2кГц – 25 В/м;
- напряженность электрического поля в диапазоне частот 2 кГц – 400кГц – 2,5 В/м;
- плотность магнитного потока в диапазоне частот 5 Гц – 2кГц – 250 нТл;
- плотность магнитного потока в диапазоне частот 2 кГц – 400кГц – 25 нТл;
- электростатический потенциал экрана видеомонитора – 500В.

***Предельно допустимые уровни облучения (по СанПиН 2.2.4.1191-03):***

При 8-часовой работе ПДУ магнитного поля составляет 10 мкВт/см<sup>2</sup> при 8-часовой работе, при 2-часовой работе – 10-100 мкВт/см<sup>2</sup>, а при 20-минутной работе > 100 мкВт/см<sup>2</sup>.

Исходя из исследования [47], безопасным расстоянием от токоведущего кабеля до жизненно важных органов сварщика являются расстояния 0,1; 0,25 и 0,35 м при токах 200, 300 и 400 А соответственно. Экспериментальные исследования показали, что индукция поля вблизи корпуса выпрямителя ВДУ-506 при токах до 400 А на порядок ниже ПДУ. Это связано с тем, что выпрямитель экранируется металлическим корпусом.

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

***СКЗ***

- защита временем;
- защита расстоянием;
- снижение интенсивности излучения непосредственно в самом источнике излучения;
- экранирование источника заземленным металлическим ограждением;

## *СИЗ*

Применение средств индивидуальной защиты (СИЗ), которые включают в себя:

– Очки из металлической решетки и специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани (кольчуга). При этом следует отметить, что использование СИЗ возможно при кратковременных работах и является мерой аварийного характера. Ежедневная защита обслуживающего персонала должна обеспечиваться другими средствами.

Экранирование источника излучения и рабочего места осуществляется специальными экранами по ГОСТ 12.4.154.

К средствам защиты от статического электричества и электрических полей промышленной частоты относят комбинезоны, очки, спецобувь, заземляющие браслеты, заземляющие устройства, устройства для увлажнения воздуха, антиэлектростатические покрытия и пропитки, нейтрализаторы статического электричества.

Основным коллективным средством защиты от воздействия ЭМП является экранирование источника электромагнитного излучения или же объекта защиты. При возможности эффективной защитой является удаление источника излучения из рабочей зоны. В качестве средств индивидуальной защиты, при значительном действии электромагнитного поля, используют одежду, которая изготавливается из металлизированной ткани или другой ткани с высокой электропроводностью. Ограничение времени пребывания в зоне действия ЭПМ так же является эффективной защитой.

К средствам защиты от статического электричества и электрических полей промышленной частоты относят комбинезоны, очки, спецобувь, заземляющие браслеты, заземляющие устройства, устройства для увлажнения воздуха, антиэлектростатические покрытия и пропитки, нейтрализаторы статического электричества.

В процессе выполнения научного исследования не были превышены нормы СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным

электронно-вычислительным машинам и организации работы" (с изменениями на 21 июня 2016 года) [48].

### **7.1.2 Производственный шум**

Шум является общебиологическим раздражителем и в некоторых условиях может оказывать влияние на системы организма человека. Шум на рабочем месте инженера-лаборанта возникает от работы ПК, а также может проникать извне. 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.

Методы установления предельно допустимых шумовых характеристик стационарных машин изложены в межгосударственном стандарте ГОСТ 12.1.003-2014 "Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности"[49].

Для оценки шума используют частотный спектр измеряемого уровня звукового давления, выраженного в дБ, в октавных полосах частот, который сравнивают с предельным спектром, для офисных помещений уровень звукового давления должен не превышать 82 дБА (по СанПиН 3359-16) [50].

Дополнительные средства для коллективной защиты (СКЗ) от шума извне могут служить современные пластиковые окна и шумоизоляционные панели стен.

Сама панель – это многослойная конструкция (триплекс). Сам ее каркас выполнен из композита на основе натуральных целлюлозных волокон. Плоские слои разделены пространством, которое обеспечивают волнообразные переемычки, по типу гофрированного картона. Все пустоты внутри панели заполнены минеральным гранулатом на базе очищенного кварцевого песка

Шум от работы ПК можно понизить, используя малошумные вентиляторы охлаждения, либо водяное охлаждение системного блока.

В качестве средств индивидуальной защиты(СИЗ) можно использовать не дорогие шумопоглощающие наушники. Так же источниками шума в лаборатории могут быть работающие микроскопы и испытательные аппараты, для этого рекомендуется защита в виде беруш или специальных наушников.

### **7.1.3 Освещенность рабочей зоны**

Согласно СП 52.13330.2011 в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 200 Лк.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

Освещение рабочего места – важный фактор создания нормальных условий труда. Согласно СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 [51], рабочее место инженера должно освещаться как естественным, так искусственным освещением. Естественное освещение попадает в аудитории через большое окно в светлое время суток. Естественное освещение по своему спектральному составу является наиболее приемлемым. Искусственное освещение отличается относительной сложностью восприятия его зрительным органом человека.

Слабая освещенность рабочего места инженера не только уменьшает остроту зрения, но и вызывает утомление организма в целом, что приводит к снижению производительности труда и увеличению опасности заболеваний человека. Поэтому с целью обеспечения требуемых норм освещенности необходимо произвести расчет искусственной освещенности. Для расчета



общего равномерного освещения при горизонтальной рабочей поверхности основным является метод светового потока (коэффициента использования), учитывающий световой поток, отраженный от потолка и стен. При работе с персональным компьютером в сочетании с нормативной работой и технической документацией согласно действующим нормам СП 52.13330.2016 [51] для искусственного освещения регламентирована наименьшая допустимая освещенность, а для естественного и совмещенного определены коэффициенты естественной освещенности (КЕО).

Нормативное значение КЕО для третьего пояса светового климата (расположение города Томска) в соответствии с СП 52.13330.2016 [52], при третьем разряде зрительной работы (III г: контраст малый и средний, фон - светлый и средний), при естественном боковом освещении КЕО,  $e_n = 1,2 \%$ , освещенность при искусственном освещении – 200 лк, ослепленность 40 ед. и пульсации искусственного освещения не более 15 %. Рекомендуемая освещенность для работы с экраном дисплея составляет 200 лк, а при работе с экраном в сочетании с работой с документами 400 лк согласно СП 52.13330.2016 [52].

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен [51].

Для расчета принимаем что длина помещения  $A=5$  м, а ширина  $B=8$  м, высота  $H=3,5$  м. Высота рабочей поверхности  $h_p = 0,8$  м. Требуемая освещенность по СНиП 23-05- 95  $E= 400$  лк.

Коэффициент отражения стен  $R_c = 50 \%$  , потолка  $R_p = 70 \%$ . Коэффициент запаса  $k = 1.5$ , коэффициент неравномерности  $Z= 1.1$

Рассчитаем систему общего люминесцентного освещения.

Выбираем светильник типа ОД, принимаем высоту подвеса светильника от уровня потолка  $h_c= 0,2$  м; получаем высоту подвеса светильника над расчетной поверхностью  $h = 3.5-0.8-0,2=2,5$  м;

Определим расстояние между рядами светильников, используя соотношение:

$$L = \square * h \quad (14)$$

$$L = 1.4 * 2.5 = 3.5 \text{ м,}$$

При ширине помещения  $A = 5$  м, получаем число рядов светильников:

$$n = A/L = 5/3.5 = 1.4 \sim 2 \quad (15)$$

Определим число светильников в одном ряду:

$$N_p = (B - 2l) / l_{\text{св}}, \quad (16)$$

где  $l_{\text{св}}$  – длина светильника, для светильника типа ОД–2–40  $l_{\text{св}} = 1,23$  м.

$$N_p = (8 - 2 * 1.17) / 1.23 = 4.6 \sim 4,$$

Таким образом, общее число светильников  $N$ :

$$N = N_p * n \quad (17)$$

$$N = 4 * 2 = 8.$$

Размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду можно установить 4 светильников типа ОД мощностью 40 Вт (с длиной 1230мм и шириной 266 мм), при этом разрывы между светильниками в ряду составят от 50 до 500 см. Изображаем в масштабе план помещения и размещения на нем светильников (рис. 7.1). Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении  $N = 8 * 2 = 16$ .

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = S / h(A + B). \quad (18)$$

$$i = 40 / [2.5 * (5 + 8)], = 1.23.$$

Расчетным уравнением метода коэффициента использования светового потока является [51];

$$\Phi = \frac{E_n * S * K_3 * Z}{N * \eta}, \quad (19)$$

По таблицам [51] определяем коэффициент использования светового потока для данной формулы  $\eta = 0,53$ ;

Отсюда получаем:

$$\Phi = \frac{400 * 40 * 1,5 * 1,1}{16 * 0,53} = 3113 \text{ лм}, \quad (20)$$

Определяем потребный световой поток ламп в каждом из рядов:

По табл. 1 выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛБ 40 Вт с потоком 3200 лм. Делаем проверку выполнения условия [51]:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ст}} - \Phi_{\text{расч}}}{\Phi_{\text{ст}}} * 100\% \leq +20\% \quad (21)$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки

$$-10\% \leq \frac{3200 - 3113}{3200} * 100\% \leq +20\%$$

$$-10\% \leq 2,7\% \leq +20\%$$

Потребляемая мощность осветительной установки составит:

$$P = 16 * 40 = 640 \text{ Вт.}$$

Таким образом, выбранная система освещения обеспечивает требуемую освещенность рабочего места. К дополнительным мерам, можно отнести использование местного освещения на рабочих местах (настольные лампы).

Для схематического изображения размещения светильников необходимо рассчитать расстояние вдоль стен и от торца помещения:

$$L = Na \cdot L_1 + 2/3 \cdot L_1 + N \cdot L_{\text{лам}};$$

Соответственно расстояние до ламп от стены длиной 8 метров обозначаем  $L_1$ , а для расстояния от стены длиной 5 метров  $L_2$

Согласно «Практикум БЖД 2009» равномерность освещения обеспечивается расстоянием от крайних светильников до стенок =  $L/3$ .

Составим уравнение с 1 неизвестной

$$5000 = L_1 + 2/3 * L_1 + 2 * 266;$$

$$8000 = 3 * L_2 + 2/3 * L_2 + 4 * 1230;$$

Отсюда:

$$5000 - 2 * 266 = L_1 * (1 + 2/3);$$

$$8000 - 4 * 1230 = L_2 * (3 + 2/3);$$

Следственно получаем уравнения:

$$L1 = \frac{5000 - 2 \cdot 266}{1 + \frac{2}{3}} = 2600; \text{ мм} - \text{расстояние вдоль помещения}$$

$$L2 = \frac{8000 - 4 \cdot 1230}{3 + \frac{2}{3}} = 840 \text{ мм} - \text{расстояние от торцов помещения}$$

расстояние от торцов – l:

$$l1 = 2600 / 3 = 860 \text{ мм}$$

$$l2 = 840 / 3 = 280 \text{ мм}$$

Размещаем светильники в 2 ряда по 4 светильника. На рисунке изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

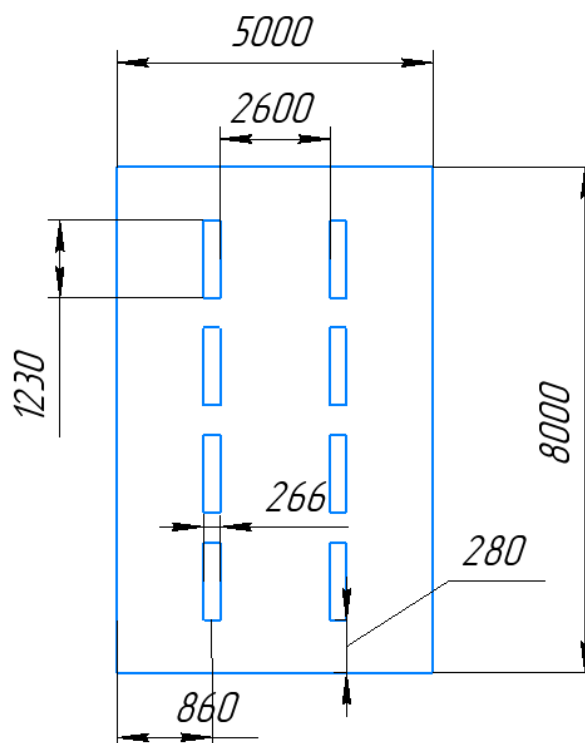


Рисунок 7.1 – План размещения светильников с люминесцентными лампами, размеры установлены в мм

#### 7.1.4 Микроклимат в помещении

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды помещения, который определяется влияющими на человека сочетаниями температуры, влажности и скорости перемещения воздуха, а также температуры

окружающих предметов ГОСТ Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда [52]. Согласно ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [53], оптимальные микроклиматические условия создают общее и локальное ощущение теплового комфорта во время восьми часового рабочего дня, не вызывают отклонений в состоянии здоровья и создают условия для высокой производительности труда.

Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны должны отвечать ГОСТ 12.1.005-88 [53]. Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости перемещения воздуха приведены в таблице 7.1 и 7.2 [53].

Таблица 7.1–Оптимальные параметры микроклимата

Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
19-22	40-60	0,2

Таблица 7.2–Допустимые параметры микроклимата

Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
15-28	20-80	0,5

В нашем случае рассматривается рабочий кабинет размерами 8x5 м, как показано на рисунке 7.1, высота кабинета 3,5 м.

Согласно, установленным размерам рабочего кабинета в нем располагается 6 человек. Объем помещения 140 м<sup>3</sup>, общая площадь 40 м<sup>2</sup>, тогда на одного человека приходится 23,3 м<sup>3</sup> и 6,7 м<sup>2</sup>, соответственно, что удовлетворяет санитарным требованиям помещения.

Объем и площадь производственного помещения, которые должны приходиться на каждого работающего, по санитарным нормам – 20 м<sup>3</sup> и 6,5 м<sup>2</sup>, соответственно. Высота помещения должна быть не менее 3 м [53].

Для категории работ I(б), к которым относится работа лаборанта, характерны такие работы, интенсивность энерго-затрат которых равна 121– 150 ккал/ч (140–174 Вт), это работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторыми физическими напряжениями.

Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года применяется водяное отопление, а в теплый период года для обеспечения защиты от попадания прямых солнечных лучей применяются жалюзи.

Одними из основных мероприятий по оптимизации микроклимата и состава воздуха в производственных помещениях являются обеспечение надлежащего воздухообмена с использованием механической приточно-вытяжную вентиляции, тепловая изоляция нагретых поверхностей оборудования, воздухопроводов и трубопроводов.

Во время проведения эксперимента на питтинговую коррозию в 16а корпусе ТПУ микроклимат отвечал нормам изложенным в таблице 7.1

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

## **7.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды**

### **7.2.1 Факторы электрической природы**

Все оборудование должно быть выполнено в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [54].

В отношении опасности поражения людей электрическим током различают:

1. Помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

2. Помещения с повышенной опасностью, которые характеризуются наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.), высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям, технологическим аппаратам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой.

3. Особо опасные помещения, которые характеризуются наличием оборудования свыше 1000 В и до 1000 В при наличии двух и более из следующих условий, создающих особую опасность: особой сырости, химически активной или органической среды, одновременно двух или более условий повышенной опасности. Территории размещения наружных электроустановок в отношении опасности поражения людей электрическим током приравниваются к особо опасным помещениям

Комната, в которой выполнялась работа, относится к категории помещений без повышенной опасности, поскольку она характеризуется следующими признаками: температура воздуха и влажность в норме, а также электрооборудование и электрические сети выполнены в соответствии с «Правилами устройства электроустановок» (ПУЭ) и оборудование используемое в помещении и там преобразуется входящее переменное напряжение в постоянный ток напряжением +3,3 В, +5 В, +12 В Но в процессе деятельности с ЭВМ и электронных микроскопов и испытательных машин, работающих от источника тока, может возникнуть опасность поражения электрическим током. Основными причинами этого могут послужить следующие факторы: прикосновение к токоведущим частям или прикосновение к металлическим конструктивным частям, оказавшимся под напряжением. Для предотвращения опасности поражения электрическим током следует соблюдать правила электрической безопасности:

- перед включением ЭВМ в сеть, необходимо визуально проверить ее электрическую часть, на отсутствие возможных видимых нарушений изоляции, а также на отсутствие токопроводящих частей на корпусе компьютера;

- рабочее место инженера с ЭВМ, электронных микроскопов и испытательных машин, не должны быть размещены вблизи силовых кабелей и высоковольтных трансформаторов;

- ЭВМ, электронный микроскоп и испытательная машина, подключается через блок питания или питающее устройство, которые имеют сетевой фильтр, конденсаторы которого предназначены для шунтирования через провод зануления, и соответствующие трехполосные вилку и розетку высокочастотных помех питающей сети на землю;

- при выявлении признаков замыкания необходимо немедленно отключить от электрической цепи ЭВМ, электронный микроскоп или испытательную машин;

- запрещается подключать корпус ЭВМ к батареям отопления, т.к. при неисправности источника питания ЭВМ батареи могут оказаться под напряжением;

- запрещается при работающей ЭВМ в то же время прикасаться к приборам, имеющим естественное заземление.

К защитным мерам от опасности прикосновения к токоведущим частям электроустановок относятся: изоляция, ограждение, блокировка, малые напряжения, электрозащитные средства.

В корпусе 16а ТПУ используются следующие защитные меры от поражения электрическим током при работе с электроустановками:

- защитное заземление – предназначено для предотвращения;
- «замыкания на корпус» в «замыкание на землю», с тем, чтобы уменьшить напряжение прикосновения и напряжение шага до безопасных величин (выравнивание самый распространенный способ защиты от поражения электрическим током);



- зануление при замыкании на корпус электроустановок – отключение участка электрических цепей;
- системы защитного отключения – отключение электроустановок в случае проявления опасности пробоя на корпус;
- защитное разделение сетей;
- предохранительные устройства.

К работам на электроустановках допускаются лица, старше 18 лет, изучившие инструктаж и обученные безопасным приемам труда. К тому же электробезопасность зависит и от профессиональной подготовки работников, сознательной производственной и трудовой дисциплины. Целесообразно каждому работнику знать меры первой медицинской помощи при поражении электрическим током.

Сейчас безопасным для человека считается напряжение электрической сети 42 Вольта (до недавнего времени – было 36 В), использующееся для переносных осветительных и бытовых приборов на воздухе и в доме и 12 Вольт, при условии использования переносных светильников и приборов внутри котлов, металлических резервуаров и пр.

Допустимым же для человека током принято считать силу тока, при которой он самостоятельно может освободиться от его воздействия. И он так допуски будут соответствовать  $I = 0.1 \text{ А}$ , а  $R_{\text{заземления}}$  – не более 4 ом.

Максимально допустимая величина тока, проходящего через тело человека, зависит от времени его воздействия. Для тока переменного, с его частотой 50 Гц допустимое напряжение прикосновения по ГОСТ12.1.038-82 составляет всего 2 В, а сила тока - всего 0,3 мА. Для постоянного тока – допустимое напряжение прикосновения всего-то 8В, при силе тока в 1,0 мА (данные приведены для времени воздействия менее 10 мин в сутки).

Безопасные для человека уровни напряжения электрической сети в доме получают из нашей бытовой осветительной сети напряжением 220 В, используя при этом понижающие трансформаторы, или напрямую – используя для этого аккумуляторные батареи номинальным напряжением 12 и 24 Вольта

Так как используется оборудование с напряжением до 1000 в то применяются следующие СИЗ:

В условиях работы на оборудовании с напряжением, не достигающим 1000 вольт,

- используются: специальные прорезиненные перчатки, выполненные с использованием современным полимеров, которые способны длительное время выдерживать большое напряжение;

- изолирующие штанги, выполненные с использованием диэлектрического металла, которые прикрепляются к источнику электричества и служат в качестве основного заземлителя, в результате чего обеспечивается безопасная работа;

- специальные клещи, которые могут использоваться в места. Где применение штанги невозможно. С помощью данных клещей также осуществляются ремонтные мероприятия; специальное оборудование с указателями напряжения, для измерения силы и напряжения тока.

- специальное оборудование с указателями напряжения, для измерения силы и напряжения тока

Также используются дополнительные средства защиты:

К материалам, которые применяются в качестве дополнительных устройств с оборудованием при напряжении менее 1000в относятся:

- специальная прорезиненная обувь, выполненная с применением современных полимеров, которая надежно обеспечивает защиту персонала;

- подставки, выполненные из дерева для осуществления работы с оборудованием без использования штатного заземления;




- специальные лестницы, выполненные из не проводимого металла, которые применяются при проведении работы на определенной высоте.

При выполнении мер защиты в электроустановках напряжением до 1 кВ классы применяемого электрооборудования по способу защиты человека от поражения электрическим током по ГОСТ Р 12.1.009-2009 «ССБТ.

Изделия электротехнические. Общие требования безопасности» [55], следует принимать в соответствии с таблицей 6.3.

В результате проведенного анализа для предотвращения случаев электротравматизма на рабочем месте, рекомендуется применение электрооборудования класс 0. Помимо этого в качестве дополнительной защиты использовать сетевые фильтры, источники бесперебойного питания, использование закрытых розеток.

Таблица 7.3 – Применение электрооборудования в электроустановках напряжением до 1 кВ

Класс по ГОСТ12.2.00 7.0 РМЭК536	Маркировка	Назначение защиты	Условие применения электрооборудования в электроустановке
Класс 0	-	При косвенном прикосновении	1. Применение в непроводящих помещениях. 2. Питание от вторичной обмотки разделительного трансформатора только одного электроприемника
Класс I	Защитный зажим – знак  или буквы PE, или желто-зеленые полосы	При косвенном прикосновении	Присоединение заземляющего зажима электрооборудования к защитному проводнику электроустановки
Класс II	Знак 	При косвенном прикосновении	Независимо от мер защиты принятых в электроустановке
Класс III	Знак 	От прямого и косвенного прикосновения	Питание от безопасного разделительного трансформатора

При анализе рабочего места инженера в 16а корпусе ТПУ отклонений от требований, изложенных выше, не выявлено.

## 7.2.2 Факторы пожарной и взрывной природы

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1 - В4, Г и Д, а здания в свою очередь (как сказано в нормативном документе) - на категории А, Б, В, Г и Д. По пожарной опасности наружные установки подразделяются на категории Ан, Бн, Вн, Гн и Д.

Для нашего помещения установлена категория пожарной опасности В. Одна из наиболее важных задач пожарной защиты — защита помещений от разрушений и обеспечение их достаточной прочности в условиях воздействия высоких температур при пожаре. Учитывая высокую стоимость электронного оборудования 16а корпуса, а также категорию его пожарной опасности, здания корпуса и части здания другого назначения, в которых предусмотрено размещение ЭВМ, должны быть первой и второй степени огнестойкости [56]. Для изготовления строительных конструкций используются, как правило, кирпич, железобетон, стекло, металл и другие негорючие материалы. Применение дерева должно быть ограничено, а в случае использования необходимо пропитывать его огнезащитными составами [56].

Пожары в корпусах ТПУ представляют особую опасность, так как сопряжены с большими материальными потерями. Характерная особенность 16а корпуса ТПУ — небольшие площади помещений. Как известно, пожар может возникнуть при взаимодействии горючих веществ, окислителя и источников зажигания. В помещениях корпуса присутствуют все три основных фактора, необходимые для возникновения пожара [56].

Горючими компонентами помещения 16а корпуса являются: строительные материалы для акустической и эстетической отделки помещений, перегородки, двери, полы, перфокарты и перфоленты, изоляция кабелей.

Источниками зажигания в 16а корпусе могут быть короткое замыкание и перегрев ЭВМ, приборы, применяемые для технического обслуживания, устройства электропитания, кондиционирования воздуха, где в результате

различных нарушений образуются перегретые элементы, электрические искры и дуги, способные вызвать загорания горючих материалов.

В современных ЭВМ очень высокая плотность размещения элементов электронных схем. В непосредственной близости друг от друга располагаются соединительные провода, кабели. При протекании по ним электрического тока выделяется значительное количество теплоты. При этом возможно оплавление изоляции. Для отвода избыточной теплоты от ЭВМ служат системы вентиляции и кондиционирования воздуха. При постоянном действии эти системы представляют собой дополнительную пожарную опасность.

Разработана инструкция с мероприятиями по обеспечению пожарной безопасности. Такая инструкция ПБ должна быть размещена на каждом рабочем месте.

На рабочем месте запрещается иметь горючие вещества В помещениях запрещается:

- а) зажигать огонь;
- б) включать электрооборудование, если в помещении пахнет газом;
- в) курить;
- г) сушить что-либо на отопительных приборах;
- д) закрывать вентиляционные отверстия в электроаппаратуре.

Источниками воспламенения являются:

- а) искра при разряде статического электричества;
- б) искры от электрооборудования;
- в) искры от удара и трения;
- г) открытое пламя.

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.

На стене рядом с местом расположения огнетушителя должна находиться таблица с номерами телефонов экстренного вызова местной и городской пожарной команды [56].

Помещение инженера-лаборанта соответствует нормам пожарной безопасности. В качестве дополнительных мер по предотвращению пожаров предлагается использовать автоматизированные системы оповещения и пожаротушения.

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

Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) используют для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. Кроме того, порошковые применяют для тушения документов.

Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например, ОП-5.

План эвакуации людей из лаборатории производственного корпуса в случае ЧС показан на рисунке 7.2.



Рисунок 7.2– План эвакуации при пожаре и других ЧС.

### 7.3 Охрана окружающей среды

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

В 16а корпусе в качестве осветительных приборов приняты люминесцентные лампы, должны быть разработаны меры по их утилизации.

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».

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

## 7.4 Защита в ЧС

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. В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели на газе (с катализатором). Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась. В здании должен храниться трехдневный запас воды на всех сотрудниках.

В случае отсутствия электроэнергии должны быть предусмотрены генераторы энергии (на дизеле), а также генераторы, способные поддерживать стабильное питание сварочного оборудования.

В сильные морозы возможен выход из строя транспорта. В гаражном парке должны находиться запасные автобусы и микроавтобусы. Также для перевозки людей в удаленные районы нужно предусмотреть менее габаритные автомобили, способные работать в сильные морозы.

Чрезвычайные ситуации, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще.

Зачастую такие угрозы оказываются ложными. Но случаются взрывы и в действительности.

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их



местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации. [57].

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

1. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.»
2. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы" (с изменениями на 21 июня 2016 года)
3. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности
4. СанПиН 2.2.4.3359–16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.
5. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95
6. ГОСТ Р 2.2.2006–05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.
7. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
8. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
9. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
10. СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях.
11. ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.

12. 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.

13. Закон «Об обязательном социальном страховании на случай временной нетрудоспособности и в связи с материнством» от 29.12.2006 № 255-ФЗ.

#### Графические материалы

1) Освещенность на рабочем месте рисунок 7.1

2) Пути эвакуации рисунок 7.2

#### Заключение по разделу

В рамках данного раздела были рассмотрены вопросы соблюдения прав персонала на труд, выполнения требований к безопасности и гигиене труда, к промышленной безопасности, охране окружающей среды и ресурсосбережению, при выполнении работ в 315 аудитории 16а корпуса ТПУ выполняемых лаборантом. На основании данных исследований были проанализированы вредные и опасные производственные факторы, влияющие на лаборантов в процессе их работы, такие как, отклонения микроклимата, неправильное освещение рабочего места, излучения мониторов, производственные шумы, возможность поражения электрическим током, а также следствие влияния этих факторов на работающего в виде переутомляемости или профессиональных заболеваний, рассмотрено оформление временной нетрудоспособности на предприятии. С учетом этого приведены рекомендации по организации рабочего места оператора, позволяющие повысить производительность труда и свести к минимуму вероятность профессионального заболевания

## **Заключение**

В ходе исследования мы выяснили:

1. наиболее неблагоприятным способом соединения труб, имеющих внутреннее защитное покрытие из коррозионностойкого материала, является применение для сварки всего шва электродов типа Э50А. Ввиду активного участия материала внутреннего покрытия в металле сварного шва формируются структуры переходного состава, обладающие повышенной твердостью и хрупкостью.

2. Применение для сварки всего шва электродов типа Э-10Х25Н13Г2 способствует наиболее благоприятному распределению микротвердости, что свидетельствует о более пластичном металле шва

3. при испытаниях сварных соединений на статическое растяжение разрушение происходило по основному металлу с соответствующими значениями предела прочности

4. при испытаниях на статический изгиб образец №3, имеющий наибольшую дисперсию значений микротвердости, испытания не выдержал.

5. При угле изгиба корнем шва наружу 50 градусов в сварном соединении образовалась трещина.

6. Также наблюдалось растрескивание внутреннего покрытия из самофлюсующегося сплава на всех остальных образцах, при том, что сварные швы испытания изгибом до 120 градусов выдержали.

7. В ходе испытания на коррозию образцы теряли в среднем 2 грамма

8. Наилучшим вариантом защиты сварного соединения является не только нанесение внутреннего коррозионно-стойкого покрытия, но и выполнение всего сварного шва аустенитными электродами.

## Список литературы

1. В.М. Константинов, Н. И. Иваницкий, Л.А. Астрейко, БНТУ/ Анतिकоррозионные цинковые покрытия на стальных изделиях: Перспективы термомодифицированных покрытий
2. [Статья] Ю. Н. Шапошникова, «Проблема экологической безопасности трубопроводов для транспортировки нефти, газа и нефтепродуктов»
3. Магистральные трубопроводы в условиях болот и обводненной местности, Автор: Димов Л.А., Богушевская Е.М. Год: 2010
4. Карнаухов Н.Н., Кушнир С. Я., Горелов А.С. и др. Механика мерзлых грунтов и принципы
5. Кунина П.С. Проектирование газонефтепроводов: 2010. – 152 с.
6. Обеспечение надежности магистральных трубопроводов / А.А. Коршак, Г.Е. Коробков, В.А. Душин, Р.Р. Набиев - Уфа: ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2000.- 170 с.
7. Оценки по данным Росстата, МЧС, Ростехнадзора [Электронный ресурс] // Материалы семинара «Промышленная безопасность» УМЦ ЗАО НТЦ ПБ, 23 ноября 2015 г. – <http://riskprom.ru/publ/19-1-0-48>;
8. [Статья] А.Н. Ершова, С.И. Долгов, О.В. Трифионов, «Проблемы нормативно-правового регулирования вопросов безопасности магистральных трубопроводов при расширении городских поселений»
9. ГОСТ Р 51164-98. Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии.
10. [Статья] Н. А. Махутов, В. Н. Пермяков, Д.О. Резников, «Strength of trunk pipelines with critical damages»
11. BS 7910:2005. Guide on methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures. London: British Standards Institution; 2005.

12. [Статья] Dake Yi, Zhong Min Xiao, Sridhar Idapalapati, Shashi Bhushan Kumar, «Fracture analysis of girth welded pipelines with 3D embedded cracks subjected to biaxial loading conditions»

13. Пособие к СНиП 3.01.01-85 «Разработка проектов организации строительства и проектов производства работ для промышленного строительства»

14. [Статья] Satish Kumar Sharma, Sachin Maheshwari «A review on welding of high strength oil pipeline steels»

15. Коррозия металлов. Виды коррозии металлов [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://zadachi-po-khimii.ru/obshaya-himiya/korroziya-metallov.html> Загл. с экрана;

16. Уфимский государственный нефтяной технический университет [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://rusoil.net/>

17. Защита металлов от коррозии. Анतिकоррозионная защита [Электронный ресурс] – режим доступа <https://www.spec-emal.ru/blog/?p=387> Загл. С экрана;

18. Промтехэмаль. Силикатно-эмалевое покрытие для защиты от коррозии [Электронный ресурс] – режим доступа <https://pte74.ru/blog/antikorroziionnaya-zashchita-metallokonstruksij.html> Загл. С экрана;

19. Metalhunters. Металлизация – эффективный метод защиты от коррозии [Электронный ресурс] – режим доступа <https://metalhunters.ru/tekhnologii/stati/7/metallizatsiya--effektivnyiy-metod-zaschityi-ot-korrozii> Загл. С экрана;

20. Vils.ru. Защитные покрытия для металлов [Электронный ресурс] – режим доступа <https://vils.ru/articles/zashchitnye-pokrytiya-dlya-metallov/> Загл. С экрана;

21. Быков А.А. Развитие производства биметаллов // Металлург. – 2009. - №8. – С. 70-75; №9. – С. 61-64

22. Родионова И.Г. Коррозионно-стойкие биметаллы с прочным сцеплением слоев для нефтехимической промышленности и других отраслей/ И.Г. Родионова, А.А. Павлов, А.И. Зайцев, А.В. Голованов, А.А. Быков, А.А. Шарапов, О.Н. Бакланова. – М.: Металлургиздат, 2011. – 292 с
23. Родионова И.Г. Влияние способа изготовления двухслойных коррозионно-стойких сталей на их технологические и эксплуатационные характеристики / И.Г. Родионова, О.Н. Бакланова, А.В. Амежнов и др. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2011. №12. – С. 33-39
24. НТ сварка. «Сварка двухслойных сталей». [Электронный ресурс] – режим доступа <https://nt-welding.ru/articles/svarka-dvuxslojnyx-stalej/> Загл. С экрана
25. Реформатская И.И. Перспективы использования биметаллических труб на промысловых нефтегазопроводах Западной Сибири / И.И. Реформатская, В.В. Завьялов, И.Г. Родионова и др. // Защита металлов. – 200. Т. 36, №1. – С.51-57
26. Трегубов В.И., Яковлев С.П., Яковлев С.С. Технологические параметры вытяжки с утонением стенки двухслойного упрочняющегося материала // Кузнечно-штамповочное производств. Обработка материалов давлением. 2005. №1. С. 29-35
27. Грязев М.В., Яковлев С.С., Ремнев К.С. Математическая модель операции вытяжки с утонением стенки двухслойных анизотропных материалов в конической матрице // Известия ТулГУ. Технические науки. Тула: Изд-во ТулГУ. 2014. Вып. 1. С. 66-76
28. Ковка и штамповка: справочник в 4 т. Т. 4. Листовая штамповка / под общ. ред. С.С. Яковлева; ред. Совет: Е.И. Семенов (пред.) и др. 2-е изд., перераб. И доп. М.: Машиностроение, 2010. 732 с
29. Яковлев С.П., Яковлев С.С., Андрейченко В.А. Обработка давлением анизотропных материалов. Кишинев: Квант. 1997. 331 с

30. Яковлев С.С., Кухарь В.Д., Трегубов В.И. Теория и технология штамповки анизотропных материалов / под ред. С.С. Яковлева. М.: Машиностроение, 2012. 400м
31. [Статья] М.В. Грязев, С.С. Яковлев, О.В. Пилипенко. «Механические свойства двухслойной стали
32. Иванова В. С., Терентьев В. Ф. Природа усталости металлов.– М.: Металлургия, 1975.–455 с.
33. Коллакот Р. Диагностика повреждений: Пер. с англ.– М.: Мир, 1989.– 512 с.
34. [Статья] Р.Н. Трутнев, И.Р. Кузеев, Е.А. Наумкин. Особенности усталостного разрушения двухслойных сталей. Уфимский государственный нефтяной технический университет
35. Ахтямов Р.М., Файрушин А.М., Зарипов М.З. Повышение прочности сварных соединений из двухслойной стали 09Г2С+12Х18Н10Т применением низкочастотной вибрационной обработки в процессе сварки // Техника и технология: новые перспективы развития: Материалы V Международной научно-практической конференции (18.04.2012). – М.: Издательство «Спутник +», 2012. С. 6-8.
36. Полуавтоматическая сварка [Электронный ресурс]. – URL: [http://masterweld.ru/poluavtomaticheskaya\\_sva](http://masterweld.ru/poluavtomaticheskaya_sva) (дата обращения 17.04.2018). 3. ОСТ 26.260.480-2003. Сосуды и аппараты из двухслойной стали. Изд-во стандартов, 2003. – 93 с. 4. Сталь 10Х17Н13М2Т [Электронный ресурс]. – URL: [[http://vse-postroimsami.ru/materials/metal/10286\\_nerzhaveyushhaya-stal-10x17n13m2t/](http://vse-postroimsami.ru/materials/metal/10286_nerzhaveyushhaya-stal-10x17n13m2t/)] (дата обращения 10.12.2018). © Гуляев А.А., 2019
37. [Статья] Гуляев А.А. «Анализ качества сварного соединения двухслойной стали 09Г2С+10Х17Н13М2Т Кац Ш.Н. Прочность труб с продольным сварным швом. «Теплоэнергетика», 1963, №4
38. Земзин В.Н. «Жаропрочность сварных соединений», 1972г. стр.148
39. Э.Л. Макаров, Б.Ф. Якушин. Теория свариваемости сталей и сплавов. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. 30 с.

40. Шторм. «Технология сварки разнородных сталей» [Электронный ресурс] – режим доступа <https://www.shtorm-its.ru/info/articles/tekhnologiya-svarki-raznorodnykh-staley/> Загл. с экрана
41. С.Г. Паршин. Технология сварки. Сварка плавлением. Технология сварки высоколегированных сталей. / Учебное пособие. Изд-во Санкт-Петербургский государственный университет, 2015 102 с.
42. Готальский Ю.Н. Сварка разнородных сталей. Изд-во К.: Техника, 1981 184 с.
43. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: метод. указания / Том. пол-й. ун-т. – Томск 2014. – 73 с
44. Экономические расчеты в дипломных проектах по техническим специальностям: Метод. указания для студентов / Сост.: Л.И. Горчакова, М.В. Лопатин. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. - 28 с.118
45. Политика доходов и заработной платы. Под ред. П. В. Савченко и Ю. П. Кокина. М.: Юристъ, 2000. 456 с.
46. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.»
47. [Статья] Е.А. Харчевникова, С.В. Болотов. Магнитные поля при сварке и защита от их воздействия. / Белорусско-Российский университет. 2008.
48. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы" (с изменениями на 21 июня 2016 года)
49. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности
50. СанПиН 2.2.4.3359–16.Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах
51. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95
52. Безопасность жизнедеятельности. Рекомендовано в качестве практикума Редакционно-издательским советом Томского политехнического



университета. – Томск Издательство Томского политехнического университета  
2009 – 101с

53. ГОСТ Р 2.2.2006–05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда

54. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны

55. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты

56. СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях

57. ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.

**Materials and equipment for research.**

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ81	Александрова Юлия Сергеевна		03.06.2020

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Першина Анна Александровна	к.т.н.		03.06.2020

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ	Марцева Татьяна Александровна	к.филол.н.		03.06.2020

## **Introduction**

Protection of steel products and structures from corrosion damage is currently becoming particularly relevant. Products used in construction, oil refining, and agriculture fall into a corrosive environment of both low and high aggressiveness. This leads to significant investment in maintaining both existing and newly created structures in working order. The choice of the method used for applying the protective coating is an important step in ensuring long-term operation of the structure. Incorrect choice of the type of protective coating leads to additional operating costs. To ensure anti-corrosion protection of steel products in the world practice, the application of special protective metallization coatings is actively used. The most practical and common are corrosion-resistant coatings.

### **Reliability, safety and corrosion resistance of main pipelines**

Pipeline structures and systems are widely used in almost all industries. Pipelines belong to the category of power-stressed objects, whose failures are associated with significant material and environmental damage. Numerous failures on process pipelines transporting fire and explosive products, toxic components and toxic environments lead to local and General environmental pollution, and create an increased risk of danger to personnel and the public.

The reliability of the pipeline is the main factor in ensuring its safety for the environment. The main pipeline is a system of sequentially connected elements-pipes, pipe parts, and fittings. Therefore, failure of any of them leads to emergencies. The greatest probability of failure falls on pipes and welded joints performed during the construction of the pipeline. Main pipelines are unique structures because of their large diameter, performance, and energy capacity.

The structural reliability of the pipeline is its property to preserve the potential ability to perform specified functions for the required period of time. This ability, in turn, is revealed through a system of objective criteria for the quality of the pipeline,

which determine its normative performance in the mode of active influence of operational factors, which also include environmental factors. From this point of view, structural reliability, as a property of the pipeline structure, must meet environmental criteria, since the complete or partial loss of its operability by the pipeline is inevitably accompanied by a negative impact on the environment.

The environmental reliability of pipelines is a collective concept for designating a set of properties that determine the quality of an operation object. The main pipeline is a complex technical system. In accordance with the principle of operation of trunk pipelines, it should be borne in mind that they are exposed to external and internal loads and impacts, the accompanying transportation of the product without violating the tightness, subject to the rules of operation, maintenance and repair.

Increasing the structural reliability of trunk pipelines contributes to increasing their functional reliability. The importance of the problem of reliability of main pipelines is primarily related to the increased role of pipeline transport in the country's economy.

Stability of raw materials' properties should be considered the main criterion for evaluating their quality. The large-scale factor of modern pipelines, according to the law of large numbers, obviously does not make it possible to achieve such a quality of construction and operation, which would completely exclude the possibility of defects and violations of the strength of highways. At the same time, builders and operators do not have absolutely reliable methods and means to control the quality of work and the behavior of the pipeline during operation. The physical nature of the reliability of pipeline elements and, above all, the linear part has not been established, and the environmentally appropriate level of reliability of pipeline systems has not been determined in the light of new conditions and requirements.

## **Double-layer steels**

Double-Layer steels, which belong to the category of bimetals, usually have a base layer of structural steel and a cladding of corrosion-resistant, are a unique material that combines the required mechanical properties and the necessary corrosion resistance.

The main quality indicators of double-layer rolled products, which determine its manufacturability in the manufacture of equipment and the performance properties of the product, are not only the continuity and strength of the connection of layers, but also the special properties of the cladding layer (wear resistance, corrosion resistance, etc.).

Currently, in the Russian Federation, these requirements for double-layer sheet steels are normalized according to GOST 10885-85, which are oriented on bimetals and are obtained according to the batch rolling scheme. Increasing demand for high-performance equipment for oil and gas processing and chemical industries operating in the most extreme conditions, such as high and low temperatures, pressure, the action of aggressive media, as well as cyclic loading, necessitate the use of reliable bimetals that ensure compliance with the requirements of Rostekhnadzor for fire and explosive objects safe operation of equipment for many years.

In the case of multiple cyclic loads during operation, there are often violations of the continuity of the adhesion of layers and peeling of the cladding layer due to insufficient adhesion strength in the original two-layer rolled product.

This makes it necessary to carry out repairs with appropriate economic costs and reduces the life of the equipment. Unfortunately, the characteristics regulated by GOST 10885-85 do not meet modern requirements, which is why the projects of foreign companies have become widespread. Today, imported double-layer steel is used in the construction of devices and installations of Russian oil refineries (refineries).

This circumstance calls for the development of modern domestic technologies for the production of bimetals with high quality indicators. At the same time, the

technology for obtaining them must provide a set of required properties, as well as be economical and competitive both in the domestic and global markets.

### **Features of welding of two-layer steels or steels with a cladding corrosion-resistant layer.**

Recently, in the petrochemical industry, equipment and devices made of double-layer steel will become more and more popular. Two-layer (clad) steels are hot rolled two sheets of dissimilar steel of different thickness: one – the main structural layer of carbon or low-alloy steels up to 150 mm thick and more, and the second – the cladding layer (up to 10 ... 12 mm) of high-alloy corrosion-resistant steels. Usually, double-layer steels are used for the manufacture of equipment < 67 > operating in a corrosive environment.

Their use allows reducing the consumption of scarce high-alloy steels without decreasing the performance of structures. For the cladding layer in contact with an aggressive environment, use chromium-Nickel austenitic, austenitic-ferritic steel grades 08X18N10T, 10X18N10T, 08X18N12B, 10X17N13M2T, etc. or high-chromium ferritic and martensitic ferritic steel (08X13, 12X13, etc.).

The main structural layer that accepts power loads, made of steel grade VSt.Z, 20K, 15KhM, etc. is made. Welded joints must meet the following requirements:

- 1) the clad layer should be uniform, while its corrosion resistance should not be reduced;
- 2) complex alloys with reduced mechanical properties should not be formed in the weld between the cladding and the main layers.

Ensuring these requirements is achieved by selecting the welding method and its modes, the appropriate welding materials, cutting edges and welding sequence.

When surfacing transition layer of welded joints of two-layer steel welding materials groups should be provided with the minimum dilution of high-alloy metal carbon (fraction of base metal in the weld does not exceed 25 - 30%). This can be achieved if there is minimal penetration of the carbon layer. Welding materials must

ensure the mechanical properties of the weld metal or the deposited metal are not lower than the steel grade of the base layer according to the requirements of GOST R 52630-2006.

Features of formation of a welded joint of two-layer steels are caused by the presence of two dissimilar metals with different physical and mechanical properties in the welded joint. Therefore, welding of the main and surfacing of the cladding layers must be carried out separately, with different additives.

Thus, clad metal products obtained on the basis of modern metallurgical technologies are a promising material for gas and oil refining, energy, construction, chemical and other basic industries. Due to minimal mixing of the metal in the seam, it is possible to achieve the highest quality of the welded joint, while preserving the anticorrosive properties of the metal, which will significantly increase the service life of expensive equipment.

### **Welding of ring joints**

Arc ignition should be performed in the cutting of edges or from the surface of already completed sections of the seam. It is forbidden to ignite the arc on the surface of the pipe or part. Removal (shift) of the internal centralizer is allowed after the entire perimeter of the root layer of the seam is completed, regardless of the welding method. When assembling joints on an external centralizer, it can be removed after completing at least 60% of the perimeter of the root seam layer. In this case, the sections of the root layer of the seam should be evenly located along the perimeter of the joint. After removing the centralizer, all welded areas should be cleaned, and their beginning and end should be filed with an abrasive wheel. Removal of the external centralizer when assembling pipe joints and stop valves is allowed after performing tack and installing safety supports.

Leave the pipe on the supports is allowed after the root weld layer manual arc welding electrodes with basic coating, mechanized welding in carbon dioxide environment.

To complete welding of the joint, it should not be moved or subjected to any external influences joints tie-ins, connections, pipe and pipeline fittings, pipe – fittings, as well as the repaired joints.

### Formation of the seam metal structure

When welding and surfacing a number of combinations of different steels, perlite steel is mixed in various proportions with austenitic or ferritic welding materials. The resulting chemical composition of the seam has intermediate values and a different structure, estimated by the equivalents of chromium and Nickel using the Scheffler diagram (Fig. 1). A weld metal with a single-phase austenitic structure (region A) is very prone to the formation of hot cracks (HC) crystallization and subsolidus types. A seam with an austenitic-ferritic structure (region A + F), upon repeated heating, undergoes embrittlement as a result of the conversion of  $\delta$ -ferrite to a sigma phase ( $\sigma$ ). For joints with a F ferrite) structure, grain growth is characteristic at high temperatures ax, which causes brittleness at normal temperatures. Seams with structures M, M + A, M + F, M + A + F have a martensitic component that causes the formation of cold cracks (CC). The possibility of forming welds with the listed individual structures makes it difficult to ensure weldability when welding heterogeneous combinations, since various defects arise not only in the weld, but also in the fusion zone of each steel included in the combination.

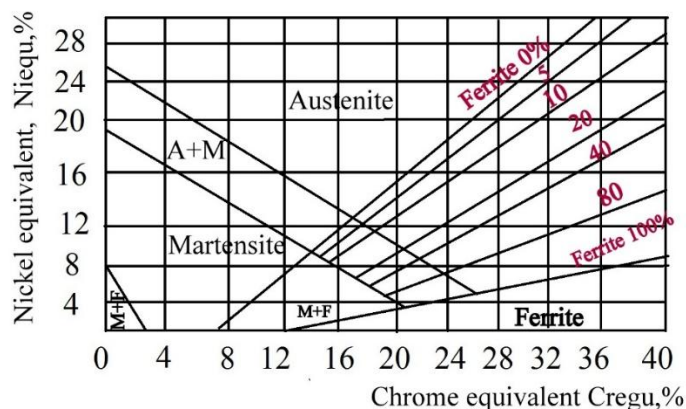


Figure 1 – Prediction of structure at the root and separate layers of weld metal using the chart Scheffler: a - austenite; M - martensite; f – ferrite



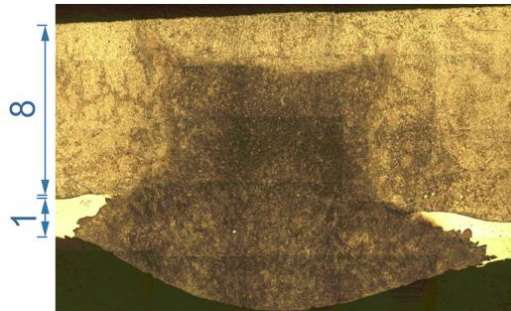
## Experimental part

According to the results of visual and measuring inspection of welded joints, no defects were found. The results of radiographic monitoring are presented in table 1

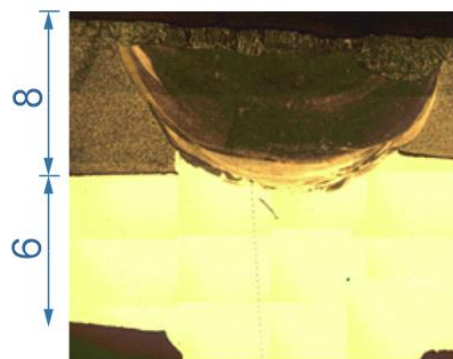
Table 1 - results of radiographic control of samples

Sample number				
1	2	3	4	5
Fa3 $\leq$ 0,1S concavity of the seam root	Fa4 $\leq$ 0,1S concavity of the seam root	Da <sub>1</sub> 4 $\leq$ 0,05S lack of fusion at the root of the weld	Fb3 $\leq$ 3MM excessive melting	Fa3 $\leq$ 0,1S concavity of the seam root

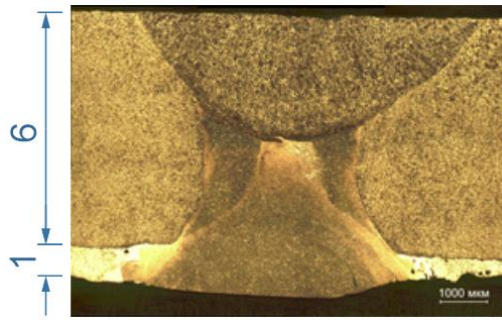
Figure 2 shows photos of the cross-section of the welded samples.



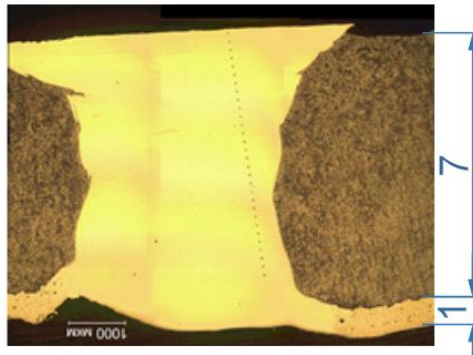
Sample №1



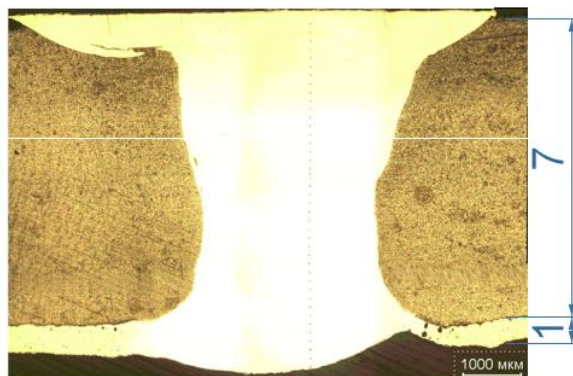
Sample №2



Sample №3



Sample №4



Sample №5

Figure 2 – Macrophotography of the cross section of welded joints  
Macrophotographs of the cross-section of welded joints clearly show non-etched areas made of a corrosion-resistant material.

The welds of all samples do not have any unacceptable defects. The internal coating, made of a self-fluxing alloy of LLC Polimerstroy, has multiple pores with a diameter of up to 100...150 microns, as well as cracks on all the samples presented (figure 3, a). No large multiple pores and cracks were found on the internal coating made of a self-fluxing alloy of Comtek LLC (figure 3, b).

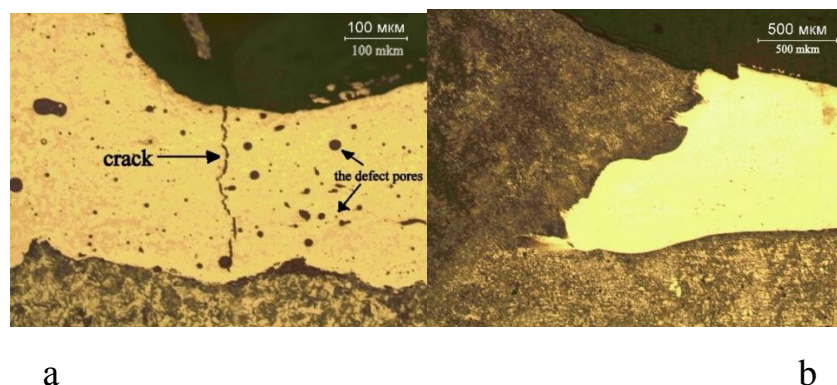


Figure 3 – Microphotographs of samples with an internal coating of self-fluxing alloy: a - production of LLC "Polimerstroy", b-production of LLC " Komtek»

Increased porosity in the coating of LLC "Polimerstroy" can contribute to the penetration of corrosive substances and cause accelerated corrosion destruction of the inner surface of the pipeline.

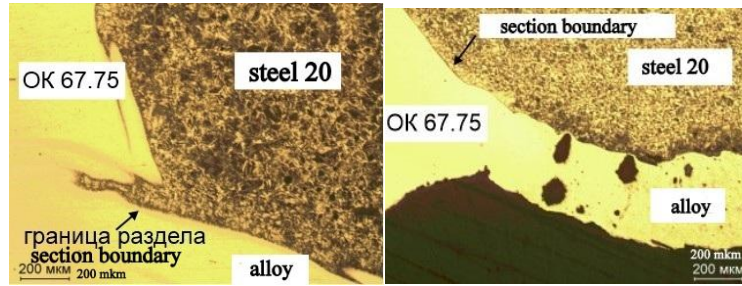
It is worth noting that when performing the root layer of the seam of samples with a coating of a self-fluxing alloy, there is no stress concentrator in the form of an interface between the base metal and the protective layer (figure 4, a,c-e). When protecting the inner surface of the weld with a sleeve made of corrosion-resistant steel, there is a stress concentrator at the interface of the two layers (figure 4, b), which can subsequently negatively affect the mechanical characteristics of the weld



a

b

c



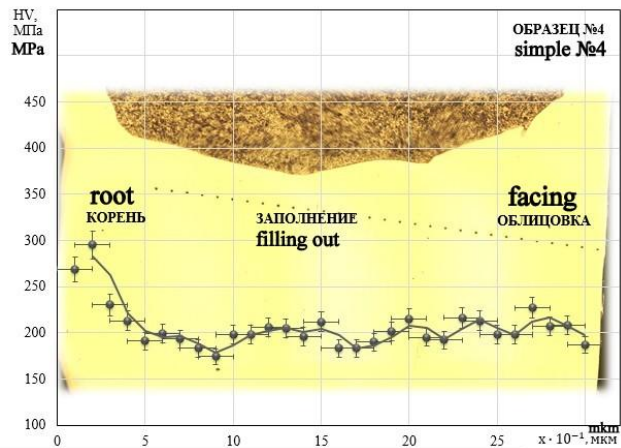
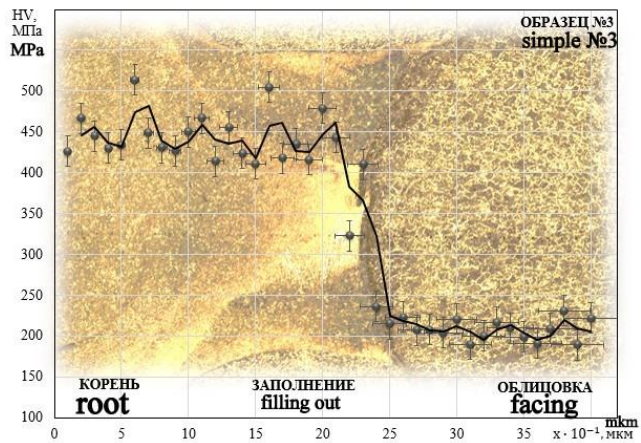
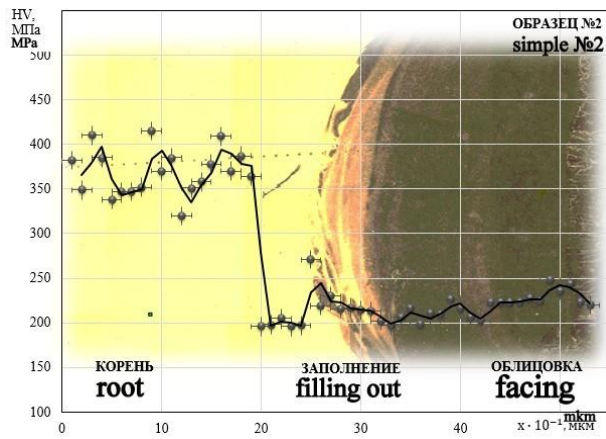
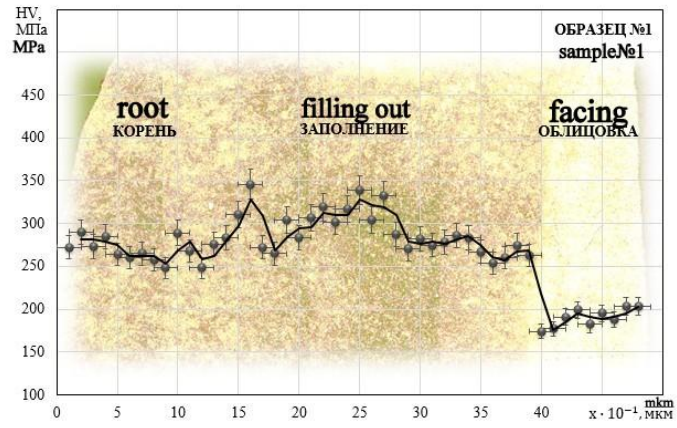
d

e

Figure 4 – the interface between the base metal of the pipe and the protective inner layer: a-sample №1, b-sample №2, c-sample №3, d-sample №4, e-sample №5

As a result of partial mixing of the base and electrode metal in the root layer of the seam, an increase in the average level of hardness is observed (figure 5). The most uneven distribution of microhardness across the cross section of the weld is observed in samples №2 and №3.





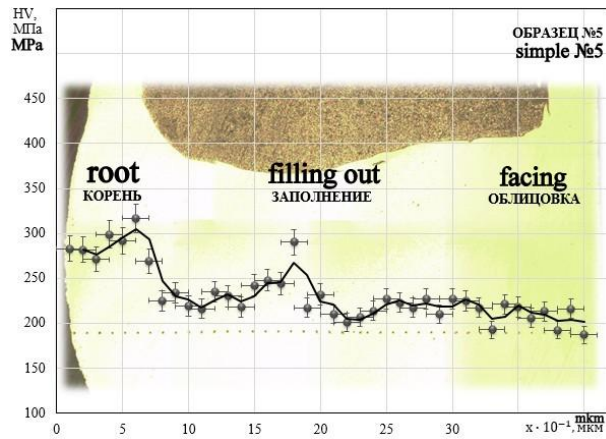


Figure 5 - Graphs of microhardness distribution over the cross section of the weld

The average microhardness of the root layer of the weld layer of sample No. 2 is 369 HV, and the facing layer 218 HV. Thus, the difference in hardness levels reached 41%.

The average microhardness of the root layer of the weld layer of sample No. 3 is 439 HV, and the facing layer-210 HV. Thus, the difference in hardness levels reached 52%

The difference in hardness levels of the weld layers made in sample №1 is 32%, in samples №4 and №5 - 4 and 12%, respectively

Figure 6 shows a histogram of the dispersion of microhardness values, which clearly reflects the nature of its distribution in the samples.

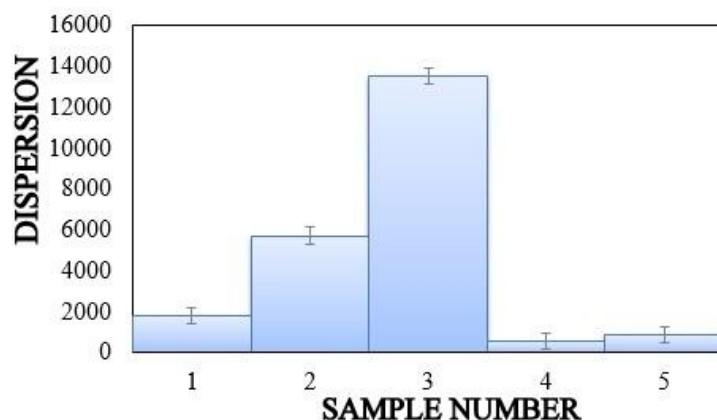


Figure 6 - Histogram of dispersion of microhardness values

From the presented histogram, it can be seen that the most unfavorable way to connect pipes that have an internal protective coating of a corrosion-resistant material is to use Э50А type electrodes for welding the entire seam. Due to the active

participation of the internal coating material in the weld metal, transition structures with increased hardness and brittleness are formed.

The use of Э-10H25N13G2 type electrodes for welding the entire seam contributes to the most favorable distribution of microhardness, which indicates a more malleable seam metal.

Despite the different nature of the formation of the weld seam of all samples, when testing the welded joints for static tension, the destruction occurred on the base metal with the corresponding values of the strength limit (table 2). However, when testing for static bending, sample №3, which has the highest dispersion of microhardness values, did not pass the test. When the bend angle of the seam root outward 50 degrees, a crack was formed in the welded joint.

There was also cracking of the internal coating of the self-fluxing alloy on all other samples, despite the fact that the welds of the bending test up to 120 degrees withstood.

Table 2-Results of mechanical static tests

№	Sample number		The size of the sample, mm	Steel grade	The results of tensile tests			The results of the Flexural testing of the weld root		
					Breaking load, kgf (10 <sup>-3</sup> )	Ultimate strength, kgf / mm <sup>2</sup>	Place of destruction	out	inside	
								Angle, deg.		Cracks
1.	1	1r	20×8,1×200	09Г2С	80	494	main metall	-	-	-
		2i	20×8,0×200		79	492		-	-	-
		1r	15×8,2×200		-	-		120	-	In the coating
		2i	15×8,0×200		-	-		-	120	In the coating
2.	2	1r	20×5,9×200	Steel 20	49	412	main metall	-	-	-
		2r	20×6,0×200		50	415		-	-	-
		1i	15×6,0×200		-	-				No
		2i	15×6,0×200		-	-				No
3.	3	1r	20×6,9×200	Steel 20	57	417	main metall	-	-	-
		2r	20×7,0×200		58	415		-	-	-
		1i	15×6,9×200		-	-		50	-	At the root of the seam
		2i	15×6,9×200		-	-		-	70	
4.	4	1r	20×7,0×200	Steel 20	59	420	main metall.	-	-	-
		2r	20×7,1×200		59	419		-	-	-
		1i	15×7,0×200		-	-		120	-	In the coating
		2i	15×7,0×200		-	-		-	120	In the coating
5.	5	1r	20×7,0×200	Steel 20	58	418	main metall	-	-	-
		2r	20×7,1×200		59	415		-	-	-
		1i	15×7,0×200		-	-		120	-	In the coating
		2i	15×7,0×200		-	-		-	120	In the coating

The probability of cracking of the internal coating during bending can contribute to the development of corrosion processes during the operation of pipelines

Using a chemical method in accordance with GOST 9.912-89, tests were carried out on the resistance of the studied samples to pitting corrosion.

The samples were kept in a solution of iron trichloride ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) with subsequent determination of the mass loss of the samples. Before the test, the samples were weighed with an error of at least  $\pm 0.1$  mg.

The tests were carried out in glass vessels, the duration of exposure was 72 hours.

After exposure to the solution, the samples were cleaned from corrosion products, dried and weighed. The results of the experiment are shown in table 3.

Table 3 - results of testing of welded joints for resistance to pitting corrosion

№	Sample number	Initial weight, g	Weight after exposure 72 hours, g	$V^2_m$ , g/m <sup>2</sup> h
1.	1	32,131	30,744	43,6
		32,843	30,505	
		35,299	33,686	
2.	2	57,556	55,747	35,7
		51,413	49,868	
		63,226	62,212	
3.	3	33,439	33,370	15,4
		35,829	34,567	
		29,885	29,336	
4.	4	41,733	40,224	28,7
		41,525	40,582	
		42,955	41,892	
5.	5	40,086	38,768	30,9
		39,843	38,538	
		40,196	38,781	

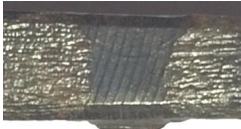



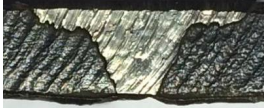



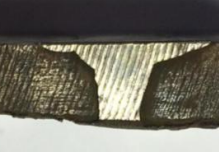

In view of the fact that the base metal took part in the tests for corrosion resistance, it is not correct to conduct a comparative analysis of the corrosion rate of the submitted samples, since the main purpose is to analyze the resistance to the reagent

<sup>2</sup> The average conditional speed of pitting corrosion



of the internal coating and the weld metal. Table 5 shows photos of the appearance of samples after exposure in solution.

Table 4-appearance of samples after testing for resistance to pitting corrosion

Sample number	Cross-section	On the side of the root layer of the seam
1		
2		
3		
4		
5		

The photo of the samples presented in the table shows that the welds made with austenitic electrodes are not subject to corrosion, while the seam layers made with low-alloy electrodes have obvious signs of destruction.

Thus, it can be concluded that the best way to protect the weld is not only to apply an internal corrosion-resistant coating, but also to perform the entire weld with austenitic electrodes

### **Перечень стандартов, используемых при оформлении пояснительных записок и чертежей**

1. ГОСТ Р 1.5-2004 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила построения, изложения, оформления и обозначения.

2. ГОСТ 2.104-68 Единая система конструкторской документации. Основные надписи.

3. ГОСТ 2.105-95 Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам.

4. ГОСТ 2.106-96 Единая система конструкторской документации. Текстовые документы.

5. ГОСТ 2.301-68 Единая система конструкторской документации. Форматы.

6. ГОСТ 2.316-68 Единая система конструкторской документации. Правила нанесения на чертежах надписей, технических требований и таблиц.

7. ГОСТ 2.702-75 Единая система конструкторской документации. Правила выполнения электрических схем.

8. ГОСТ 2.709-89 Единая система конструкторской документации. Обозначения условные проводов и контактных соединений электрических элементов, оборудования и участков цепей в электрических схемах.

9. ГОСТ 2.721-74 Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические в схемах. Обозначения общего применения.

10. ГОСТ 3.1102-81 Единая система технологической документации. Стадии разработки и виды документов.

11. ГОСТ 3.1105-84 Единая система технологической документации. Формы и правила оформления документов общего назначения.

12. ГОСТ 3.1404-86 Единая система технологической документации. Формы и правила оформления документов на технологические процессы и операции обработки резанием.
13. ГОСТ 3.1407-86 Единая система технологической документации. Формы и требования к заполнению и оформлению документов на технологические процессы (операции), специализированные по методам сборки.
14. ГОСТ 7.1-2003 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание.
15. ГОСТ 7.9-95 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Реферат и аннотация.
16. ГОСТ 7.12-93 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Сокращения русских слов и словосочетаний в библиографическом описании произведений печати.
17. ГОСТ 7.32-91 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчёт о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.
18. ГОСТ 8.417-2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин.
19. ГОСТ 19.101-77 Единая система программной документации. Виды программ и программных документов.
20. ГОСТ 19.106-78 Единая система программной документации. Требования к программным документам, выполненным печатным способом.
21. ГОСТ 19.401-78 Единая система программной документации. Текст программы. Требования к содержанию и оформлению.
22. ГОСТ 19.402-78 Единая система программной документации. Описание программы.
23. ГОСТ 19.404-79 Единая система программной документации. Пояснительная записка.
24. ГОСТ 19.502-78 Единая система программной документации. Описание применения. Требования к содержанию и оформлению.

25. ГОСТ 19.701-90 Единая система программной документации. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения.

26. ГОСТ 24.301-80 Система технической документации на АСУ. Общие требования к текстовым документам.

27. ГОСТ 24.302-80 Система технической документации на АСУ. Общие требования к выполнению схем.

28. ГОСТ 24.303-80 Система технической документации на АСУ. Обозначения условные графические технических средств.

29. ГОСТ 28.388-89 Система обработки информации. Документы на магнитных носителях данных. Порядок выполнения и обращения.