

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

Тема работы
Разработка технологии ремонта закалочного-испарительного аппарата
УДК 621.791.01:622.692.23

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ81	Агеев Илья Олегович		

Руководитель

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

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

Консультант-лингвист

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

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

**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



<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обзор литературы.</li> <li>2. Постановка задачи исследования.</li> <li>3. Материалы и методы исследования.</li> <li>4. Результаты и обсуждение.</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. Описание конструкции</li> <li>3. Разработка технологии сборки и сварки</li> <li>4. Чертеж сборки и сварки типовых стыков</li> <li>5. Схемы разделки кромок стыков с размерами</li> <li>6. Контроль качества сварных соединений</li> <li>7. Расчет расхода сварочных материалов</li> <li>8. Экономическая часть, и социальная ответственность.</li> <li>9. Заключение и выводы.</li> </ol>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p>	
<p style="text-align: center;"><b>Раздел</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Консультант</b></p>
<p>Основная часть магистерской диссертации</p>	<p>Киселев Алексей Сергеевич</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Маланина Вероника Анатольевна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Федорчук. Юрий Митрофанович</p>
<p>Часть магистерской диссертации на английском языке</p>	<p>Марцева Татьяна Александровна</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Описание конструкции</li> <li>2. Разработка технологии сборки и сварки</li> </ol>	

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Киселев Алексей Сергеевич	к.т.н.		28.01.2020г

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ81	Агеев Илья Олегович		28.01.2020г

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:

<b>Магистерская диссертация</b>
(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
04.02.2020	1 Описание конструкции	25
29.03.2020	3 Разработка технологии сборки и сварки, контроля качества	40
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	Киселев А.С.	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:

Группа 1ВМ81	ФИО Агееву Илье Олеговичу
-----------------	------------------------------

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

Тема ВКР

**Разработка технологии ремонта закалочного-испарительного аппарата**

**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. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды – 30.2%

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

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

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

1. Оценка готовности проекта к коммерциализации
2. Инициация проекта
3. Планирование управления проектом
4. График разработки и внедрения ИП
5. Инвестиционный план. Бюджет ИП
6. Основные показатели эффективности ИП

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

**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	Агеев И.О.		26.02.2020 г

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1ВМ81	Агеев Илья Олегович

<b>Институт</b>	<b>Неразрушающего контроля</b>	<b>Кафедра</b>	<b>Физических методов и приборов контроля качества</b>
<b>Уровень образования</b>	магистр	<b>Направление/специальность</b>	Машиностроение / Технология и оборудование сварочного производства

**Тема дипломной работы: Разработка технологии ремонта закаочно-испарительного аппарата.**

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

Целью данной работы является разработка технологии ремонта закаочно-испарительного аппарата.

Описание рабочего места на предмет возникновения вредных проявлений факторов производственной среды (для обслуживающего персонала необходимо обеспечить оптимальные, в крайнем случае, допустимые значения метеоусловий на рабочем месте, исключить контакт с вредными, токсичными веществами – паров металла, защитный газ и др., которые образуются в процессе работы, обеспечить комфортную освещенность рабочего места, уменьшить до допустимых пределов шум от сварочного и вспомогательного оборудования, вентиляции, обеспечить безопасные значения электромагнитных полей от сварочного агрегата);

опасных проявлений факторов производственной среды (в связи с присутствием электричества для питания сварочного аппарата и освещенности помещения, наличии горючих (СО) и токсичных газов (защитные газы, продукты химических реакций за счет взаимодействия с ультрафиолетовым излучением) необходимо предусмотреть, если есть, то перечислить средства коллективной и индивидуальной защиты от электро-, пожаро- и взрывоопасности);

необходимо предусмотреть мероприятия по предотвращению негативного воздействия на окружающую природную среду используемых энергетических проявлений и образующихся отходов: электромагнитные поля от сварочного оборудования, аргон, оксид углерода и др. парниковые и токсичные газы;

- необходимо обеспечить устойчивую работу вашего производственного участка при возникновении чрезвычайных ситуаций, характерных для Сибири – сильные морозы, пурга, человеческий фактор, диверсия (рассмотреть минимум 2 ЧС – 1 природную, 1 техногенную).

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

Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:

а) приводится перечень всех используемых в работе реагентов, их агрегатное состояние, класс опасности (токсичности), механизм воздействия их на организм человека, единицы измерения количества (концентрации); приводится перечень средств коллективной и индивидуальной защиты персонала, а также защиты окружающей среды;

б) приводятся данные по оптимальным и допустимым значениям микроклимата на рабочем месте, перечисляются методы обеспечения этих значений; приводится 1 из расчетов (расчет освещенности на рабочем месте, расчет потребного воздухообмена на рабочем месте, расчет необходимого времени эвакуации рабочего персонала);

в) приводятся данные по реальным значениям шума на рабочем месте, разрабатываются или, если уже есть, перечисляются мероприятия по защите персонала от шума, при этом приводятся значения ПДУ, средства коллективной защиты, СИЗ;

г) приводятся данные по реальным значениям электромагнитных полей на рабочем месте, в том числе от компьютера или процессора, если они используются, перечисляются СКЗ и СИЗ; приведение допустимых норм с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)

Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности

а) приводятся данные по значениям напряжения используемого оборудования, классификация помещения по электробезопасности, допустимые безопасные для человека значения напряжения, тока и заземления (в т.ч. статическое электричество, молниезащита - источники, средства защиты); перечисляются СКЗ и СИЗ;

<p><i>б) приводится классификация пожароопасности помещений, указывается класс пожароопасности вашего помещения, перечисляются средства пожаробнаружения и принцип их работы, средства пожаротушения, принцип работы, назначение (какие пожары можно тушить, какие – нет), маркировка; пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия).</i></p>
<p><i>Охрана окружающей среды: организация безотходного производства (приводится перечень отходов при эксплуатации установки, перечисляются методы улавливания, переработки, хранения и утилизации образовавшихся на вашем производстве промышленных отходов).</i></p>
<p><i>Защита в чрезвычайных ситуациях: а) Приводятся возможные для Сибири ЧС; Возможные ЧС: морозы, диверсия разрабатываются превентивные меры по предупреждению ЧС; разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</i></p>
<p><i>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства (приводится перечень ГОСТов, СНиПов и др. законодательных документов, использованных в своей работе);</i></p>
<p><b>Перечень графического материала:</b> 1) Пути эвакуации 2) План размещения светильников на потолке рабочего помещения</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	15.02.20
--	----------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Ю.М.			15.02.20

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ81	Агеев И.О.		15.02.20

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 114 страниц, 23 рисунка, 31 таблица, 38 использованных источника, 15 листов демонстрационного материала (слайдов), 2 приложения.

Ключевые слова: нефтепереработка, закально-испарительный аппарат, пирогаз, жаропрочная сталь, хромомолибденовая сталь, хромоникелевая сталь, технология ремонта, термообработка жаропрочных сталей.

Объектом исследования является закально-испарительный аппарат, корпус которого выполнен из стали 12X18H10T. Остальные узлы, подлежащие ремонту путем сварочных работ, выполнены из стали 15ХМ. Условия проведения ремонтных работ – отапливаемый ремонтный цех.

Целью данной работы является разработка технологии ремонта закально-испарительного аппарата.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- выполнен анализ литературы по сварке жаропрочных сталей;
- проанализирована нормативная документация для сосудов, работающих в заданных условиях;
- разработана технология сборки и сварки ЗИА и назначены сварочное оборудование и материалы;
- разработана технология термообработки элементов ЗИА, подлежащих сварочным работам;
- назначен необходимый объем контроля качества сварных соединений;
- выполнен расчет расхода сварочных материалов на ремонтные работы.

## Abstract

Final qualifying work 114 pages, 23 figures, 31 table, 38 sources used, 15 sheets of demonstration material (slides), 2 supplement.

Keywords: oil refining, quenching-evaporation apparatus, pyrogas, heat-resistant steel, chromium-molybdenum steel, chromium-nickel steel, repair technology, heat treatment of heat-resistant steels.

The object of study is a quenching and evaporation apparatus, the body of which is made of steel 12X18H10T. The remaining components to be repaired by welding are made of 15XM steel. Conditions for repair work - heated repair shop.

The purpose of this work is to develop a technology for repairing a quenching and evaporation apparatus.

To achieve this goal, the following tasks were completed:

- analysis of literature on welding heat-resistant steels;
- analyzed regulatory documentation for vessels operating in specified conditions;
- A technology for assembling and welding ZIA was developed and welding equipment and materials were assigned;
- a technology has been developed for the heat treatment of ZIA elements to be welded;
- the necessary scope of quality control of welded joints has been assigned;
- calculation of the consumption of welding materials for repair work.

## Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе применены следующие термины с соответствующими определениями.

Троостит – твёрдый раствор углерода в объемно-центрированной кубической решётке железа.

Мартенсит – мелкодисперсная структура пластинчатого строения, получающаяся путём кооперативного перемещения атомов на расстояние меньше межатомного.

В настоящей работе применены следующие обозначения и сокращения:

- ЗИА – закалочно-испарительный аппарат;
- РАД – ручная дуговая сварка, при которой в качестве изолирующей среды выступает инертный газ аргон
- РД – ручная дуговая сварка покрытыми электродами;
- ЗТВ – зона теплового влияния.

## Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

- ГОСТ Р 1.5-2012 Стандартизация в Российской Федерации Стандарты национальные. Правила построения, изложения, оформления и обозначения;
- ГОСТ 7.32-2001 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления;
- СТП ТПУ 2.5.01-2014 Система образовательных стандартов. □ □ Работы выпускные квалификационные, проекты и работы курсовые. Структура и правила оформления;
- ГОСТ 12.1.003-83 – Шум. Общие требования безопасности;
- СНиП 23-03-2003 – Защита от шума;
- ОСП-72/87 – Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений;
- ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
- ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
- ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
- СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях.
- ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.
- СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.

## Оглавление

1	Описание конструкции.....	18
1.1	Общая характеристика и назначение, тип соединения, условия эксплуатации.....	20
1.2	Химический состав и свойства жаропрочных сталей.....	22
2	Разработка технологии сборки и сварки.....	24
2.1	Трудности сварки жаропрочной стали 15ХМ.....	24
2.2	Выбор способа сварки.....	25
2.3	Подготовка кромок.....	28
2.3.1	Приварка ребра к нижней трубной решетке, образованной в корпусе ЗИА.....	30
2.3.2	Приварка труб к верхней трубной решетке, образованной в самом корпусе ЗИА.....	31
2.3.3	Вваривание новой трубной решетки.....	32
2.3.4	Вварка шпилек в специальные отверстия в монтируемой трубной решетке.....	33
2.3.5	Сварка трубки с трубной решеткой.....	34
2.4	Демонтаж и изготовление трубного пучка и трубной решетки.....	34
2.5	Технология сборки и сварки.....	36
2.6	Термообработка изделий.....	41
2.7	Сварочное оборудование и материалы.....	42
2.8	Подготовка производства.....	44
3	Контроль качества сварных соединений.....	46
4	Расход сварочных материалов.....	48
5	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	52
5.1	Анализ конкурентных технических решений.....	52
5.2	Инициация проекта.....	55

5.2.1 Цели и результаты проекта .....	55
5.2.2 Организационная структура проекта .....	57
5.3 План проекта .....	58
5.4 Бюджет научного исследования .....	61
5.4.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты.....	61
5.4.2 Специальное оборудование .....	62
Инжекторный резак P2-01 .....	62
5.4.3 Основная заработная плата .....	63
5.4.4 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала.....	65
5.4.5 Отчисления на социальные нужды .....	66
5.4.6 Накладные расходы .....	67
5.5 Реестр рисков проекта .....	68
5.6 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	69
5.7 Вывод по разделу финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	72
6 Социальная ответственность .....	74
6.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды .....	74
6.1.1 Микроклимат в помещении .....	75
6.1.2 Вредные вещества.....	76
6.1.3 Производственный шум .....	77
6.1.4 Освещенность.....	79
6.1.5 Электромагнитные поля .....	82
6.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды .....	84
6.2.1 Факторы электрической природы .....	84
6.2.2 Факторы пожарной и взрывной природы.....	86
6.3 Охрана окружающей среды .....	88
6.4 Защита в ЧС .....	89
	16

6.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .	90
Заключение .....	92
Список литературы .....	93
Приложение А .....	97
Приложение Б.....	110

## Введение

Научно-техническая политика РФ на современном этапе ориентирована на концентрацию ресурсов по приоритетным направлениям экономического развития, определяемым первоочередными государственными

научно-техническими программами. Их выполнение нацелено на преодоление сырьевой направленности промышленности, усиление экспортной экспансии страны и упрочение ее позиций на внешнем рынке, развитие импортозамещающих производств, повышение технического уровня производств, формирование законченных технологических циклов с выпуском готовой продукции. Переработка нефтегазовых отходов используется как на специализирующихся на этом производствах, так и на нефтехимических производствах. Закально-испарительный аппарат встречается во многих производствах по переработки отходов нефтегазовых производств.

Из-за высоких температур эксплуатации, а также высокого давления, трубный пучок закально-испарительного аппарата выходят из строя. Выход из строя ранее планируемого ремонта означает, что предыдущая технология ремонта была разработана не по действующим стандартам или авария спровоцирована ненадлежащим контролем исполнения ремонта.

Целью преддипломной практики была разработка технологии ремонта закально-испарительного аппарата.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ литературы по исследуемому вопросу и осуществить постановку задачи исследования;
- провести детализирование сборочного чертежа
- изучить технологичность конструкции, специфику сварки жаропрочных сталей
- определить свариваемость сталей марки 15ХМ и 12Х18Н10Т, сталей марки 15ХМ с 15ХМ.

- составить описание процесса сборки и сварки конструкции
- рассчитать режимы расход сварочных материалов
- провести анализ полученных результатов.

## 1 Описание конструкции

### 1.1 Общая характеристика и назначение, тип соединения, условия эксплуатации

Закально-испарительный аппарат (ЗИА) представляет собой кожухотрубный теплообменник, соединенный циркуляционными трубками с барабаном – паросборником [1]. Основной и самой частой причиной ремонта ЗИА является трубный пучок. По трубкам высотой 5800 мм движется пирогаз, а по межтрубному пространству – пароводяная эмульсия. Трубки имеют постоянный диаметр 32 мм с толщиной стенки 4 мм. В межтрубном пространстве находится вода с паром под рабочим давлением 12,5 МПа с температурой +328°С. В трубном пространстве протекает пирогаз под рабочим давлением 1,1 МПа с температурой +450°С.

Для ЗИА выполняются требования к жаропрочным сталям, используемым для изготовления труб. В условиях высокотемпературного пиролиза трубный пучок должен обеспечивать надежность в эксплуатации при температуре до 500°С, для чего применяют горячедеформированные бесшовные стальные трубы из жаропрочной низколегированной стали 15ХМ [2].

В ходе эксплуатации закально-испарительного аппарата в трубном пучке возможно появление следующих дефектов:

- 1) износ труб по внутренней поверхности;
- 2) хрупкое разрушение труб;
- 3) местная деформация труб с образованием пластически деформированных зон (отдулин) вследствие локальных перегревов;
- 4) наружное обгорание труб, высокотемпературная коррозия;
- 5) образование сквозных свищей и прогаров [2].

Внутренней коррозии в большинстве случаев подвержены участки сварных швов и сами швы печных труб. Хрупкое разрушение труб наблюдается в результате воздействия агрессивных сред и длительного пребывания печных труб при высоких температурах и давлении. Возникает снижение прочности и

пластичности материала, в связи со значительными изменениями в микроструктуре стали.

Со стороны труб, которые обращены непосредственно к факелу, происходит локальная пластическая деформация, являющаяся следствием перегрева. В этих местах стенка трубы становится тоньше, что может привести к пожару, в случае пробоя трубы.

Наружное обгорание металла 15ХМ наблюдается при паровоздушном удалении кокса из печных труб, особенно при недопустимом перегреве ( $>550$  °С). При выжигании кокса наблюдается значительные превышения предельно допустимой температуры стенок труб, что приводит к снижению прочности труб и их работоспособности [2].

Процесс длительного воздействия рабочих условий и агрессивных сред постепенно приводит к необратимым структурным изменениям в стали, что снижает ее жаропрочность и пластичность, повышает хрупкость и склонность к образованию трещин. В результате науглероживания внутренней поверхности при перегреве на закоксованных участках приводит к изменению свойств и химического состава металла труб. Для предотвращения закоксованных участков проводят мероприятия по удалению кокса из труб путем подачи пара под давлением, а после подогретого воздуха под давлением [3].

Также при ремонте требует замены трубная решетка, в которую ввариваются трубки, так как в результате вырезания трубок трубная решетка не может быть отремонтирована. Нижняя трубная решетка выполнена из той же стали, что и сами трубки - 15ХМ. В результате вырезания трубок трубная решетка не подлежит ремонту, поэтому она изготавливается вместе со шпильками из стали 15ХМ. Корпус ЗИА изготовлен из стали 15ХМ.

## 1.2 Химический состав и свойства жаропрочных сталей

При ремонте трубного пучка и трубной решетки используют жаропрочные низколегированные стали. При сварке плавлением качество сварных материалов и технология сварки должны обеспечить прочность и вязкость металла сварного соединения не ниже, чем необходимо для исходного основного металла, при рабочей температуре до +450°C.

Для обеспечения требуемой стойкости сварных соединений против образования трещин стали с диапазоном эксплуатационных температур в пределах 450...550°C необходимо осуществить предварительный подогрев стыка и его медленное остывание.

Таблица 1.1 – Химический состав стали 15ХМ [4]

C, %	Mn, %	Si, %	S, %	P, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	Mo, %	Fe, %
0,11-0,18	0,4-0,7	0,17-0,37	до 0,035	до 0,035	0,8-1,1	до 0,3	до 0,3	0,4-0,55	~96

Таблица 1.2 – Химический состав стали 12Х18Н10Т [5]

C, %	Mn, %	Si, %	S, %	P, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	Ti, %	Fe, %
0,12	до 2	0,8	до 0,02	до 0,035	17-19	9-11	до 0,3	0,4-1	~67

В соответствии с условиями длительной работы труб под напряжением при высоких температурах сталь должна обладать сопротивлением ползучести, длительной прочностью, стабильностью свойств и жаростойкостью. Эти свойства с учетом требуемой технологичности стали при сварке обеспечивают введением 0,5...2,0 % Cr; 0,2...1,0 % Mo; 0,1...0,3 % V.

Легирование Cr повышает жаростойкость сталей при температурах выше +450 °С, а совместно с Mo повышает длительную прочность и сопротивление ползучести. Ванадий вместе с углеродом обеспечивают упрочнение стали высокодисперсными карбидами [6].

## **2 Разработка технологии сборки и сварки**

### **2.1 Трудности сварки жаропрочной стали 15ХМ**

При сварке жаропрочных сталей возникают следующие сложности:

- конструктивные особенности сварных соединений;
- необходимость в обеспечении свойств металла сварного шва, близких или равных свойствам основного металла в течение длительного эксплуатационного времени;
- разупрочнение металла в зоне термического влияния (ЗТВ);
- склонность металла шва и ЗТВ сварного соединения к образованию горячих и холодных трещин [7].

При многослойной сварке труб с трубной решеткой происходит нарастание пластической деформации, ширина зоны которой в 2-3 раза превышает ЗТВ. Также трубы находятся близко друг к другу, из-за чего при сварке может возникнуть коробление и деформации конструкции [7].

Этот и другие факторы обуславливают наличие в сварных соединениях остаточных сварочных деформаций и т.п. Снижения влияния этих факторов на работоспособность и надежность соединений можно добиться путем подбора и применения технологических параметров сварки, такие как:

- выбор способа сварки;
- параметры режима сварки;
- порядок наложения швов и т.д.

В условиях длительной эксплуатации при температурах свыше 450 °С присутствует вероятность развития диффузионных процессов между основным металлом и металлом сварного шва.

Высокой диффузионной подвижностью обладает углерод. Миграция углерода происходит даже при небольшом различии в легировании их карбидообразующими элементами. В процессе эксплуатации образуется обезуглероженная (ферритная) прослойка, которая приводит к снижению прочности и пластичности сварного соединения и к локальному разрушению.

Поэтому необходимо подбирать сварочные материалы, химический состав которых близкий к основному металлу [7].

Разупрочнение в ЗТВ обусловлено влиянием термического цикла сварки или термообработки сварного соединения на термически обработанный основной металл. В ЗТВ, где металл был нагрет в интервале  $A_{c1}$ -температура отпуска стали, возникают участки разупрочнения. При этом длительная прочность соединения снижается на 15-20% в сравнении с основным металлом. Зона разупрочнения тем больше, чем выше величина погонной энергии сварки.

Разупрочнение металла можно устранить путем объемной термической обработки, но она ограничена габаритными размерами печей или сложной формой конструкции. Зону разупрочнения возможно снизить путем осуществления сварки узкими валиками без поперечных колебаний электрода.

Горячие и холодные трещины образуются в связи с появлением метастабильных структур (троостита, мартенсита) в участках ЗТВ, нагретых выше критической точки перлитного превращения  $A_{c1}$ , охрупчиванием соединений под влиянием водорода, действием силового и масштабного факторов.

Наиболее сложно осуществляется предотвращение холодных трещин в металле шва и околошовной зоне, путем предварительного подогрева сварного стыка и последующей его термообработкой.

Действие силового и масштабного факторов связаны с образованием растягивающих сварочных напряжений первого рода, жесткостью сварных конструкций, размерами деталей и их толщиной [7].

## **2.2 Выбор способа сварки**

При ремонте трубного пучка и трубной решетки можно применить следующие способы сварки [2]:

- ручная дуговая сварка покрытыми электродами;

– ручная дуговая сварка неплавящимся электродом в защитном газе с присадочным материалом;

– механизированная сварка самозащитной порошковой проволокой.

В условиях выполнения работ в цехе необходимо подбирать такой вид сварки, реализация которого позволит создать надежное сварное соединение, которое соответствует необходимым требованиям стандартов и нормативных документов.

Одним из распространенных способов является дуговая сварка неплавящимся электродом в среде защитных газов. Сварка в среде защитных газов должна применяться в помещении без сквозняков и имеет необходимость в дополнительном оборудовании (баллоны, шланги и т.д.), которое также должно быть пригодным в работе (дата проверки баллонов, аттестация шлангов и т.д.). Баллоны с газом затрудняют мобильность сварщика, что влияет на его скорость передвижения между стыками, а, следовательно, на скорость выполняемых работ.

Ручная дуговая сварка покрытыми электродами является наиболее распространенным способом сварки на предприятиях. Такой способ менее производительный, в связи с периодической заменой электродов, однако он более экономичен по сравнению с механизированной сваркой.

Наименее распространен способ механизированной сварки самозащитной порошковой проволокой. Данный способ требует лишь механизм подачи проволоки, однако самозащитная порошковая проволока имеет высокую цену.

Для выбора более технологичного способа сварки необходимо сравнить преимущества и недостатки ручной дуговой сварки покрытыми электродами, механизированной сварки самозащитной порошковой проволокой и дуговой сварки неплавящимся электродом в среде защитных газов.

Таблица 2.2.1 – Преимущества и недостатки ручной дуговой сварки покрытыми электродами

<b>Преимущества</b>	<b>Недостатки</b>
Сварка может осуществляться во всех пространственных положениях	Низкая производительность по сравнению с механизированной сваркой.
Возможна сварка в труднодоступных местах.	Качество соединения во многом зависит от квалификации сварщика.
Низкая стоимость электродов для ручной дуговой сварки и высокая мобильность сварщика.	Влияние магнитного дутья на процесс сварки при постоянном токе.

Таблица 2.2.2 – Преимущества и недостатки механизированной сварки самозащитной порошковой проволокой

<b>Преимущества</b>	<b>Недостатки</b>
Возможна сварка в труднодоступных местах.	Плохое качество соединений, по сравнению с механизированной сваркой в среде защитных газов.
Высокая производительность процесса, по сравнению с ручной дуговой сваркой.	Высокая стоимость сварочных материалов.
Сварка осуществляется во всех пространственных положениях.	
Небольшое количество дополнительного оборудования	

Таблица 2.2.3 – Преимущества и недостатки дуговой сварки неплавящимся электродом в среде защитных газов

<b>Преимущества</b>	<b>Недостатки</b>
Возможна сварка в труднодоступных местах.	Снижение мобильности сварщика из-за большого количества дополнительного оборудования.
Высокая производительность процесса, по сравнению с ручной дуговой сваркой.	Более высокая стоимость сварочных материалов по сравнению с вышеперечисленными.
Сварка осуществляется во всех пространственных положениях.	Качество соединения во многом зависит от квалификации сварщика.
Погонная энергия сварки при данном способе ниже, чем при вышеперечисленных способах, что снижает разупрочнение стали в зоне ЗТВ [7].	

В итоге, исходя из преимуществ и недостатков представленных выше видов сварки, наиболее рациональным будет применение ручной дуговой сварки в совокупности с дуговой сваркой неплавящимся электродом в среде защитных газов. Применение ручной дуговой сварки в среде защитных газов распространяется на заварку корня шва, исходя из указаний инструкции по ремонту ЗИА [8]. Это обуславливается более высокими требованиями к корневому слою сварного шва.

### **2.3 Подготовка кромок**

В инструкции по ремонту ЗИА указаны следующие сварные стыки:

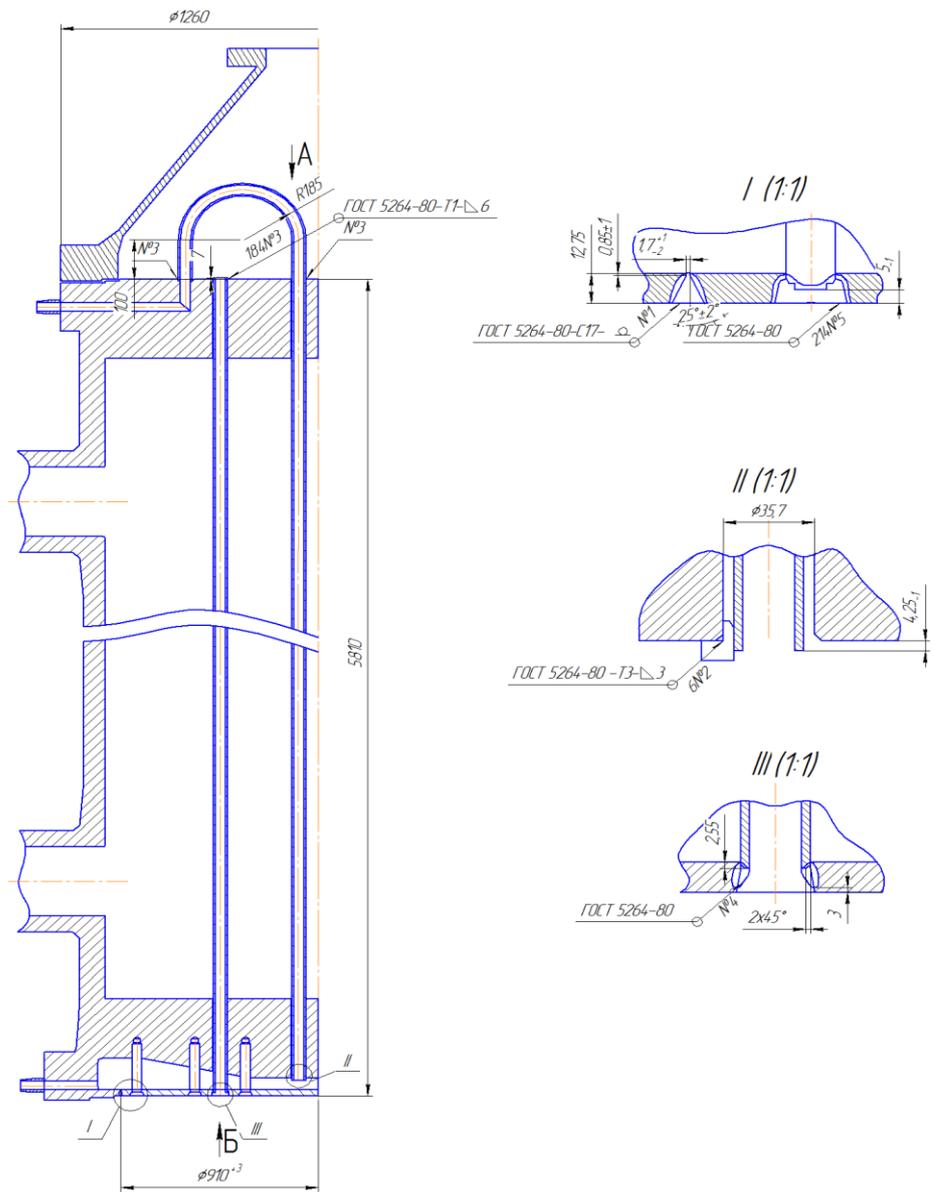


Рисунок 2.3.1 – Подлежащие сварке стыки при ремонте ЗИА  
Сварка колена с трубкой.

Трубка и колено выполнены из стали 15ХМ. Обозначение сварного соединения – С17 [9].

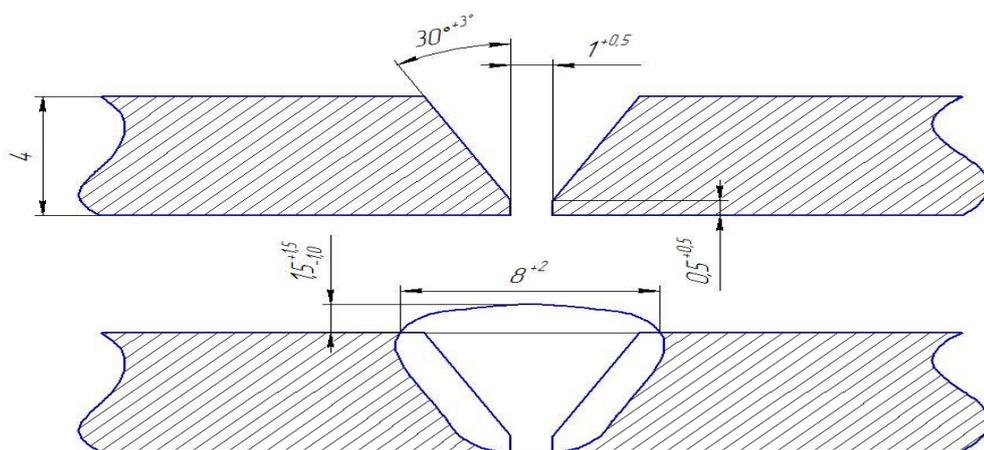


Рисунок 2.3.2 – Разделка кромок и сварной шов трубки и колена

### 2.3.1 Приварка ребра к нижней трубной решетке, образованной в корпусе ЗИА

Ребра выполнены из материала 15ХМ, а трубная решетка корпуса из 12Х18Н10Т. Тип сварного соединения – Т3 [10]. Сварное соединение выглядит следующим образом:

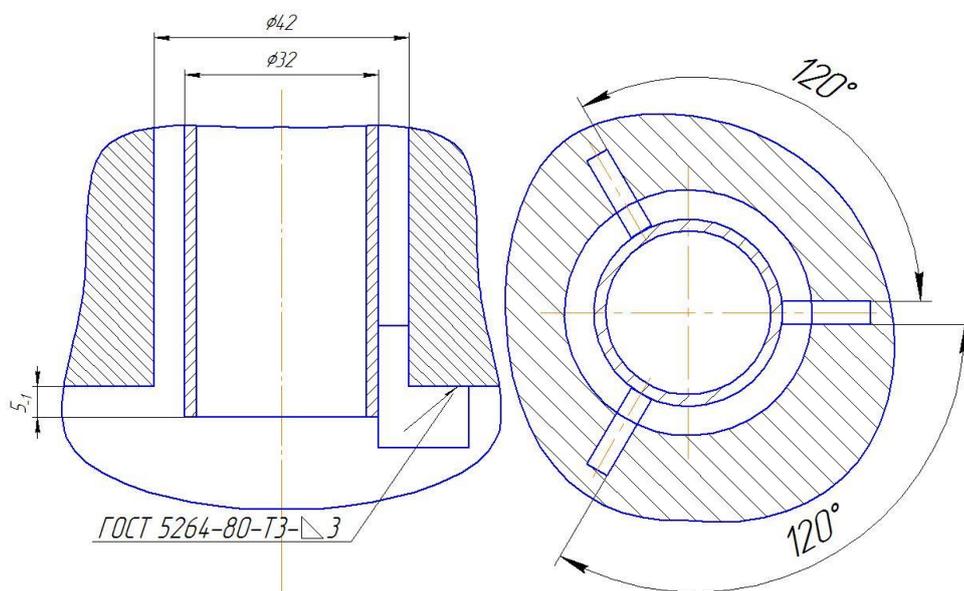


Рисунок 2.3.3 – Виды расположения ребер жесткости

Точные размеры ребер для их изготовления указаны в чертежах, расположенных в приложении Б.

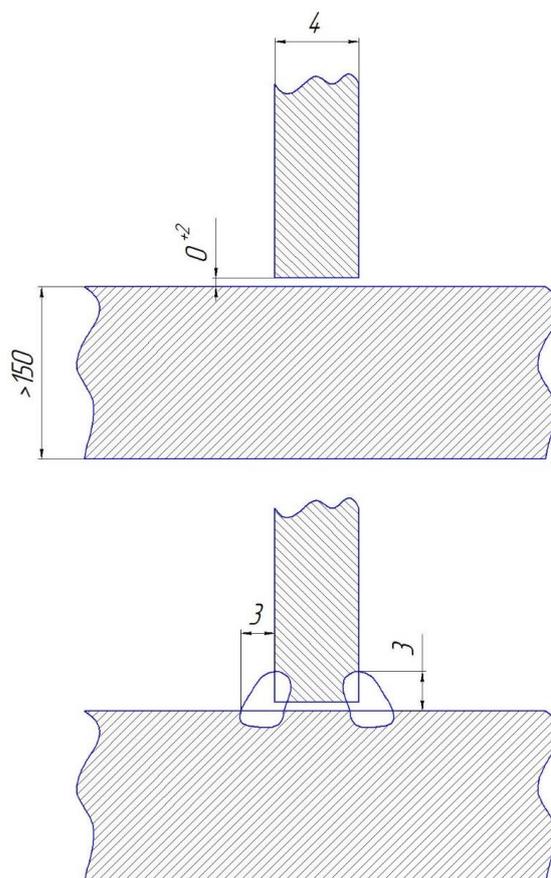


Рисунок 2.3.4 – Вид соединения и сварные швы ребра и трубной решетки

### 2.3.2 Приварка труб к верхней трубной решетке, образованной в самом корпусе ЗИА

Трубки выполнены из стали 15ХМ, а трубная решетка корпуса из стали 12Х18Н10Т. Тип сварного соединения – Т1 [10].

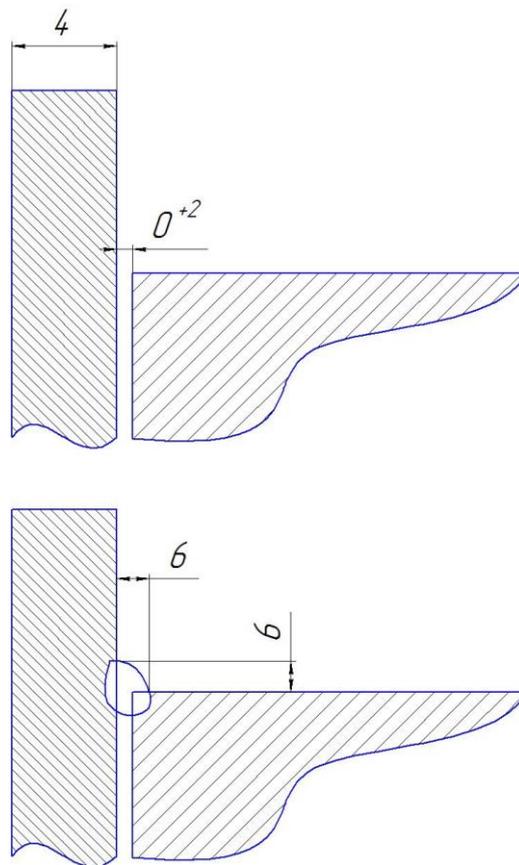
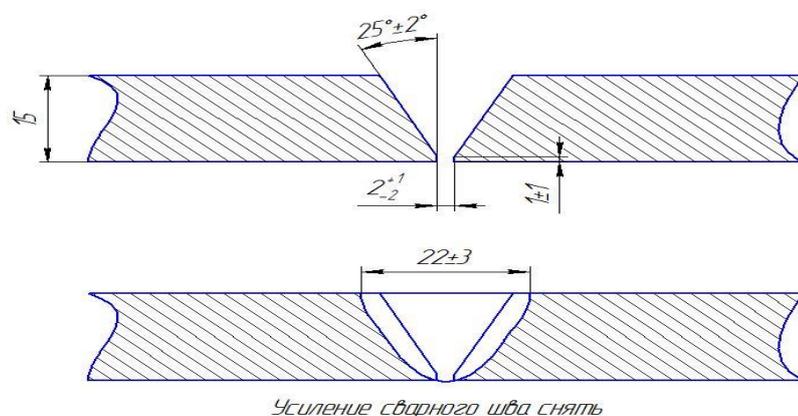


Рисунок 2.3.5 – Вид соединения и сварные швы трубки с трубной решеткой корпуса

### 2.3.3 Вваривание новой трубной решетки

Трубная решетка изготавливается из стали 15ХМ. Новая решетка вставляется на место предыдущей, которое также подлежит разделке кромки. Тип сварного соединения – С17 [9].



*Усиление сварного шва снять*

Рисунок 2.3.6 – Разделка кромок и сварной шов трубной решетки и корпусного фланца

### 2.3.4 Вварка шпилек в специальные отверстия в монтируемой трубной решетке

Следующие разделки кромок были разработаны согласно ГОСТ 34347-2017, а также по рекомендациям в инструкции по ремонту ЗИА от производителя [8, 11].

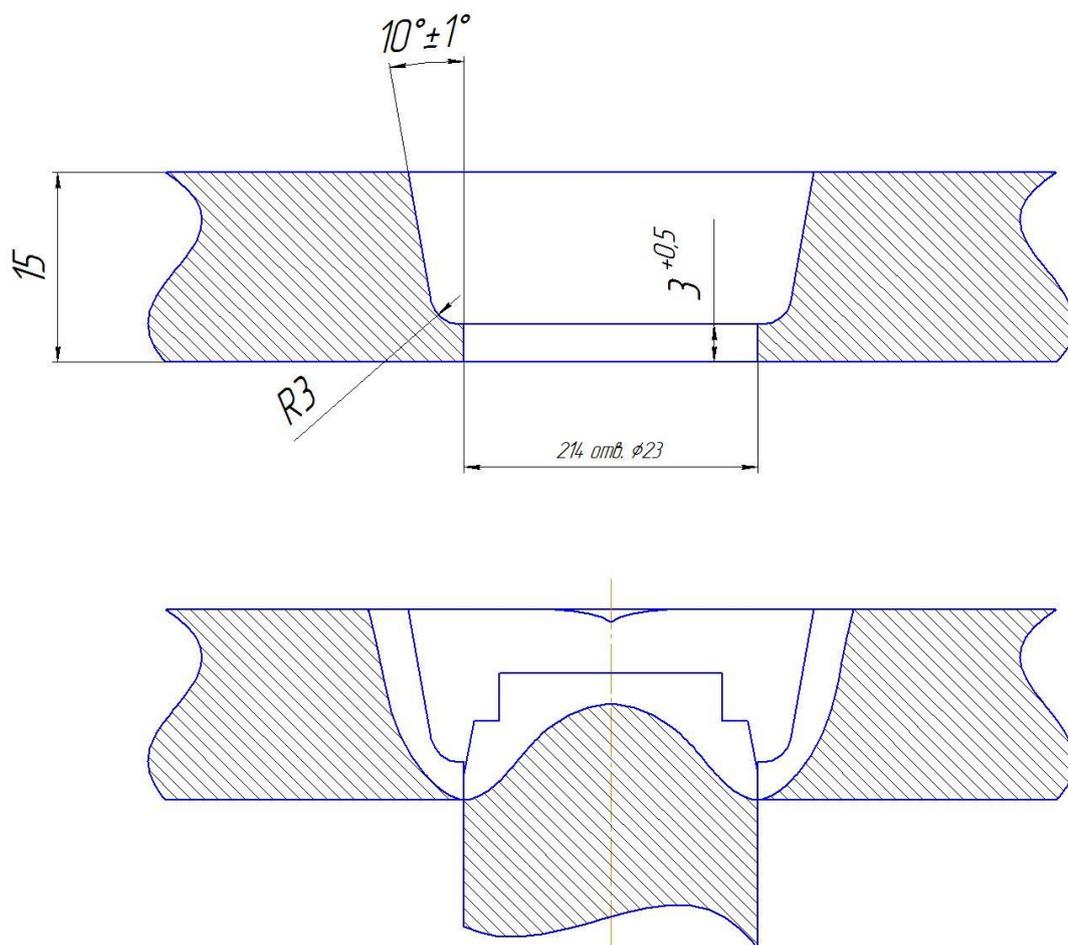


Рисунок 2.3.7 – Разделка отверстия под вварку шпильки и вид сварного шва

### 2.3.5 Сварка трубки с трубной решеткой

Заменяемая трубная решетка изготовлена из той же марки стали, что и сами трубки – 15ХМ. Разделка также осуществляется согласно ГОСТ 34347-2017 и инструкции по ремонту ЗИА [8,11].

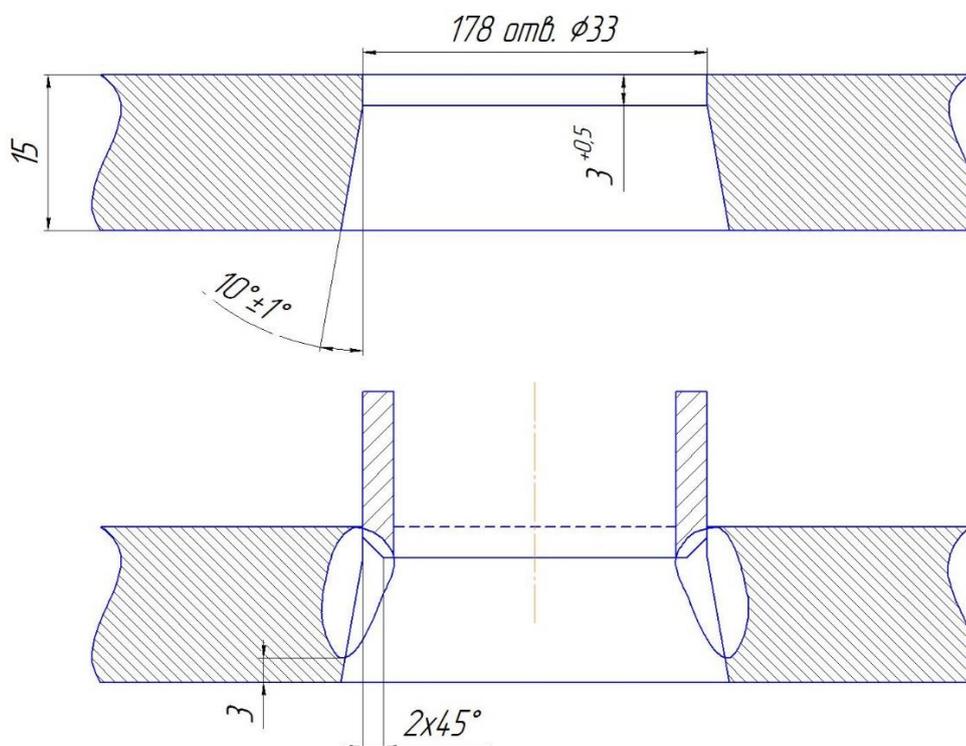


Рисунок 2.3.8 – Разделка отверстия под трубку и трубки под сварку и вид сварного шва

### 2.4 Демонтаж и изготовление трубного пучка и трубной решетки

На начальном этапе демонтажа выполняется высверловка труб из нижней трубной решетки на глубину 10 мм. Затем необходимо высверлить трубы из верхней трубной решетки на глубину развальцовки и выдавить трубки через верхнюю трубную решетку на длину 100-150 мм от поверхности верхней решетки.

Перед удалением нижней трубной решетки необходимо выполнить разметку для ее вырезки в размер  $\text{Ø}900\pm 2$  мм. Вырезка решетки осуществляется газовой резкой. После вырезки решетки по разметке осуществляется вырезка

распорок из нижней трубной решетки, выкручивание распорок и удаление трубной решетки. После демонтажа нижней трубной решетки, её дальнейшее применение невозможно, в связи с чем изготавливают новую трубную решетку согласно чертежу ФЮРА.000001.001.

После удаления нижней трубной решетки необходимо извлечь из корпуса ЗИА трубки, равномерно оставив их по периметру в количестве 15 штук. Далее подготовить механическим способом фаску под сварку на нижней трубной решетке и на корпусном фланце в месте установки решетки согласно чертежа ФЮРА.000001.001СБ.

При ремонте ЗИА осуществляется замена всех трубок на новые. Таким образом, необходимо нарезать трубки размером  $5810^{+10}$  мм в количестве 178 штук и зачистить их со стороны нижней решетки на 50 мм, а верхней на 200 мм [8].

Также нужно изготовить два колена для продувных трубок согласно чертежам ФЮРА.000001.003 и ФЮРА.000001.004. Прямолинейные участки трубы после сгиба должны быть величиной не менее 100 мм.

Для выполнения надежных и качественных соединений необходимо выполнить механическую обработку участков, подлежащих сварочным работам.

Необходимо выполнить:

- зачистку резьбовых отверстий под распорки в корпусном фланце;
- раззенковку в верхней трубной решетке отверстия под сварку, в отверстиях выполнить фаску  $2 \times 45^\circ$ ;
- на трубках для приварки к нижней трубной решетке сделать фаски  $2 \times 45^\circ$ .

Поверхности стыков, подлежащих сварке, должны быть зачищены на расстояние не менее 20 мм от стыка до «чистого» металла.

## 2.5 Технология сборки и сварки

Сварка хромомолибденовых сталей затруднена её склонностью к образованию горячих и холодных трещин. Для предупреждения трещин необходимо проводить предварительный подогрев стыка, подлежащего сварке, и его термическую обработку после сварки. Также сварку следует вести таким образом, чтобы минимизировать тепловложение от электрода.

Ремонт трубного змеевика ЗИА осуществляется поэтапно:

- 1) Приварка ребер к корпусу (рис. 3);
- 2) Сварка продувочных труб с коленом в количестве 2-х штук (рис. 2);
- 3) Установить согласно размерам в чертеже ФЮРА.000001.001СБ и приварить продувочные трубки к корпусу согласно чертежу ФЮРА.000001.001СБ;
- 4) Подготовить отверстия в верхней трубной решетке под сварку. В отверстиях выполнить фаску  $2 \times 45^\circ$ ;
- 5) Установить трубки в корпус ЗИА и заменить трубки, оставленные по периметру;
- 6) Установить нижнюю трубную решетку, производя сборку ее отверстий с распорками и трубками, а также сборку нижней трубной решетки с корпусным фланцем;
- 7) Произвести прихватку все элементов согласно чертежу ФЮРА.000001.001СБ;
- 8) Произвести сварку всех элементов согласно чертежу СБ;

Прихватки необходимо выполнять тем же способом и присадочным материалом, что и корневой слой шва. К прихваткам предъявляются те же требования контроля сварного соединения, что и к корню шва. Число прихваток регламентируется нормативной документацией [12]:

Таблица 2.4 – Размеры прихваток в зависимости от диаметра труб

Диаметр труб, мм	До 50	Свыше 50 до 100	Свыше 100 до 426	Свыше 426
Число прихваток	1-2	1-3	3-4	Через 300-400 мм
Длина прихватки, мм	5-20	20-30	30-40	40-60

При выполнении прихваток ручной дуговой сваркой неплавящимся электродом в среде защитных газов высота прихваток равна толщине труб с разделкой Тр-1 и  $b \pm 0,5 \dots 1,5$  мм ( $b$  – размер притупления) для труб с разделками Тр-2, Тр-6, Тр-7. Для прихватки ребер достаточно будет одной прихватке длиной 3-5 мм. Размеры прихваток нижней трубной решетки назначены из таблицы 5 для труб, диаметром свыше 426 мм.

Корень сварного шва необходимо заваривать ручным дуговым способом неплавящимся электродом в среде защитного газа аргон с присадочной проволокой. Присадочная проволока должна обеспечивать однородность химического состава металла шва и основного металла. При выполнении корневого слоя шва электрод следует вести без колебательных движений строго вдоль стыка, чтобы сократить площадь нагретого металла и температуру его нагрева. Ширина корневого слоя шва при сварке электродом диаметром 3 мм составляет 4 мм. При формировании корневого слоя шва по возможности рекомендуется переваривать прихватки. Высота корневого шва равна высоте прихватки. В процессе сварки должны быть обеспечены полный провар корневого слоя шва и заделка кратера. При образовании на поверхности шва дефектов, дефектное место необходимо удалить механическим безударным способом до «чистого» металла и при необходимости заварить. При сборке и сварке стыков труб малых диаметров корневой слой шва необходимо выполнять сразу после выполнения прихваток. Запрещается какое-либо механическое воздействие на сварной шов до полного окончания сварки и его остывания.

Облицовочные слои выполняют ручной дуговой сваркой покрытыми электродами. Независимо от технологии наложения облицовочного шва, он должен соответствовать следующим требованиям [12]:

- равномерная чешуйчатость (размер чешуек 1-1,5 мм);
- не должно быть западений между валиками;
- для предупреждения концентраторов напряжений, шов должен иметь плавный переход от одного валика к другому и к поверхности изделий;
- перекрытие крайними валиками кромок труб должно быть 1-3 мм.

Во время проведения ремонтных работ корпус ЗИА находится в горизонтальном положении. В связи с этим возможно применение технологии сварки в вертикальном неповоротном положении элементов конструкции.

Выполнять корневой слой шва необходимо короткой дугой на постоянном токе (70-100 А) прямой полярности вольфрамовым электродом ЭВИ-1 диаметром 3 мм с применением присадочной проволоки. Точные значения токов сварки определяют при выполнении пробных стыков. Зажигание и гашение дуги следует производить в разделке трубы или на ранее наложенном шве на расстоянии 20-25 мм от его конца. Подачу аргона необходимо прекращать через 5-8 с после обрыва дуги и в течение этого времени подавать аргон на кратер с целью защиты металла шва от воздействия воздуха. Сварка нижней трубной решетки с корпусным фланцем должна выполняться обратно-ступенчатым способом с максимальной длиной одновременно заваренного участка 250-300 мм в диаметрально-противоположном положении. Схемы наложения корневого слоя шва трубок и трубной решетки показаны на рис. 2.5.1, 2.5.2.

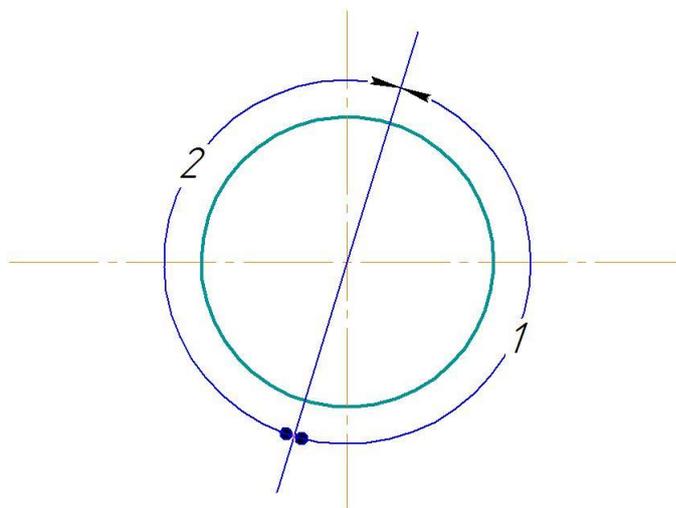


Рисунок 2.5.1 – Схема наложения корневого слоя шва при сварке трубок

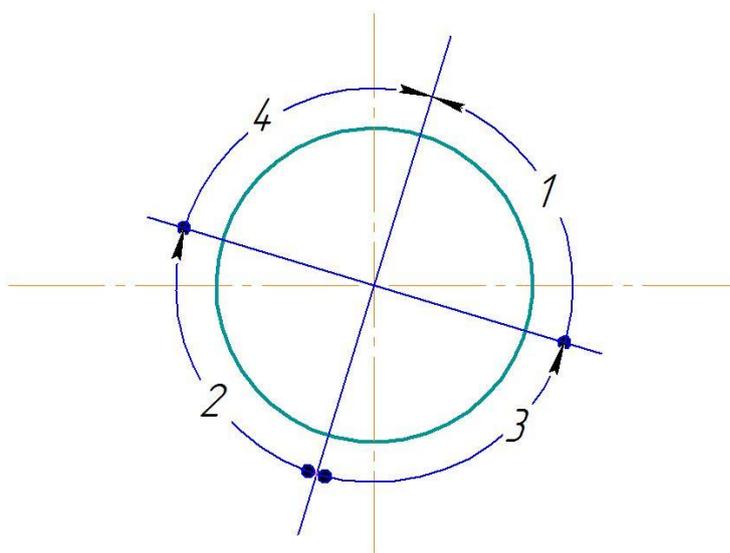


Рисунок 2.5.2 – Схема наложения корневого слоя шва при сварке нижней трубной решетки

Заполняющие и облицовочный слои шва выполняют ручной дуговой сваркой покрытыми электродами диаметром 3 мм на постоянном токе (80-100 А) обратной полярности. Заполняющие и облицовочный слои шва можно выполнять участками длиной, равной половине окружности. Высота каждого валика должна составлять 2-3 мм, ширина – 4-5 мм. Сварка нижней трубной решетки с корпусным фланцем выполняют электродами диаметром 4 мм. В таком случае высота каждого валика 3-5 мм, а ширина – 5-7 мм. Количество

проходов при сварке стыков трубок – 3-4, а при сварке нижней трубной решетки с корпусным фланцем – 10-12. Схемы выполнения заполняющих и облицовочного слоя шва представлены на рис. 2.5.3 и 2.5.4.

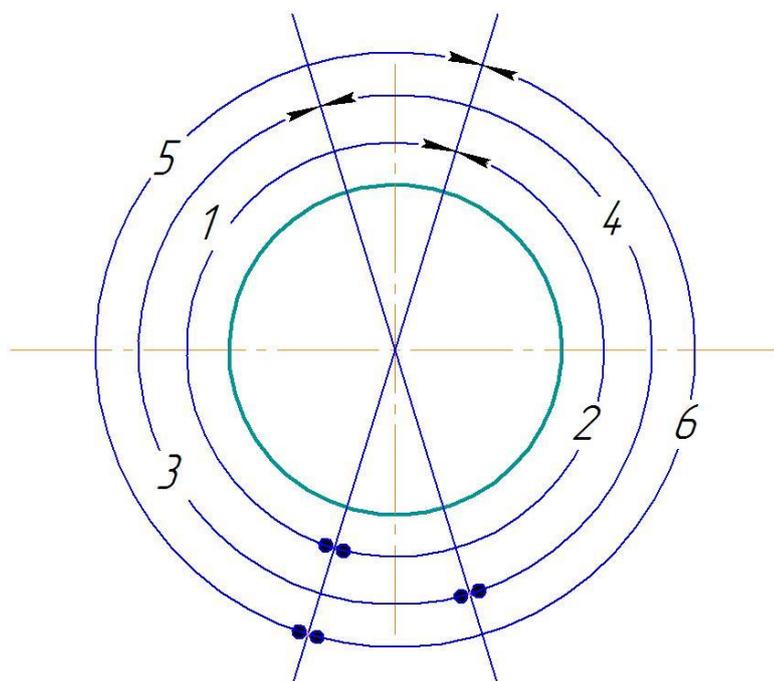


Рисунок 2.5.3 – Схема наложения заполняющих и облицовочного слоев шва при сварке трубок

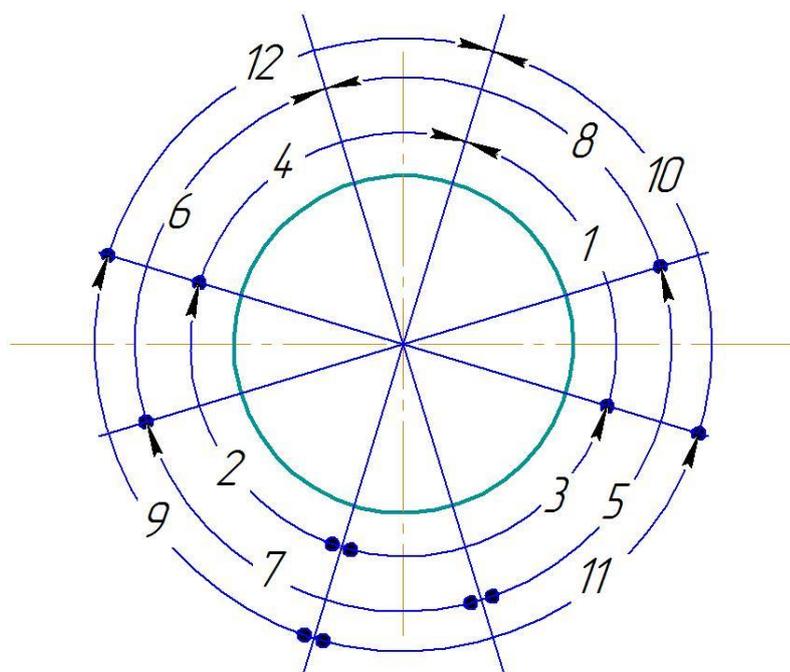


Рисунок 2.5.4 – Схема наложения корневого заполняющих и облицовочного слоев шва при сварке нижней трубной решетки

## 2.6 Термообработка изделий

Из пункта 2.1 следует вывод о том, что сварные стыки во время сварки должны быть обеспечены предварительным подогревом для предупреждения образования трещин. Нагрев сварных стыков осуществляют с помощью газовой горелки. Температура подогрева зависит от толщины металла и температуры окружающего воздуха.

Таблица 2.6 – Температура предварительного подогрева изделия при сварке [11]

Марка стали	Толщина свариваемых деталей, мм	Температура подогрева, °С
15ХМ	<10	-
	10...30	150...300

При сварке нижней трубной решетки с корпусным фланцем, нижней трубной решетки с трубками и при вварке распорок в нижнюю трубную решетку температура предварительного подогрева составляет 250 °С, толщина нижней трубной решетки 15 мм. При сварке ребер и приварке трубок к верхней трубной решетке, температура предварительного разогрева равна 150 °С. Выполнение сварного соединения трубки с коленом не требует предварительного подогрева, так как толщина элементов равна 4 мм.

Нижняя трубная решетка во время ремонтных работ испытывает значительные тепловые деформации и склонность к образованию трещин, в связи со значительными остаточными напряжениями во время усадки металла. Поэтому необходимо проводить отпуск для устранения остаточных напряжений. Отпуск стабилизирует структуру сварного соединения и снижает остаточные напряжения. Отпуск для трубной решетки толщиной 15 мм из стали 15ХМ осуществляют по режиму: температура нагрева 700 °С, время выдержки 2 часа, скорость нагрева не более 100 °С в час. Время между сваркой и термообработкой не должно составлять более 48 часов.

Для предотвращения холодных трещин необходимо обеспечить медленное остывание металла, предотвращая при этом взаимодействие металла с воздухом, влагой, ветром. После полного завершения сварки стыка, его нужно накрывать слоем асбеста для замедления остывания металла шва.

Трубки необходимо приваривать с интервалом в 1-2 трубки для предупреждения деформации металла под тепловым воздействием, а распорки приваривают через каждые 2-3 распорки.

## **2.7 Сварочное оборудование и материалы**

Для выбранных способов сварки необходимо назначить сварочные материалы, которые обеспечат химический состав металла шва близкий химическому составу основного металла. Процесс ручной дуговой сварки покрытыми электродами должен осуществляться на постоянном токе обратной полярности, а ручная дуговая сварка неплавящимся электродом в среде защитного газа – на прямой полярности.

Для сварки соединений 15ХМ+15ХМ выбраны покрытые электроды типа Э-09Х1М марки ТМЛ-1У Ø3,0 мм от фирмы «СпецЭлектрод», которые предназначены для сварки хромомолибденовых сталей, работающих при температуре до 450 °С. Данные сварочные электроды, имеют производительность наплавки, равная 1,4 кг/ч и расход электрода на 1 кг наплавленного металла 1,5 кг [13].

Для заполняющих слоев шва соединений 15ХМ+12Х18Н10Т предназначены электроды типа Э-11Х15Н25М6АГ2 марки АНЖР-2 от «СпецЭлектрод». Данные сварочные электроды имеют производительность наплавки, равную 1,7 кг/ч и расход электрода на 1 кг наплавленного металла 1,6 кг [13].

Корневой шов выполняется ручной дуговой сваркой неплавящимся электродом в среде защитного газа с применением присадочной проволоки. Для применения этого способа сварки необходимы горелка, вольфрамовый электрод

и присадочный материал. Вольфрамовый электрод ЭВИ-1 Ø3,0 мм, длиной 150 мм предназначен для сварки ответственных конструкций. В качестве присадочного материала выбрана сварочная проволока ОК Tigrod 13.12 от фирмы ESAB. Данная сварочная проволока предназначена для сварки низколегированных хромомолибденовых сталей [14]. Сварочная горелка ТЕСН TS 26 от фирмы «Сварог» выбрана исходя из качества деталей и необходимых для сварочных работ характеристиками:

- максимальный сварочный ток – 180 А;
- диаметр электрода – 1,0...4,0 мм [15].

Для обеспечения надежного и стабильного питания дуги в литературе рекомендуют использовать однопостовой источник питания [11]. Выпрямитель ВД-306 является распространенным сварочным оборудованием для ручной дуговой сварки покрытыми электродами с падающей внешней характеристикой. Характеристики ВД-306 [16]:

- номинальная частота – 50 Гц;
- номинальный режим работы – 60 %;
- номинальный сварочный ток (не менее) – 315 А;
- минимальный сварочный ток (не более) – 50 А;
- номинальное рабочее напряжение (не менее) – 32 В;
- напряжение холостого хода – 70 В;
- габаритные размеры (длина x ширина x высота) – 560x510x660 мм.

Для ручной дуговой сварки плавящимися электродами и ручной аргонодуговой сварки неплавящимися электродами был назначен сварочный аппарат ТИР-315. Данное сварочное оборудование является универсальным и предназначен как для РДС, так и для РАД. ТИР-315 обладает следующими характеристиками [17]:

- номинальная частота – 50 Гц;
- номинальный сварочный ток – 315 А;
- пределы регулирования сварочного тока:
- на первой ступени – 20-140 А,

- на второй ступени – 40-315 А;
- номинальное рабочее напряжение – 65 В;
- напряжение холостого хода – 70 В;
- габаритные размеры (длина x ширина x высота) – 1220x730x980 мм.

Сварка хромомолибденовых сталей усложняется необходимостью предварительного подогрева сварного стыка, а также обеспечением медленного охлаждения готового сварного соединения. Предварительный подогрев металла открытым пламенем осуществляется с обратной стороны зоны сварки. Для предварительного подогрева потребуется инжекторный резак модели Р2-01 с расширенным соплом. Также для данной операции требуются баллоны для кислорода и пропан-бутана, которые описаны ниже.

Температуры для прокалики сварочных материалов [18]:

- для электродов АНЖР-2 – 200-250 °С в течение 1 часа (годны 5 суток);
- для электродов ТМЛ-1У – 350-400 °С в течение 1 часа (годны 5 суток);

Для прокаливания электродов необходима сушильная печь, которая способна поддерживать постоянную температуру во время прокалики 400 °С. В качестве оборудования для прокаливания была рассмотрена модель «ЭПСЭ-40/400» от компании Ravikom [19].

Для хранения аргона и его подачи в сварочную ванну, а также, для подогрева металла смесью кислорода и пропана используют специальные для каждого газа баллоны. Самый оптимальный объем баллона с аргоном для данного объема работ – 40 литров. Назначенные баллоны должны быть аттестованы по ГОСТ 949-73 (срок эксплуатации до следующей аттестации – 5 лет). В качестве кислородного баллона выбрана модель СВ000003973, пропанового – ВБ-2 Спец СВ-БАЛЛОН50В, аргонового – 40-150У [20].

## **2.8 Подготовка производства**

К сварочным работам при ремонте элементов котлов могут быть допущены сварщики, успешно завершившие аттестацию на I уровень

профессиональной подготовки в соответствии с ПБ 03-273-99 и имеющие действующее аттестационное удостоверение, в котором указываются работы, допуск на которые имеет сварщик (способ сварки, наименование изделий, группа сталей, положение шва в пространстве). Также сварщики должны иметь квалификационную группу по электробезопасности не ниже II группы.

Электроды необходимо прокалывать по режиму, который указан на упаковке или в каталоге. Электроды должны храниться в теплом помещении с температурой не ниже 15 °С и относительной влажностью не более 50%. В ремонтном цехе должен находиться сушильные печи для прокалики электродов и термопеналы для электродов. Электроды допускается использовать в течение 5 дней после прокалики [21].

Присадочную проволоку перед сваркой необходимо обработать растворителем для удаления оксидной пленки. На проволоке не допускается наличие ржавчины и различных загрязнений.

К термообработке сварных соединений трубопроводов и труб котлов допускаются операторы-термисты, прошедшие специальную подготовку, сдавшие соответствующие испытания и имеющие удостоверение на право производства указанных работ в ремонтных условиях [11].

Контролеры, выполняющие контроль качества сварочных соединений труб физическими методами, должны быть аттестованы в соответствии с Правилами аттестации специалистов неразрушающего контроля. Оборудование дефектоскопии должны быть аттестованы на момент проведения контроля.

### **3 Контроль качества сварных соединений**

В процессе сварочных работ при ремонте труб котлов необходимо систематически проводить контроль качества сварочных соединений, а именно предварительный контроль, операционный контроль и итоговый контроль сварных соединений.

На начальном этапе проведения ремонтных работ необходимо провести входной контроль основных материалов на наличие сертификатов изготовителя, их механические свойства, а также соответствия марки стали, применяемой для труб, распорок, нижней трубной решетки. Необходимо осуществить контроль качества нижней трубной решетки, криволинейную часть продувочных трубок и соответствия размеров труб по сертификату.

Изготовленная нижняя трубная решетка является наиболее толстостенным и более габаритным элементом и нуждается в более тщательном контроле, в связи с большими тепловложениями во время сварки. Поверхность фаски и прилегающая поверхность шириной 20 мм на новой нижней трубной решетке и фланце корпуса контролируется визуально-измерительным контролем и цветным методом контроля на наличие трещин, которые являются концентратором напряжений и в значительной мере влияют на качество сварного шва.

Контроль нижней трубной решетки во время сварки проводят следующим образом:

1. Контроль прихваток визуально-измерительным методом;
2. Произвести контроль кольцевого сварного шва и шов приварки распорок визуально-измерительным способом в объеме 100% [22]. При условии отсутствия замечаний по визуально-измерительному контролю допускается проведение ультразвукового контроля кольцевого сварного шва после термообработки;
3. После проведения термообработки необходимо провести ультразвуковой контроль кольцевого сварного шва нижней трубной решетке в

объеме 100% и магнитопорошковый контроль сварного шва приварки распорок к нижней трубной решетке в объеме 100%. Также необходимо измерить твердость металла сварного шва (не более 240 НВ).

Визуально-измерительный контроль (ВИК) проводят по всей длине каждого сварного шва. Методика проведения ВИК подробно изложена в РД 03-606-03.

Для первой группы сосудов по ГОСТ Р 52630-2012 необходимо назначать контроль радиографическим или ультразвуковым методом, однако, при отсутствии возможности применения этих методов контроля, их можно заменить на цветной. Цветной метод контроля относится к капиллярным методам, который проводят в соответствии с ГОСТ 18442-80. Цветному методу контроля подвергаются сварные швы приварки ребер к корпусу, труб к нижней трубной решетке и труб к верхней трубной решетке.

Приварку колена к трубе согласно ГОСТ Р 52630-2012 возможно контролировать радиографическим методом контроля (РГК). РГК проводят согласно ГОСТ 7512-82. Контроль необходимо проводить по всему объему сварного шва.

После наложения прихваток, а также после наложения корневого слоя шва необходимо проводить ВИК по всей длине сварного шва. При обнаружении недопустимых дефектов полностью удаляются дефектные швы и вновь сварены и подвержены стилоскопированию и повторному контролю [22].

#### 4 Расход сварочных материалов

Расчет расхода сварочных материалов основан на ВСН 452-84 [23]. При расчете сварочных материалов для комбинированной сварки (РАД+РД) необходимо учитывать группу марки электродов, разделку кромок, длину шва и толщину свариваемых элементов.

1) Расчет сварного шва №1:

Длина шва рассчитывается по формуле (1)

$$L = 2\pi \cdot R, \quad (1)$$

где  $R$  – радиус.

$$L = 2\pi \cdot 456 \text{ мм} = 2866 \text{ мм} = 2,87 \text{ м}$$

Для соединения С17 по ВСН 452-84 с толщиной металла 15 мм нормированы следующие расходы:

- масса электродов II группы – 2,577 кг/м;
- проволока сварочная – 0,098 кг/м;
- аргон – 192,8 л/м.

Таким образом, умножая нормы расходов на длину шва, получается необходимое количество материалов на данный стык:

- масса электродов II группы – 7,4 кг;
- проволока сварочная – 0,3 кг;
- аргон – 580 л.

Расчеты увеличены на 5% для корректировки результатов в связи с прихваткой (только для РАД сварки).

2) Расчет сварных швов №2:

Общая длина швов составляет 120 мм.

Для соединения У18 по ВСН 452-84 с толщиной металла 5 мм нормированы следующие расходы:

- масса электродов II группы – 2,253 кг/м;
- проволока сварочная – 0,069 кг/м;
- аргон – 104,4 л/м.

Таким образом, умножая нормы расходов на длину шва, получается необходимое количество материалов на данный стык:

- масса электродов II группы – 0,12 кг;
- проволока сварочная – >1 г;
- аргон – 0,55 л.

Расчеты увеличены на 5% для корректировки результатов в связи с прихваткой (только для РАД сварки).

### 3) Расчет сварного шва №3:

Длина шва рассчитывается по формуле (1)

$$L = 2\pi \cdot 16 \text{ мм} = 100,6 \text{ мм}$$

Количество швов - 182 штуки. Следовательно, общая длина швов – 18309,2 мм или 18,3 м.

Для соединения У19 по ВСН 452-84 с толщиной металла 4 мм нормированы следующие расходы:

- масса электродов VI группы – 0,532 кг/м;
- проволока сварочная – 0,030 кг/м;
- аргон – 45,2 л/м.

Таким образом, умножая нормы расходов на общую длину шва, получается необходимое количество материалов на данный стык:

- масса электродов VI группы – 10,2 кг;
- проволока сварочная – 0,6 кг;
- аргон – 870 л.

Расчеты увеличены на 5% для корректировки результатов в связи с прихваткой (только для РАД сварки).

### 4) Расчет сварного шва №4:

$$L = 2\pi \cdot 16 \text{ мм} = 100,6 \text{ мм}$$

Количество швов - 178 штук. Следовательно, общая длина швов – 17900 мм или 17,9 м.

В ВСН 452-84 не предусмотрен данный тип соединения, однако его можно применить на соединение У19, с уменьшением результатов расчетов расхода на 10%. Толщина металла 4 мм:

- масса электродов II группы – 0,421 кг/м;
- проволока сварочная – 0,030 кг/м;
- аргон – 45,2 л/м.

Таким образом, умножая нормы расходов на общую длину шва, получается необходимое количество материалов на данный стык:

- масса электродов II группы – 6,8 кг;
- проволока сварочная – 0,51 кг;
- аргон – 770 л.

Расчеты увеличены на 5% для корректировки результатов в связи с прихваткой (только для РАД сварки).

5) Расчет сварного шва №5:

$$L = 2\pi \cdot 11,5 \text{ мм} = 72,2 \text{ мм}$$

Количество швов - 214 штук. Следовательно, общая длина швов – 15450 мм или 15,45 м.

В ВСН 452-84 не предусмотрен данный тип соединения, однако его можно применить на соединение У19, с уменьшением результатов расчетов расхода на 10%. Толщина металла 4 мм:

- масса электродов II группы – 0,421 кг/м;
- проволока сварочная – 0,030 кг/м;
- аргон – 45,2 л/м.

Таким образом, умножая нормы расходов на общую длину шва, получается необходимое количество материалов на данный стык:

- масса электродов II группы – 6 кг;
- проволока сварочная – 0,1 кг;
- аргон – 664 л.

Расчеты увеличены на 5% для корректировки результатов в связи с прихваткой (только для РАД сварки)

Также необходимо произвести расчет расхода пропан-бутана и кислорода для резки металла нижней трубной решетки и распорок из трубной нижней решетки. Толщина металла 15 мм. Расход материалов из таблицы №99 по ВСН 452-84:

- пропан-бутан – 19,53 л/м;
- кислород – 210 л/м.

Длина резки нижней трубной решетки – 2870 мм или 2,87 м. Общая длина вырезки распорок из нижней трубной решетки – 15450 мм или 15,45 м. Общая длина ведения резки – 18,32 м.

Таким образом, получены данные по расходам газа для резки металла:

- пропан-бутан – 358 л;
- кислород – 3842 л.

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

Выпускная квалификационная работа по теме «Разработка технологии ремонта закалочно-испарительного аппарата» выполняется в рамках технологической работы, суть которой заключается в исследовании и разработке технологии сварки тавровых соединений элементов закалочно-испарительного аппарата (ЗИА).

Для оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения ремонтных работ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения проведем анализ конкурентных технических решений. Также произведем расчет бюджета для разработки технологии.

### **5.1 Анализ конкурентных технических решений**

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в разработку, чтобы успешнее противостоять своим конкурентам.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности исследований (наличие макета, прототипа и т.п.);
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

В ходе разработки проанализированы конкурентные технические решения, используемые на сегодняшний день в промышленности, такие как уменьшение остаточных деформаций, качественная подготовка поверхностей и

механизацию процесса ремонта. Широкое применение нашел способ ручной обработки металлических поверхностей к сварке и предварительный подогрев свариваемых кромок. На сегодняшний день используют разного рода технологии для уменьшения сварочных деформаций. Также хромомолибденовые стали требуют обязательную термообработку.

Данный анализ проведен с помощью оценочной карты. Используемые техники уменьшения сварочных деформации для получения качественной продукции:

1. А – технология ведения сварки и ее последовательность;
2. В – предварительный подогрев свариваемых кромок специальным оборудованием;
3. С – уменьшение площади нагретого металла путем автоматизации процесса сварки.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведены в таблице 5.1.1, подбираются исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей, разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (2)$$

где:

К – конкурентоспособность разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя;

$B_i$  – балл  $i$ -ого показателя.

Таблица 5.1.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений и разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентно-способность		
		Б <sub>А</sub>	Б <sub>В</sub>	Б <sub>С</sub>	К <sub>А</sub>	К <sub>В</sub>	К <sub>С</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда	0,1	4	4	4	0,5	0,5	0,5
2. Удобство производства	0,07	4	3	5	0,28	0,21	0,35
3. Уровень качества сварных соединений	0,1	5	5	5	0,3	0,4	0,3
4. Энергоэкономичность	0,07	5	4	5	0,35	0,28	0,35
5. Надежность	0,07	5	5	5	0,25	0,25	0,25
6. Уровень производимого шума	0,07	4	5	4	0,28	0,35	0,28
7. Необходимость в высококвалифицированных специалистах	0,05	4	3	3	0,2	0,15	0,15
8. Функциональная мощность	0,05	3	5	3	0,15	0,25	0,15
9. Простота исполнения	0,05	5	2	5	0,25	0,1	0,25
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,06	4	5	3	0,24	0,3	0,18
2. Уровень проникновения на рынке	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
3. Цена	0,06	5	5	5	0,3	0,3	0,3
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	5	5	3	0,25	0,25	0,15
5. Срок эксплуатации	0,05	5	5	3	0,25	0,25	0,15
6. Наличие сертификации разработок	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
7. Сроки выполнения работ	0,5	4	4	4	2	2	2
Итого	1	72	71	66	6,1	6,04	5,81

Таким образом, конкурентоспособность рассматриваемых продуктов составляет:

$$K_A=6,1$$

$$K_B=6,04$$

$$K_C=5,81$$

Исходя из проведенного выше анализа можно сделать вывод, что технология «А» имеет ряд преимуществ над своими аналогами. При использовании данной технологии значительно снижается вероятность образования недопустимых дефектов и повышается производительность работы что, безусловно, повышает качество ремонтных работ и уменьшает сроки их выполнения. Также используя технологию «Б» можно повысить качество изготавливаемой продукции. Стоит отметить сочетание технологий «А» и «Б», что приведет к широкому диапазону возможностей, а именно уменьшит вероятность возникновения недопустимых дефектов.

## **5.2 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 [24].

### **5.2.1 Цели и результаты проекта**

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать. Устав научного проекта магистерской работы должен иметь цели и результат проекта. В данном разделе необходимо привести информацию о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей [24].

Под заинтересованными сторонами проекта понимаются лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут

быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта. Это могут быть заказчики, спонсоры, общественность и т.п. Информацию по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 8.2.1.1.

Таблица 5.2.1.1 – Интерактивная матрица проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Нефтехимические производства	Улучшение качества работы и срок эксплуатации производимой продукции. Уменьшение трудозатрат на внеплановый ремонт аппарата.

В таблице 5.2.1.2 представлена информация об иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 5.2.1.2 –Цели и результат проекта

Цели проекта:	Разработать рекомендации по выбору параметров режима сварки элементов ЗИА и термообработки стыка.
Ожидаемы результаты:	Уменьшение трудозатрат, шанс возникновения дефектов и увеличение срока эксплуатации ЗИА за счет разработанной технологии.
Критерии приемки результатов проекта:	1. Уменьшение количество дефектов при сварке; 2. Уменьшение затрат на ресурсы, необходимые для ремонтных работ, и сроков выполнения работ.
Требования к результату проекта:	Требование:
	1. Показать изменение качества вследствие уменьшения количество дефектных участков при сварке;
	2. Показать изменение трудо-времённых затрат вследствие уменьшения количества дефектов во время и после сварки.

## 5.2.2 Организационная структура проекта

На данном этапе необходимо решить кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль и функции каждого участника проекта.

Данная информация прописывается в таблицу 5.2.2.1.

Таблица 5.2.2.1 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудовые затраты, час
1	Киселев А. С. к.т.н., доцент Отделения электронной инженерии ТПУ.	Научный руководитель	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Обеспечение проекта ресурсами со стороны исполнителя;</li><li>2. Руководство и координация работы рабочей группы проекта со стороны исполнителя и контроль выполнения поставленных перед ними задач;</li><li>3. Контроль статуса проекта, сроков и бюджета;</li><li>4. Регулярный анализ хода выполнения проекта;</li><li>5. Обеспечение взаимного соответствия выполняемых работ.</li></ol>	38
2	Агеев И.О.	Технолог	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Выполнение работ по разработке технологии;</li><li>2. Выполнение расчётов по проекту;</li><li>3. Подготовка отчетов о текущем статусе проекта.</li></ol>	740
Итого:				778

### 5.3 План проекта

В рамках планирования проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта. Линейный график представлен в виде таблицы 5.3.1.

Таблица 5.3.1 – Календарный план проекта в рабочих днях

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, день	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1	Составление технического задания	4	27.01.2020	31.01.2020	Киселев А.С.
2	Изучение литературы	7	1.02.2020	8.02.2020	Агеев И.О.
3	Выбор направления исследования	21	9.02.2020	20.02.2020	Киселев А.С., Агеев И.О.
4	Разработка технологии подготовки, сборки и сварки.	24	20.02.2020	15.03.2020	Киселев А.С., Агеев И.О.
5	Подготовка чертежей и моделей.	39	17.03.2020	25.04.2020	Агеев И.О.
6	Проверка разработанной технологии.	4	25.04.2020	28.04.2020	Киселев А.С.
7	Обсуждение результатов и выводов по работе	2	28.04.2020	30.04.2020	Киселев А.С., Агеев И.О.
8	Подготовка теоретической и практической части работы.	30	9.05.2020	31.05.2020	Агеев И.О.
Итого:		131	27.01.2020	31.05.2020	

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ (таблица 5.3.2).

Таблица 5.3.2 – Календарный план–график проведения НИОКР по теме

Код работы (из ИСР)	Вид работ	Исполнители	Т <sub>к</sub> , кал., дн.	Продолжительность работы												
				январь		февраль		март		апрель		май				
				1	2	1	2	1	2	1	2	1	2			
1	Составление технического задания	Киселев А.С.	4													
2	Изучение литературы	Агеев И.О.	7													
3	Выбор направления исследования	Киселев А.С., Агеев И.О.	4													
4	Разработка технологии подготовки, сборки и сварки.	Киселев А.С., Агеев И.О.	30													
5	Подготовка чертежей и моделей.	Агеев И.О.	35													
6	Проверка разработанной технологии.	Киселев А.С.	4													
7	Обсуждение результатов и выводов по работе	Киселев А.С., Агеев И.О.	5													
8	Подготовка теоретической и практической части работы.	Агеев И.О.	30													

 - руководитель,  - технолог

## 5.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения.

### 5.4.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для ремонта ЗИА. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода по ВСН 452-84.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в таблицу 5.4.1.1.

Таблица 5.4.1.1 Затраты на сырье, материалы, комплектующие изделия

№	Материал	Единица материала	Цена, руб/ед.	Количество	Затраты, руб.
1	Сварочные электроды ТМЛ-1У Ø3 мм	кг	175	21	3675
2	Сварочные электроды АНЖР-2 Ø3 мм	кг	5450	11	59950
3	Присадочная проволока ОК Tigrod 13.12	кг	2849	2	5698
4	Инертный газ аргон	л	35	2885	100975
5	Газовая смесь пропан-бутан	л	19	378	7182

6	Жидкий кислород	л	8,75	4050	35438
7	Трубы Ø32x4 мм из стали 15ХМ длиной 12500 мм	кг	101	1250	126250
8	Круг 23 сталь 15ХМ длиной 6000 мм	кг	215	21	4515
9	Листовой прокат из стали 15ХМ	м <sup>2</sup>	3789	2	7578
Всего за материалы:					351261
Транспортно-заготовительные работы:					17563
Итого:					368824

#### 5.4.2 Специальное оборудование

В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ.

Затраты по доставке и монтажу заложены в цену оборудования.

В таблице 5.4.2.1 представлены расчеты затрат на специальное оборудование, необходимое для проведения ремонтных работ

Таблица 5.4.2.1 – Расчет затрат по статье «Специальное оборудование для ремонтных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед. оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Срок эксплуатации оборудования, лет	Сумма затрат на оборудование, руб.
1	Сварочный выпрямитель ВД-306	4	43020	5	172080
2	Сварочный аппарат ТИР-315	4	50000	10	200000
3	Инжекторный резак Р2-01	1	2051,28	2	2051,28
4	Сушильная печь «ЭПСЭ-40/400»	1	10070	10	10070
5	Термостанция РТ 70-6	1	113000	10	113000
Итого:					497201,28

Амортизационные отчисления для оборудования:

$$1. \text{ Сварочный выпрямитель ВД-306: } \frac{172080}{5 \cdot 12} \cdot 4 = 11472;$$

2. Сварочный аппарат ТИР-315:  $\frac{200000}{5 \cdot 12} \cdot 4 = 6667$ ;
3. Инжекторный резак Р2-01:  $\frac{2051,28}{2 \cdot 12} \cdot 1 = 85,47$ ;
4. Сушильная печь «ЭПСЭ-40/400»:  $\frac{10070}{10 \cdot 12} \cdot 1 = 84$ ;
5. Термостанция РТ 70-6:  $\frac{113000}{10 \cdot 12} \cdot 4 = 942$ .

### 5.4.3 Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно–технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда).

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

Заработная плата рассчитывается по формуле 3 [25]:

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (3)$$

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

$Z_{доп}$  - дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле 4:

$$Z_{осн} = Z_{одн} \cdot T_{раб} \quad (4)$$

где  $Z_{одн}$  - основная заработная плата одного работника;

$Z_{\text{дн}}$  - средняя заработная плата одного работника;

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

Средняя заработная плата рассчитывается по формуле 5:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (5)$$

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

$M$  - количество месяцев работы без отпуска в течении года:

При отпуске в 48 рабочих дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная рабочая неделя;

$F_{\text{д}}$  - действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 5.4.3.1 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле 6:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{д}} \cdot (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} \quad (6)$$

где  $Z_{\text{д}}$  - базовый оклад, руб;

$k_{\text{пр}}$  - премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда);

$k_d$  - коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда);

$k_p$  - районный коэффициент, равный 1,3 в Томске.

Таким образом основная заработная плата для:

1. Руководителя [26]:

$$Z_{дн} = \frac{35680 \cdot 10,4}{251} = 1478,4 \text{ руб.};$$

$$Z_{осн} = 1478,4 \cdot 47 = 69483,6 \text{ руб.}$$

2. Инженера:

$$Z_{дн} = \frac{15845 \cdot 10,4}{251} = 656,5 \text{ руб.};$$

$$Z_{осн} = 656,5 \cdot 47 = 30856,7 \text{ руб.}$$

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 5.4.3.2.

Таблица 5.4.3.2 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_б$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	35680	-	-	1,3	35680	1478,4	47	69483,6
Инженер	15845	-	-	1,3	15845	656,5	47	30856,7

#### 5.4.4 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

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

1. Руководитель:  $69483,6 \cdot 0,15 = 10422,5$  руб.

2. Исполнитель:  $30856,7 \cdot 0,15 = 4628,5$  руб.

В таблице 5.4.4.1 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 5.4.4.1 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	69483,6	30856,7
Дополнительная зарплата	10422,5	4628,5
Зарплата исполнителя	79906,1	35485,2
Итого:	115391,3	

#### 5.4.5 Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

Расчет на внебюджетные фонды рассчитывается по формуле 6:

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}); \quad (6)$$

$$C_{внеб} = 115391,3 \cdot 0,302 = 34848,2 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды (30,2% от заработной платы) составляют 34848,2 рублей.

## 5.4.6 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. В расчетах эти расходы принимаются в размере 70 – 90 % от суммы основной заработной платы научно–производственного персонала данной научно–технической организации.

Накладные расходы составляют 80–100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле 8:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}); \quad (8)$$
$$C_{\text{накл}} = 0,3 \cdot 115391,3 = 34848,2 \text{ руб.}$$

Затраты на электроэнергию:

1. Сварочный выпрямитель ВД-306:  $24 \text{ кВт} \cdot 250 \text{ ч} \cdot 5,8 \text{ кВт/ч} = 34800 \text{ руб.};$
2. Сварочный аппарат ТИР-315:  $30 \text{ кВт} \cdot 70 \text{ ч} \cdot 5,8 \text{ кВт/ч} = 12180 \text{ руб.};$
3. Сушильная печь «ЭПСЭ-40/400»:  $3 \text{ кВт} \cdot 10 \text{ ч} \cdot 5,8 \text{ кВт/ч} = 174 \text{ руб.};$
4. Термостанция РТ 70-6:  $6 \text{ кВт} \cdot 10 \text{ ч} \cdot 5,8 \text{ кВт/ч} = 348 \text{ руб.}$

Таблица 5.4.6.1 Накладные расходы

Наименование оборудования	Затраты на электроэнергию, рую.
Сварочный выпрямитель ВД-306	34800
Сварочный аппарат ТИР-315	12180
Сушильная печь «ЭПСЭ-40/400»	174
Термостанция РТ 70-6	348
Итого:	47502

Таблица 5.4.6.1 Полная смета затрат на выполнение проекта

Наименование затрат	Затраты, руб
Основные и вспомогательные материалы	368824
Заработная плата	115391,3
Отчисления на социальные нужды	34848,2
Специальное оборудование	497201,28
Амортизация	19250,5
Затраты на электроэнергию	47502
Накладные расходы	34848,2
Итого:	1117865,48

### 5.5 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты (таблица 5.5.1).

Таблица 5.5.1 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска*	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Выход из строя сварочного оборудования	Задержка в выполнении рабочего плана	2	3	Средний	Соблюдение техники безопасности и правил эксплуатации оборудования	Некачественное оборудование. Человеческий фактор. Износ оборудования.

### Продолжение таблицы 5.5.1

2	Обрушения, повреждения ремонтного цеха	Задержка в выполнении и рабочего плана	1	2	Средний	Своевременное обслуживание помещения	Устаревшие сооружение, вспомогательное оборудование и конструкции
3	Несоблюдение технологии сборки и сварки	Появление брака	4	5	Высокий	Проверка каждого шага технологом	Человеческий фактор

### 5.6 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Интегральный показатель финансовой эффективности исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения исследования (таблица 5.6.1). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

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

Таблица 5.6.1 – Группировка затрат по статьям аналогов разработки

Варианты исполнения аналога №	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование	Основная заработная плата	Накладные расходы	Отчисления на социальные нужды	Итого
1	368824	612569	157896,3	47684,7	47368,9	1234342,9
2	368824	845963	231861,2	70022,1	69558,4	1586228,7

Интегральный показатель финансовой эффективности исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения. Для данного проекта и для аналогов 1 и 2 данный показатель составил 0,7, 0,77 и 1 соответственно.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по формуле 8:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} \quad (9)$$

где  $I_{\phi}^p$  - интегральный финансовый показатель разработки;

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

$\Phi_{\max}$  - максимальная стоимость исполнения технологического проекта.

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по формуле 10:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a; \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (11)$$

Где:

$I_m^p$  - интегральный показатель текущего проекта;

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

$b_i^a$ ,  $b_i^p$  - бальная оценка  $i$ -го параметра для аналога и разработки,

устанавливается экспериментным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  - число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (таблицы 5.6.2).

Таблица 5.6.2 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог №1	Аналог №2
1. Безопасность получения	0,1	5	4	4
2. Удобство в эксплуатации (вес, габариты, гибкость)	0,15	4	4	3
3. Энергоэффективность	0,15	3	3	3
4. Эффективное качество продукции	0,20	5	4	4
5. Надежность	0,25	5	5	4
6. Материалоемкость	0,15	4	4	4
Итого:	1	4,4	4,1	3,7

Интегральный показатель эффективности разработки ( $I_{финр}^p$ ) и аналога ( $I_{финр}^a$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя:

$$\text{для аналога 1: } \frac{4,1}{0,77} = 5,32$$

$$\text{для аналога 2: } \frac{3,7}{1} = 3,7$$

$$\text{для разработки } \frac{4,4}{0,7} = 6,29$$

Сравнительная эффективность проекта:

$$\text{для разработки: } \frac{4,4}{6,5} = 0,68$$

Таблица 5.6.3 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,77	1	0,7
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	5,32	3,7	6,29
3	Интегральный показатель эффективности	6,9	3,7	9
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,68		

## 5.7 Вывод по разделу финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

В ходе выполнения данного раздела выпускной квалификационной работы был проведен технико-экономический анализ проекта по разработке

технологии ремонта закалочного-испарительного аппарата. Результаты проектирования будут включать в себя все отрасли нефтехимического производства, нуждающиеся в высокой производительности труда и высоком качестве производимой продукции.

Результаты проекта могут найти практическое применение на объектах нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности.

Сделан план исследования, в котором распределялись основные функции проекта между руководителем и инженером и сделан расчет бюджета 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 гораздо выше, чем у аналогов. Из этого можно сделать вывод, что интегральный финансовый показатель будет больше, чем у аналогов исследования. А значит, на данный проект был израсходован бюджет, величина которого могла быть меньше 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 1117865,48 руб.

## **6 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 рассмотрен плазмохимический реактор для конверсии природного газа, который является лабораторной установкой.

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.

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

В здании, где находятся различные электроустановки, а также используется аргон в качестве исходного продукта, могут быть следующие вредные факторы: наличие - а) не комфортных метеоусловий; б) вредных

веществ; в) производственного шума; г) недостаточной освещенности; д) электромагнитного излучения, а также опасные факторы: 1) электроопасность; 2) пожароопасность.

### **6.1.1 Микроклимат в помещении**

Микроклимат в производственных условиях определяется следующими параметрами:

- 1) температура воздуха;
- 2) относительная влажность воздуха;
- 3) скорость движения воздуха.

При высокой температуре воздуха в помещении кровеносные сосуды кожи расширяются, происходит повышенный приток крови к поверхности тела, и выделение тепла в окружающую среду значительно увеличивается. При низкой температуре окружающего воздуха реакция человеческого организма иная: кровеносные сосуды кожи сужаются, приток крови к поверхности тела замедляется, и теплоотдача конвекцией и излучением уменьшается. Таким образом, для теплового самочувствия человека важно определенное сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне [27].

Повышенная влажность воздуха ( $\phi > 85\%$ ) затрудняет терморегуляцию организма, т.к. происходит снижения испарения пота, а пониженная влажность ( $\phi < 20\%$ ) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 6.1.1 [ГОСТ 12.1.005-88].

Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года следует применять средства защиты рабочих мест от остекленных поверхностей оконных проемов, чтобы не было охлаждения. В

теплый период года необходимо предусмотреть защиту от попадания прямых солнечных лучей.

Работы делятся на три категории тяжести на основе общих энергозатрат организма. Работа, относящаяся к инженерам – разработчикам, относится к категории легких работ. Допустимые значения микроклимата для этого случая даны в таблице.

Таблица 6.1.1 - Требования к микроклимату [28]

Период года	Категория работы	Температур а, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	средняя	19 – 22	40 - 65	≤ 0.2
Теплый	средняя	15 - 28	20 - 75	≤ 0.5

Одними из основных мероприятий по оптимизации микроклимата и состава воздуха в производственных помещениях являются обеспечение надлежащего воздухообмена и отопления, тепловая изоляция нагретых поверхностей оборудования, воздухопроводов и гидротрубопроводов.

### 6.1.2 Вредные вещества

Исходным сырьем для сварного соединения являются исходные изделия из металла, подлежащие ремонту и сварочные материалы, а также газ аргон.

Аргон (благородный инертный газ, Ar) – инертный газ. В обычных условиях бесцветен, не горюч, не ядовит, без вкуса и запаха. В сварочном производстве он применяется как защитная среда в процессе сварки металла. Являясь тяжелее воздуха, аргоновая струя надежно защищает металл во время сварки.

Данный химический элемент при большой концентрации оказывает вредное воздействие на организм человека. Он нередко скапливается в районе

пола в недостаточно проветриваемых помещениях, а при значительном ухудшении содержания кислорода может привести к потере сознания и даже смертельному исходу.

Действие аргона начинает проявляться при его накоплении в помещении свыше 4% объема воздуха. Кратковременное вдыхание аргона в высокой концентрации (свыше 15% объема) вызывает тошноту, рвоту, сухость в глазах, потерю сознания. При более длительном вдыхании аргона в небольшой концентрации возникает слезотечение, кашель, учащение пульса и сердцебиения и появлением боли за грудиной.

Согласно паспорту химической продукции "Паспорт безопасности химической продукции", утвержденным Росстандартом ФГУП «ВНИИ СМТ» РПБ№ 88300388 21 37791 от 15 апреля 2015 г., аргон относится к малоопасным по степени воздействия на организм инертный газ, величина ПДК не установлена, обладает наркотическим действием [29]. В атмосфере, обогащенной аргоном, может наступить состояние кислородной недостаточности и удушье. Баллоны могут взрываться при нагревании.

### **6.1.3 Производственный шум**

Вентиляция производственных помещений предназначена для уменьшения запыленности, задымленности и очистки воздуха от вредных выделений производства, а также для сохранности оборудования. Она служит одним из главных средств оздоровления условий труда, повышения производительности и предотвращения опасности профессиональных заболеваний. Система вентиляции обеспечивает снижение содержания в воздухе помещения пыли, газов до концентрации, не превышающей ПДК. Проветривание помещения проводят, открывая форточки. Проветривание помещений в холодный период года допускается не более однократного в час, при этом нужно следить, чтобы не было снижения температуры внутри помещения ниже допустимой. Воздухообмен в помещении можно значительно

сократить, если улавливать вредные вещества в местах их выделения, не допуская их распространения по помещению. Для этого используют приточно-вытяжную вентиляцию. Кратность воздухообмена не ниже 3 [30].

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

Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должно превышать 82 дБА. В нашем случае этот параметр соответствовал значению 75 дБА [31].

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть СКЗ и СИЗ.

#### СКЗ

- устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;
- изоляция источников шума от окружающей среды средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощающие материалы;
- применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения;

#### СИЗ

- применение спецодежды, спецобуви и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

#### 6.1.4 Освещенность

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 [32].

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

На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Для защиты от слепящей яркости видимого излучения (факел плазмы в камере с катализатором) применяют защитные очки, щитки, шлемы. Очки на должны ограничивать поле зрения, должны быть легкими, не раздражать кожу, хорошо прилегать к лицу и не покрываться влагой.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения  $A = 30$  м, ширина  $B = 15$  м, высота = 7 м. Высота рабочей поверхности над полом  $h_p = 2$  м. Согласно СП 52.13330.2011 необходимо создать освещенность не ниже 150 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы [32].

Площадь помещения:

$$S = A \times B,$$

где  $A$  – длина, м;

$B$  – ширина, м.

$$S = 30 \times 15 = 450 \text{ м}^2$$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор  $\rho_c=50\%$ , свежепобеленного потолка  $\rho_{\Pi}=70\%$ . Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен  $K_3=1,5$ . Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп  $Z=1,1$ .

Выбираем лампу тёпло-белого света ЛТБ-40, световой поток которой равен  $\Phi_{\text{лд}} = 2850$  Лм.

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

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

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле 11:

$$h = h_n - h_p, \quad (11)$$

где  $h_n$  – высота светильника над полом, высота подвеса,

$h_p$  – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР:  $h_n = 4$  м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле 12:

$$h = H - h_p - h_c \quad (12)$$

$$h = H - h_p - h_c = 7 - 4 = 3 \text{ м}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле 13:

$$L = \lambda \cdot h \quad (13)$$

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 3 = 3,3 \text{ м}$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Nb=B/L= 15/3,3= 4,5 \Rightarrow 5$$

Число светильников в ряду:

$$Na=A/L=30/3,3= 9$$

Общее число светильников:

$$N = 2 \cdot Na \cdot Nb = 2 \cdot 9 \cdot 5 = 90$$

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

$$L = Na \cdot L_1 + \frac{2}{3} \cdot L_1 + N \cdot L_{lam};$$

$$L_1 = \frac{L - N \cdot L_{lam}}{Na + \frac{2}{3}};$$

$$L_1 = \frac{30000 \text{ мм} - 9 \cdot 265 \text{ мм}}{8 + \frac{2}{3}} = 3190 \text{ мм} - \text{расстояние вдоль цеха}$$

$$L_1 = \frac{15000 \text{ мм} - 5 \cdot 1227 \text{ мм}}{4 + \frac{2}{3}} = 1900 \text{ мм} - \text{расстояние от торцов}$$

Размещаем светильники в пять рядов. На рисунке 13 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

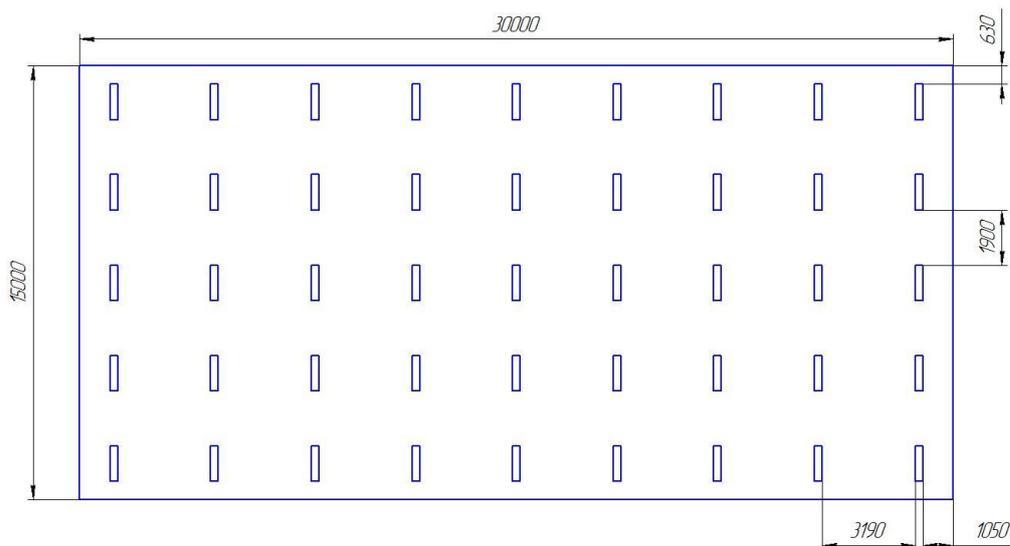


Рисунок 6.1.4 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Индекс помещения определяется по формуле 14:

$$i = A \cdot B / h \cdot (A + B) \quad (14)$$

$$i = A \cdot B / h \cdot (A + B) = 15 \cdot 30 / 3 \cdot (15 + 30) = 3,3$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при  $\rho_{\Pi} = 70\%$ ,  $\rho_{С} = 50\%$  и индексе помещения  $i = 3,3$  равен  $\eta = 0,53$ .

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\Pi} = E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z / N \cdot \eta = 200 \cdot 30 \cdot 15 \cdot 1,5 \cdot 1,1 / 90 \cdot 0,53 = 3113 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\Pi}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% \leq 20\%;$$

$$\frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\Pi}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% = \frac{2850 \text{ лм} - 3113 \text{ лм}}{2850 \text{ лм}} \cdot 100\% = -9\%$$

Таким образом:  $-10\% \leq -9\% \leq 20\%$ , необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

### 6.1.5 Электромагнитные поля

В производстве используется сварочное оборудование. Таким образом, при организации безопасности труда, необходимо учитывать воздействие электромагнитных полей на организм человека.

Электромагнитное излучение, воздействуя на организм человека в дозах, превышающих допустимые, может являться причиной профессиональных заболеваний. В результате возможны изменения нервной, иммунной, сердечно-сосудистой, половой и других систем организма человека [33].

В процессе длительного пребывания в зоне действия электромагнитных полей наступают преждевременная утомляемость, сонливость или нарушение сна, появляются частые головные боли. При систематическом облучении

наблюдаются стойкие нервно-психические заболевания, изменение кровяного давления, замедление пульса, трофические заболевания (выпадение волос, ломкость ногтей). При этом наблюдается вялость, снижение точности рабочих движений, возникновение болей в сердце.

Предельно допустимые уровни облучения по СанПиН 2.2.4.1191-03 [34]:

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>.

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.

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

### **6.2.1 Факторы электрической природы**

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Электроустановки классифицируют по напряжению: с номинальным напряжением до 1000 В (помещения без повышенной опасности), до 1000 В с присутствием агрессивной среды (помещения с повышенной опасностью) и свыше 1000 В (помещения особо опасные) [35].

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.

Ремонтный цех относится к помещению с повышенной опасностью поражения электрическим током. В помещении применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы. Недоступность токоведущих частей достигается путем их надежной изоляции, применения защитных ограждений (кожухов, крышек, сеток и т.д.).

Слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками применяют при выполнении работ под напряжением 220/380 В. Обычно используют односторонние гаечные ключи, отвертки, плоскогубцы, кусачки, ножи с изолирующими рукоятками. Изоляция рукояток инструмента, изготовленная из пластмассы, является основным средством защиты.

Дополнительными электробезопасными средствами являются диэлектрические галоши (боты), сапоги, диэлектрические резиновые коврики, дорожки и изолирующие подставки. Диэлектрические боты, галоши и сапоги применяют для изоляции человека от основания, на котором он стоит. Боты применяют в электроустановках любого напряжения, а галоши и сапоги — только при напряжении до 1000 В. Диэлектрические коврики и дорожки — это изолирующие основания. Их применяют в закрытых электроустановках любого напряжения. Изолирующие подставки также изолируют человека от грунта или пола. В электроустановках напряжением до 1000 В изолирующие подставки выполняют без фарфоровых изоляторов, а выше 1000 В — обязательно на фарфоровых изоляторах.

## 6.2.2 Факторы пожарной и взрывной природы

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1 - В4, Г и Д, а здания - на категории А, Б, В, Г и Д. По пожарной опасности наружные установки подразделяются на категории А<sub>н</sub>, Б<sub>н</sub>, В<sub>н</sub>, Г<sub>н</sub> и Д<sub>н</sub>.

Согласно НПБ 105-03 ремонтный цех относится к категории Г - негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени; горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива [35].

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНиП 2.01.02-85 (выполнено из кирпича, которое относится к трудно сгораемым материалам). Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера [36].

Причина возникновения пожара неэлектрического характера: халатное неосторожное обращение с огнем (оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);

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

Для устранения причин возникновения и локализации пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия:

- а) использование только исправного оборудования;
- б) проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- д) отключение электрооборудования, освещения и электропитания при предполагаемом отсутствии обслуживающего персонала или по окончании работ;
- е) курение в строго отведенном месте;

ж) содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды [37].

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.

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

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых или углекислотных огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу (рисунок 14). В случае ЧС сотрудникам необходимо добраться до ближайшего пункта сбора.

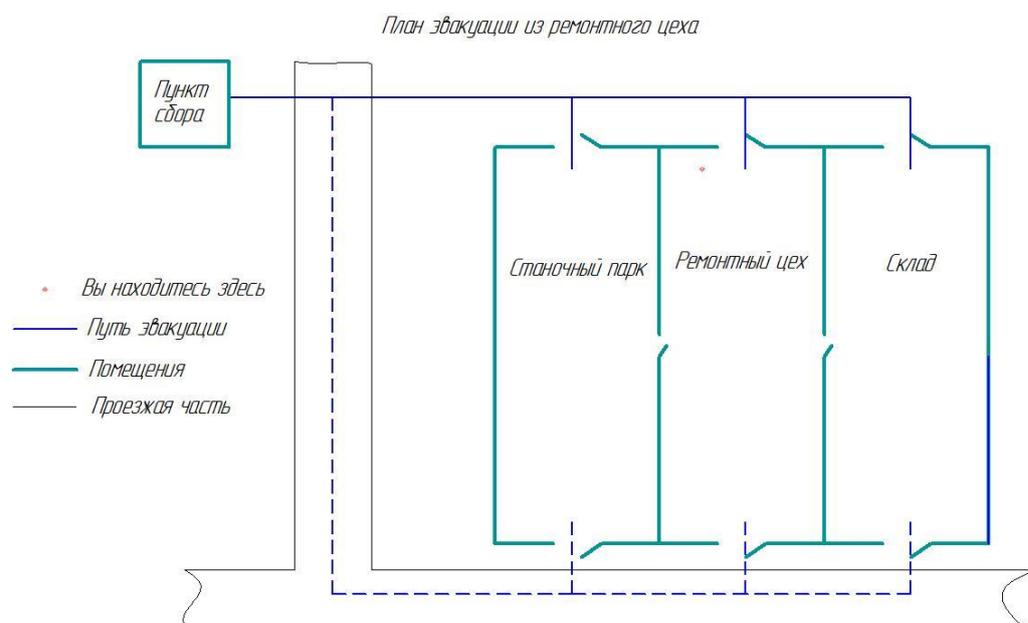


Рисунок 6.2.2 – Пути эвакуации

### 6.3 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 [38].

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

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

Так же необходимо позаботиться о отдельных контейнерах для отходов бытового характера: отдельные мусорные баки для бумаги, стекла, металлических частей, пластика. Необходимо заключить договор с компанией,

вывозящей мусор, чтобы она обеспечивала доставку разделенных отходов фирмам, занимающимся переработкой отходов.

#### **6.4 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 и даже жертвам среди населения. 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. На предприятии должен находиться 3-дневный запас воды на всех сотрудников.

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.

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

1. ОСТ 54 30013-83 Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности

2. ГОСТ 12.4.154-85 "ССБТ. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты"

3. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны

4. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 "Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)".

5. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

6. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.

7. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

8. ГОСТ 12.4.123-83. Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования.

9. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

10. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.

11. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.

ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности

12. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха

13. ГОСТ 30775-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов.

14. СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы.

15. ГОСТ 12.4.154. Система стандартов безопасности труда. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования, основные параметры и размеры

16. СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение"

### **Графические материалы**

1) Освещенность на рабочем месте

2) Пути эвакуации

### **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 ремонтном цеху. На основании данных исследований были проанализированы вредные и опасные производственные факторы, влияющие на сварщиков 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 заболеваний.

## **Заключение**

В ходе работы была разработана технология ремонта закалочно-испарительного аппарата. Корпус выполнен из нержавеющей стали марки 12X18Н10Т. Трубный пучок, нижняя трубная решетка, распорки, ребра, колесо изготовлены из хромомолибденовой жаропрочной стали 15ХМ. Установлены особенности сварки жаропрочных сталей и сварки сталей разных химических составов. Исходя из условий эксплуатации аппарата установлены нормативные документы, содержащие требования к проведению сварочных работ, термообработке и контролю качества сварных соединений.

1. Для обеспечения надежного сварного соединения и удовлетворения требований нормативной документации для ремонта был назначен комбинированный способ сварки (ручная дуговая сварка покрытыми электродами и ручная дуговая сварка неплавящимся электродом в среде защитного газа с использованием присадочной проволоки).

2. Для предотвращения дефектов во время и после сварки необходима термообработка изделий. Также в технологию ремонта включены техника сварки и ее последовательность. При соблюдении разработанного режима термообработки, техники и последовательности сварки гарантирована надежная работа ЗИА в срок до следующего капитального ремонта, связанного с износом трубного пучка.

3. Назначено сварочное оборудование, обеспечивающее надежное горение дуги, надлежащее качество сварного соединения, а также соответствующее требованиям нормативной документации. Сварочные материалы также обеспечивают одинаковый или приблизительно одинаковый химический состав основного и наплавленного металла.

4. Назначены необходимые способы контроля качества сварных соединений в соответствии с нормативной документацией. При разработке объема контроля качества были учтены конструкционные особенности аппарата и последовательность контроля в зависимости от последовательности сварки.

## Список литературы

1. Кирпичников П.А., Ликумович А.Г., Победимский Д.Г., Попова Л.М. Химия и технология мономеров для синтетических каучуков. Учебное пособие для вузов. Химия, 1981. – 264с. с ил.
2. Кузеев И.Р., Баязитов М.И., Куликов Д.В., Чиркова А.Г. Высокотемпературные процессы и аппараты переработки углеродного сырья. – Уфа:Гилем, 1999. – 325с.
3. Кузеев И.Р., Ибрагимов И.Г., Хайрудинов И.Р., Баязитов М.И. Особенности диффузии углерода из нефтяного кокса в металл. Химия, 1986.– 259с.
4. ГОСТ 4543-2016Metalлопродукция из конструкционной легированной стали. Технические условия.
5. ГОСТ 5632-2014 Нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные.
6. Акулов А.И., Бельчук Г.А., Деменцевич В.П. Технология и оборудование сварки плавлением. Учебник для студентов вузов. М., «Машиностроение», 1977. – 432с. с ил.
7. Абрашин А.В. Сварка специальных сталей и сплавов: учеб. пособие. – Брянск: БГТУ, 2005. – 116 с.
8. Инструкция по ремонту ЗИА.
9. ГОСТ 16037-80 Соединения сварные стальные трубопроводов. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
10. ГОСТ 5264-80 Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
11. ГОСТ 34347-2017 Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия.
12. РД 39-0147014-535-87 Инструкция по сварке при монтаже и ремонте трубопроводов и ответственных металлоконструкций.

13. Специальные электроды для сварки / «СпецЭлектрод» / <http://www.spetselectrode.ru> Доступ свободный, дата обращения 20.02.2020
14. Корпоративный портал, компании ESAB / Сварочное оборудование / <http://www.esab.ru> Доступ свободный, дата обращения 20.02.2020
15. Корпоративный портал, компании «Svarog» / сварочное оборудование <http://www.svarog-rf.ru> Доступ свободный, дата обращения 27.02.2020
16. Паспорт 3468-002-12353442-06 ПС. Выпрямители сварочные. Марки: ВД-306.
17. Паспорт ТИР-315.
18. РД 26-17-049-85. Организация и хранение, подготовки и контроля сварочных материалов.
19. Корпоративный портал, компании «Ravikom» / сварочное оборудование / <http://www.ravikom.ru> ru Доступ свободный, дата обращения 14.03.2020
20. Корпоративный портал, компании «Ravikom» / сварочное оборудование / <http://www.vseinstrumenti.ru> Доступ свободный, дата обращения 15.03.2020
21. РД 03-60-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю
22. РД 153-34.1-003-01 Сварка, термообработка и контроль трубных систем котлов и трубопроводов при монтаже и ремонте энергетического оборудования.
23. ВСН 452-84 Производственные нормы расходов материалов в строительстве. Сварка трубопроводов из легированных сталей, автоматическая сварка под флюсом листовых конструкций, сварка стержней арматуры и закладных деталей, газовая резка.
24. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: метод. указания / Том. пол-й. ун-т. – Томск 2014. – 73 с.

25. 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.
26. Политика доходов и заработной платы. Под ред. П. В. Савченко и Ю. П. Кокина. М.: Юристъ, 2000. 456 с.
27. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ. Рекомендовано в качестве практикума Редакционно-издательским советом Томского политехнического университета. – Томск Издательство Томского политехнического университета 2009 – 101с.
28. ГОСТ Р 2.2.2006–05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.
29. Паспорт безопасности химической продукции РПБ № 88300388 21 37791.
30. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
31. СанПиН 2.2.4.3359 – 16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.
32. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95
33. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.»
34. СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях.
35. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной безопасности.
36. СНиП 2.01.02-85 Противопожарные нормы.
37. ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

38. 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.

## Приложение А

### 2. Materials and equipment for research.

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ81	Агеев Илья Олегович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОЭИ	Киселев Алексей Сергеевич	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

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

## **1. Design description**

### **1.1 General characteristics and purpose, type of connection, operation conditions**

Quenching-evaporation apparatus (QEA) is a shell-and-tube heat exchanger connected by circulation tubes to a cylinder – steam collector. The main and most frequent reason for the repair of QEA is a tube bundle. Pyrogas moves through tubes with a height of 5800 mm, and a steam-water emulsion moves through the annulus. The tubes have a constant diameter of 32 mm with a thickness of 4 mm. In the annulus there are water and steam under a working pressure of 12.5 MPa with a temperature of + 328 ° C. Pyrogas flows in the tube space under a working pressure of 1.1 MPa with a temperature of + 450 ° C.

For QEA, the requirements for heat-resistant steels used for the manufacture of pipes are met. In conditions of high-temperature pyrolysis, the tube bundle must provide reliability in operation at temperatures up to 500 ° C, for which hot-deformed seamless steel pipes made of heat-resistant low-alloy steel 15XM are used [2].

During operation of the QEA in the tube bundle, the following defects may be observed:

- 1) pipe wear on the inner surface;
- 2) brittle failure of tubes;
- 3) local pipe deformation with the formation of plastically deformed zones due to local overheating;
- 4) external burning of pipes, high temperature corrosion;
- 5) the formation of through fistulas and burnouts [2].

In most cases, sections of weld seams and chimney seams themselves are subject to internal corrosion. The brittle destruction of pipes is observed as a result of exposure to aggressive environment and prolonged residence of chimneys at high temperatures and pressure. There is a decrease in the strength and ductility of the material, due to significant changes in the microstructure of steel.

From the side of the pipes, which are facing directly to the torch, local plastic deformation occurs, which is a consequence of overheating. In these places, the pipe wall becomes thinner, which can lead to fire in case of pipe breakdown.

External burning of 15XM metal is observed during the vapor-air removal of coke from chimneys, especially with unacceptable overheating ( $> 550\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). When burning coke, significant excesses of the maximum permissible temperature of the pipe walls are observed, which leads to a decrease in the strength of the pipes and their performance [2].

The process of prolonged exposure to operating conditions and aggressive environments gradually leads to irreversible structural changes in steel, which reduces its heat resistance and ductility, increases brittleness and tendency to crack. As a result of carburization of the inner surface during overheating in coked areas, it leads to a change in the properties and chemical composition of the pipe metal. To prevent coked areas, measures are taken to remove coke from the pipes by supplying steam under pressure, and after heated air under pressure [3].

Also, during repair, a tube bundle in which the tubes are welded requires replacement, since the tube bundle cannot be repaired as a result of cutting the tubes. The lower tube bundle is made of the same steel as the tubes themselves - 15XM. As a result of cutting the tubes, the tube bundle cannot be repaired, therefore it is made together with studs made of 15XM steel. ZIA case is made of steel 15XM.

## **1.2 Chemical composition and properties of heat resistant steels**

When repairing a tube bundle and tube bundle, heat-resistant low alloy steels are used. In fusion welding, the quality of the welded materials and the welding technology should ensure the strength and toughness of the weld metal is not lower than necessary for the original base metal, at a working temperature of up to  $+ 450^{\circ}\text{C}$ .

To ensure the required resistance of welded joints against cracking of steel with a range of operating temperatures within  $450 \dots 550 \dots\text{C}$ , it is necessary to preheat the joint and slowly cool it.

Table 1.2.1 - The chemical composition of steel 15XM

C, %	Mn, %	Si, %	S, %	P, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	Mo, %	Fe, %
0,11-0,18	0,4-0,7	0,17-0,37	до 0,035	до 0,035	0,8-1,1	до 0,3	до 0,3	0,4-0,55	~96

Table 1.2.2 - The chemical composition of steel 12X18H10T

C, %	Mn, %	Si, %	S, %	P, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	Ti, %	Fe, %
0,12	до 2	0,8	до 0,02	до 0,035	17-19	9-11	до 0,3	0,4-1	~67

In accordance with the conditions of long-term operation of pipes under tension at high temperatures, steel should have creep resistance, long-term strength, stability of properties and heat resistance. These properties, taking into account the required processability of steel during welding, provide the introduction of 0.5 ... 2.0% Cr; 0.2 ... 1.0% Mo; 0.1 ... 0.3% V.

Alloying Cr increases the heat resistance of steels at temperatures above +450 ° C, and together with Mo increases the long-term strength and creep resistance. Vanadium together with carbon provide hardening of steel with finely dispersed carbides [4].

## **2. Development of assembly and welding technology**

### **2.1 Difficulties in welding heat resistant steel 15XM**

When welding heat-resistant steels, the following difficulties arise:

- design features of welded joints;
- the need to ensure the properties of the weld metal, close to or equal to the properties of the base metal for a long operational time;
- softening of the metal in the heat affected zone (HAZ);
- the tendency of the weld metal and HAZ of the welded joint to the formation of hot and cold cracks [5].

During multilayer welding of pipes with a tube bundle, an increase in plastic deformation occurs, the width of the zone which is 2-3 times more than the HAZ. Also, the pipes are close to each other, due to which, during welding, warping and deformation of the structure can occur [5].

This and other factors determine the presence in the welded joints of residual welding strains, etc. Reducing the influence of these factors on the performance and reliability of joints can be achieved by selecting and applying technological parameters of welding, such as:

- choice of welding method;
- welding mode parameters;
- stitching procedure, etc.

In conditions of long-term operation at temperatures above 450 ° C, there is a likelihood of the development of diffusion processes between the base metal and the weld metal.

Carbon has a high diffusion mobility. Carbon migration occurs even with a slight difference in the alloying of their carbide-forming elements. During operation, a decarburized (ferritic) layer is formed, which leads to a decrease in the strength and ductility of the welded joint and to local fracture. Therefore, it is necessary to select welding materials whose chemical composition is close to the base metal [5].

The softening in the HAZ is due to the influence of the thermal cycle of welding or heat treatment of the welded joint on the heat-treated base metal. In the HAZ, where the metal was heated in the range of Ac1-tempering temperature of steel, softening zones appear. In this case, the long-term strength of the connection is reduced by 15-20% in comparison with the base metal. The softening zone is the larger, the higher the linear energy of welding.

The softening of the metal can be eliminated by volumetric heat treatment, but it is limited by the overall dimensions of the furnaces or the complex shape of the structure. The softening zone can be reduced by welding with narrow seam bead without transverse vibrations of the electrode.

Hot and cold cracks are formed due to the appearance of metastable structures (troostite, martensite) in the HAZ regions heated above the critical point of Ac1 pearlite transformation, embrittlement of compounds under the influence of hydrogen, the action of force and scale factors.

The most difficult is the prevention of cold cracks in the weld metal and the heat-affected zone, by preheating the welded joint and its subsequent heat treatment.

The action of force and scale factors is associated with the formation of tensile welding stresses of the first kind, the rigidity of the welded structures, the dimensions of the parts and their thickness [5].

## **2.2 Welding method selection**

When repairing a tube bundle and a tube bundle, the following welding methods can be applied [2]:

- manual arc welding with coated electrodes;
- manual arc welding with non-consumable electrode in a protective gas with a filler material;
- mechanized welding with self-shielding flux-cored wire.

In the conditions of the work in the workshop, it is necessary to select a type of welding, the implementation of which will create a reliable welded joint that meets the necessary requirements of standards and regulatory documents.

One common method is arc welding with a non-consumable electrode in a shielding gas environment. Welding in a shielding gas environment should be used indoors without drafts and there is a need for additional equipment (cylinders, hoses, etc.), which should also be suitable for work (date of cylinder inspection, certification of hoses, etc.). Gas cylinders hinder the welder's mobility, which affects its speed of movement between the joints, and, consequently, the speed of work performed.

Manual arc welding with coated electrodes is the most common welding method in enterprises. This method is less productive, due to the periodic replacement of the electrodes, but it is more economical compared to mechanized welding.

The least common method of mechanized welding is self-shielded flux-cored wire. This method requires only a wire feeder, but self-shielding flux-cored wire has a high price.

To choose a more technologically advanced welding method, it is necessary to compare the advantages and disadvantages of manual arc welding with coated electrodes, mechanized welding with self-shielding flux-cored wire and non-consumable arc welding in a protective gas environment.

Table 2.2.1 - Advantages and disadvantages of manual arc welding with coated electrodes

Advantages	Disadvantages
Welding can be carried out in all spatial positions.	Low productivity compared to mechanized welding.
Welding in hard-to-reach spots is possible.	The quality of the connection largely depends on the qualifications of the welder.
Low cost of electrodes for manual arc welding and high mobility of the welder.	The effect of magnetic blasting on the DC welding process.

Table 2.2.2 - Advantages and disadvantages of mechanized welding with self-shielded flux-cored wire

Advantages	Disadvantages
Welding in hard-to-reach spots is possible.	Poor quality of joints compared to mechanized welding in shielding gases.
High process performance compared to manual arc welding.	The high cost of welding consumables.
Welding is carried out in all spatial positions.	
A small amount of additional equipment.	

Table 2.2.3 - Advantages and disadvantages of non-consumable arc welding in a shielding gas environment

Advantages	Disadvantages
Welding in hard-to-reach spots is possible.	Reduced welder mobility due to a large number of additional equipment.
High process performance compared to manual arc welding.	Higher cost of welding materials compared to the above.
Welding is carried out in all spatial positions.	The quality of the connection largely depends on the qualifications of the welder.
The linear energy of welding with this method is lower than with the above methods, which reduces the softening of steel in the HAZ zone [5].	

As a result, based on the advantages and disadvantages of the above types of welding, the most rational is the use of manual arc welding in conjunction with non-consumable arc welding in a protective gas environment. The use of manual arc welding in a shielding gas environment extends to welding of the root of the seam,

based on the instructions for repair of the QEA [16]. This is due to higher requirements for the root layer of the weld.

## 2.5 Assembly and welding technology

Welding of chromium-molybdenum steels is hindered by its tendency to form hot and cold cracks. To prevent cracks, it is necessary to preheat the joints to be welded and to finish it after welding. To minimize thermal effects from the electrode.

Repair of the pipe coil ZIA is carried out in stages:

- 1) Welding of the ribs to the body (Fig. 3);
- 2) Welding of purge pipes with a bend in the amount of 2 pieces (Fig. 2);
- 3) Install according to the dimensions in the ФЮРА drawing and weld the purge tubes to the body according to the ФЮРА.000001.001 СБ drawing;
- 4) Prepare holes in the upper tube bundle for welding. In the holes, chamfer 2x45°;
- 5) Install the tubes in the housing of the ZIA and replace the tubes left around the perimeter;
- 6) Install the lower tube bundle, assembling its holes with spacers and tubes, as well as assembling the lower tube bundle with a housing flange;
- 7) Tack all the elements according to the drawing ФЮРА.000001.001 СБ;
- 8) Weld all the elements according to the drawing ФЮРА.000001.001 СБ.

Tacking must be done in the same way and filler material as the root layer of the seam. Tack welds are subject to the same weld control requirements as weld root. The number of tacks is regulated by normative documentation [17]:

Table 2.5 - Tack sizes depending on pipe diameter

Pipe diameter, mm	Up to 50 mm	Over 50 to 100	Over 100 to 426	Over 426
Number of tacks	1-2	1-3	3-4	Through 300-400 mm
Tack length, mm	5-20	20-30	30-40	40-60

When tacking is performed by manual arc welding with a non-consumable electrode in a protective gas medium, the tacking height is equal to the thickness of the tacking pipes Tr-1 and  $b \pm 0.5 \dots 1.5$  mm (b is the blunting size) for pipes with Tr-2, Tr-6 grooves, Tr-7. For tacking the ribs, one tack length of 3-5 mm will suffice. The dimensions of the tacks of the lower tube bundle are assigned from table 5 for pipes with a diameter of more than 426 mm.

The root of the weld must be welded with a manual arc method with a non-consumable electrode in a shielding gas medium with argon filler wire. The filler wire should ensure uniformity of the chemical composition of the weld metal and the base metal. When performing the root layer of the weld, the electrode should be conducted without oscillatory movements strictly along the joint in order to reduce the area of the heated metal and its heating temperature. The width of the root layer of the seam when welding with an electrode of 3 mm in diameter is 4 mm. When forming the root layer of the seam, it is recommended to digest the tack, if possible. The height of the root suture is equal to the height of the tack. During welding, full penetration of the root layer of the seam and sealing of the crater should be provided. If defects are formed on the weld surface, the defective place must be removed mechanically in an unshocked way to "pure" metal and, if necessary, welded. When assembling and welding joints of pipes of small diameters, the root layer of the seam must be performed immediately after the implementation of tacks. Any mechanical impact on the weld until the completion of welding and its cooling is prohibited.

Facing layers are performed by manual arc welding with coated electrodes. Regardless of the technology for applying the facing seam, it must meet the following requirements [17]:

- uniform scaly (flake size 1-1.5 mm);
- no loosening between the rollers;
- to prevent stress concentrators, the seam should have a smooth transition from one roller to another and to the surface of the products;
- overlapping by the extreme rollers of the pipe edges should be 1-3 mm.

During the repair work, the housing of the ZIA is in a horizontal position. In this regard, it is possible to use welding technology in a vertical fixed position of structural elements.

It is necessary to perform the root layer of the weld by a short arc at a constant current (70-100 A) of direct polarity with a tungsten electrode EVI-1 with a diameter of 3 mm using a filler wire. The exact values of the welding currents are determined when performing test joints. Ignition and extinction of the arc should be done in the cutting pipe or on a previously laid seam at a distance of 20-25 mm from its end. Argon supply must be stopped after 5-8 s after arc breaking and during this time, argon should be fed to the crater in order to protect the weld metal from air. Welding of the lower tube bundle with the body flange should be performed in a reverse-step way with a maximum length of a simultaneously welded section of 250-300 mm in a diametrically opposite position. Schemes for applying the root layer of the weld of the tubes and the tube bundle are shown in fig. 2.5.1, 2.5.2.

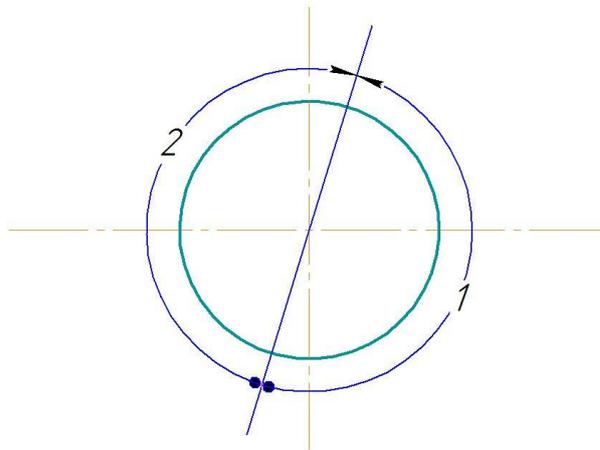


Figure 2.5.1 - Layout of the root layer of the weld when welding pipes

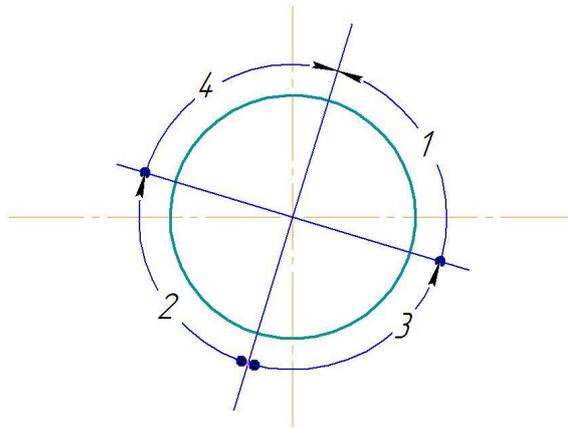


Figure 2.5.2 - Layout of the root layer of the weld when welding the lower tube bundle

The filling and facing layers of the seam are performed by manual arc welding with coated electrodes with a diameter of 3 mm at a direct current (80-100 A) of reverse polarity. The filling and facing layers of the seam can be performed in sections of a length equal to half the circumference. The height of each roller should be 2-3 mm, width - 4-5 mm. Welding the lower tube bundle with a body flange is performed by electrodes with a diameter of 4 mm. In this case, the height of each roller is 3-5 mm, and the width is 5-7 mm. The number of passes when welding pipe joints is 3-4, and when welding the lower tube bundle with a housing flange - 10-12. Schemes for filling and facing the seam layer are presented in fig. 2.5.3 and 2.5.4.

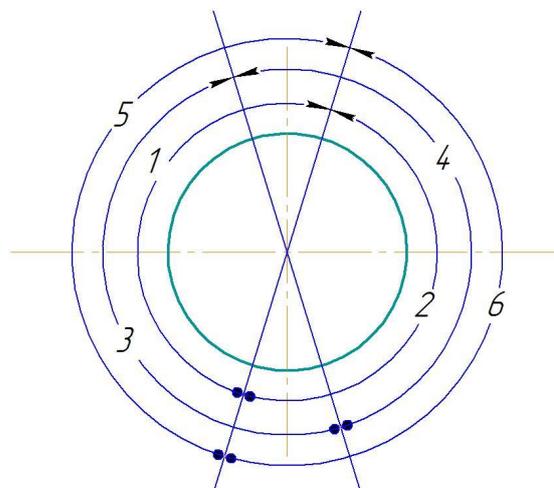


Figure 2.5.3 - Layout of the filling and facing layers of the seam when welding pipes

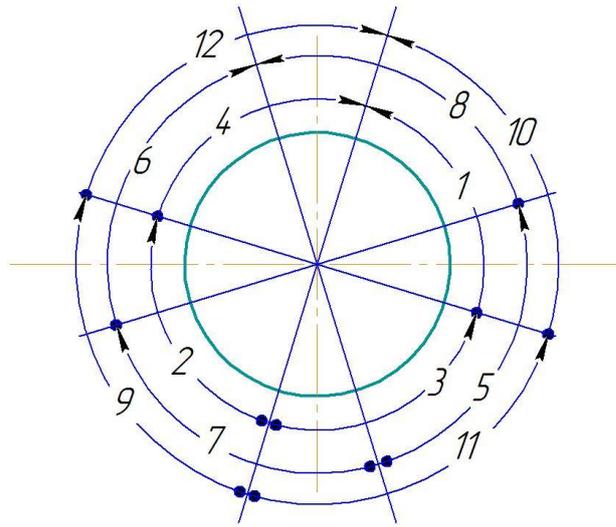
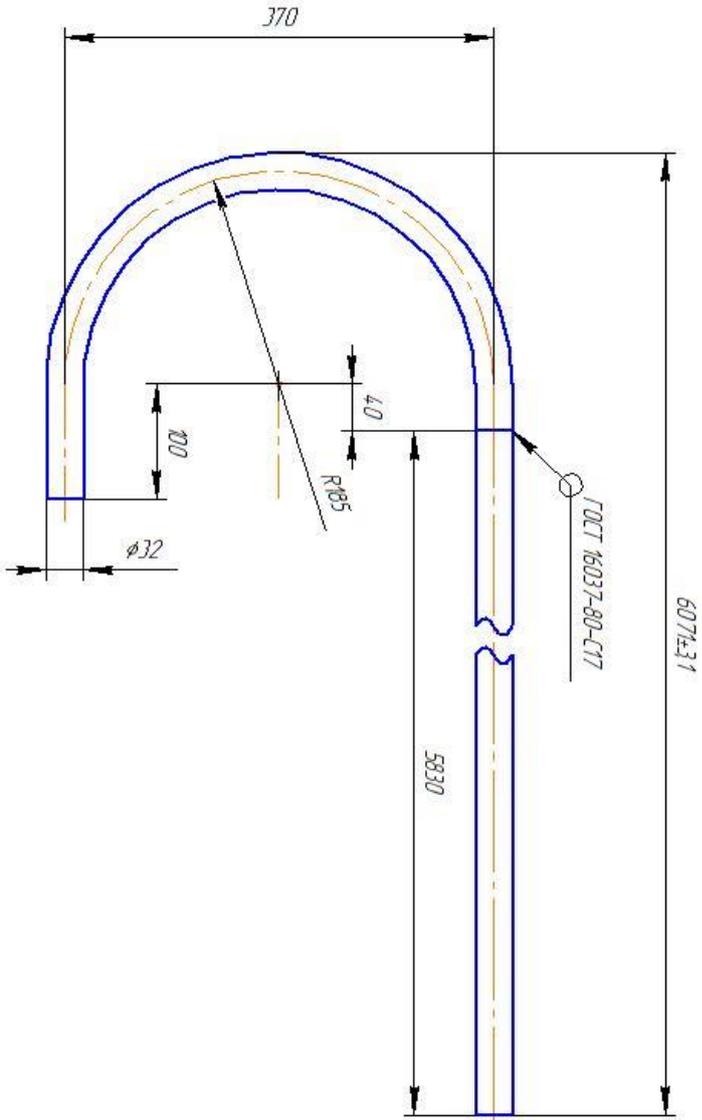


Figure 2.5.4 - Layout of the root filling and facing layers of the seam when welding the lower tube bundle





Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Справ. №	Перв. примен.

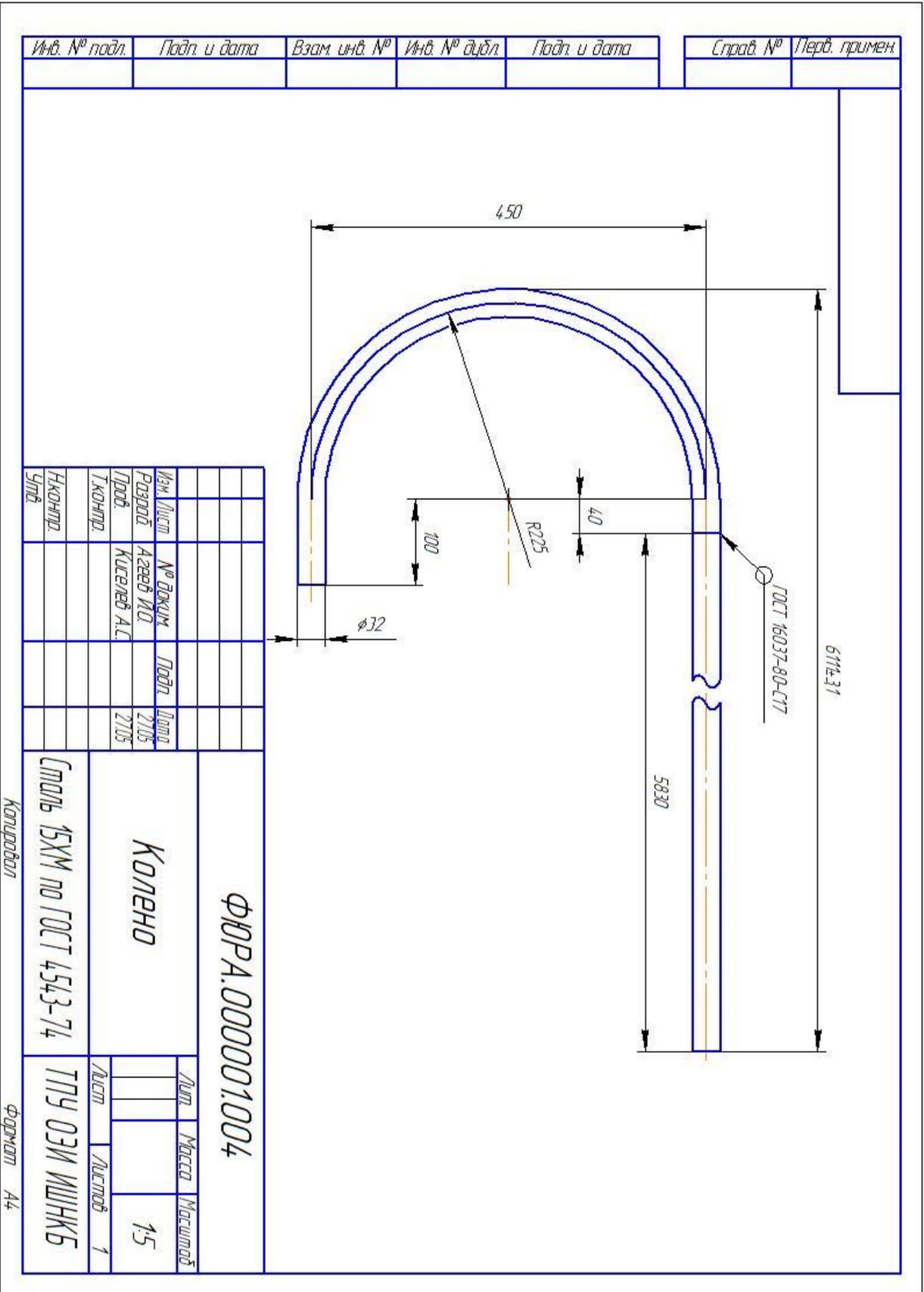


Исполн.	Провер.	Технол.	Нормир.	Упр.
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Азвелд И.О.			21.05
Проф.	Куселов А.С.			21.05
Технол.				
Нормир.				
Упр.				

ФЮРА.000001.001		Лист	Масса	Масштаб
Колено				1:5
Сталь 15ХМ по ГОСТ 4543-74		Лист	Листов	1
ТПУ ОЭИ ИШНКБ				

Копировал

Формат А4



Исполн.	Провер.	Техн. контр.	Нач. отд.	Упр.
Имен. лист	№ докум.	Подп.	Дата	
Разраб.	А.Савель И.О.		21.05	
Проф.	Киселев А.С.		21.05	
Техн. контр.				
Нач. отд.				
Упр.				

<b>ФЮРА.000001.004</b>	
<b>Колено</b>	
Сталь 15ХМ по ГОСТ 4543-74	ТРУ ОЭИ ИШНКБ
Лист	Масса
Лист	Листов
	1
	15

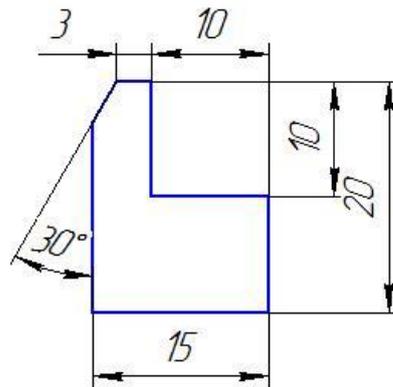
Копирован

Формат А4

ФЮРА.000001.002

Перед. лист

Стр. №



Подп. и дата

Изм. №

Взам. инв. №

Подп. и дата

Изм. №

Изм. №

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Азеев И.О.		27.05
Проб.		Киселев А.С.		27.05
Т.контр.				
И.контр.				
Утв.				

ФЮРА.000001.002

Ребро

Сталь 15ХМ по ГОСТ 4543-74

Лит.	Масса	Масштаб
		2:1
Лист	Листов	1

ТПУ ОЭИ ИШНКБ

Копировал

Формат А4