

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование)

15.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки / специальности)

«Современные технологические процессы изготовления деталей

в машиностроении»

(направленность (профиль) / специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технология ремонтной сварки технологических
трубопроводов ТЭЦ

Обучающийся

С.И. Горюнов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент О.В. Шашкин

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярова

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

Аннотация

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности сварочных технологий при выполнении сварки технологических трубопроводов ТЭЦ.

Анализ состояния вопроса позволил обосновать выбор способа сварки, в качестве которого для построения проектной технологии предлагается применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения с импульсным управлением горением сварочной дугой.

Построение проектной технологии предложено проводить с использованием механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения. Составлен перечень операций технологического процесса, назначены параметры режима, выбрано оборудование и сформулированы требования к выполнению операций.

Выполненная идентификация этих негативных факторов позволила предложить стандартные методики и технические средства для защиты персонала и окружающей среды.

Производительность труда повышается на 66 %. Уменьшение технологической себестоимости составило 16 %. При этом за счёт повышения производительности труда и снижения издержек удалось получить годовой экономический эффект в размере 0,95 млн. рублей.

Результаты настоящей выпускной квалификационной работы рекомендуются к внедрению на предприятиях, которые выполняют работы по строительству и ремонту технологических трубопроводов из теплоустойчивых сталей.

Содержание

Введение	5
1 Современное состояние ремонтной сварки технологических трубопроводов ТЭЦ.	7
1.1 Особенности конструкции и эксплуатации технологического трубопровода ТЭЦ.	7
1.2 Сведения о химическом составе стали для изготовления паропровода ТЭЦ.	11
1.3 Трудности сварки и их устранение.	12
1.4 Особенности усталостного разрушения паропроводов.	13
1.5 Базовая технология ремонтной сварки паропровода.	18
1.6 Формулировка задач выпускной квалификационной работы.	26
2 Разработка проектной технологии ремонтной сварки технологического трубопровода ТЭЦ.	27
2.1 Обоснование выбора способа сварки.	27
2.2 Обоснование выбора сварочных материалов.	32
2.3 Обоснование конструкции сварного соединения.	33
2.4 Назначение параметров режима сварки.	35
2.5 Описание операций и применяемого оборудования.	36
3 Обеспечение безопасности и экологичности предлагаемых технических решений.	42
3.1 Конструктивно-технологическая характеристика рассматриваемого объекта.	42
3.2 Идентификация профессиональных и производственных рисков	43
3.3 Методики и технические средства для устранения профессиональных рисков.	45
3.4 Пожарная безопасность рассматриваемого технологического объекта.	46

3.5 Вопросы обеспечения экологической безопасности.	48
4 Экономическое обоснование предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений.	50
4.1 Анализ исходной информации по базовой и проектной технологиям.	50
4.2 Оценка фонда времени работы оборудования.	53
4.3 Оценка штучного времени при выполнении операций проектного и базового вариантов технологии.	54
4.4 Расчёт заводской себестоимости при осуществлении операций технологического процесса по рассматриваемым вариантам.	56
4.5 Капитальные затраты при реализации проектного и базового вариантов технологии.	60
4.6 Показатели экономической эффективности.	62
Заключение	64
Список используемой литературы и используемых источников.	66

Введение

Уровень развития и динамика прогресса народного хозяйства в значительной мере определяется способностью обеспечить растущие потребности промышленности в электрической и тепловой энергии. При этом на эффективность энергообеспечения влияет размещение электрических и тепловых станций, от рациональной географии которых зависит величина затрат на выработку и передачу энергии. При этом в современном обществе значительную роль играют тепловые электрические станции, работа которых происходит с применением органического топлива, которое может быть как жидким (дизельное топливо, мазут), так и твёрдым (каменный уголь) и газообразным (природный газ).

На долю тепловых электрических станций приходится 75% энергии, вырабатываемой в мире. При этом происходит планомерное увеличение мощности устанавливаемых агрегатов, что позволяет уменьшить капитальные затраты на единицу вырабатываемой электрической и тепловой энергии.

Значительной частью тепловых электрических станций является технологический трубопровод, протяжённость которого составляет несколько километров. В ходе продолжительной эксплуатации в условиях повторного нагревания и эрозионного износа происходит усталостное разрушение и дисперсионное охрупчивание металла труб. При этом значительные усталостные разрушения происходят в месте сварного соединения труб [11].

Самые неблагоприятные условия сопровождают работу паропроводов, которые выполняются из стальных труб. При этом распространение получили теплоустойчивые хромомолибденовые стали. Работа паропровода происходит при температуре более 510 °С и давлении пара порядка 26 МПа. В значительном количестве на тепловых и энергетических агрегатах эксплуатируются паропроводы, срок службы которых составляет 100...200

тысяч часов и превышает установленный при строительстве ресурс. При этом самым слабым с точки зрения образования дефектов и деградации металла являются места выполнения сварных стыков труб [31]. Присутствующая в сварном шве структурная и химическая неоднородность способствует ускорению процессов усталостного разрушения металла. Срок службы трубопровода значительно сокращается из-за присутствующих в зоне сварного шва малопрочных и хрупких прослоек, наличие которых объясняется металлургической и технологической наследственностью. Длительная эксплуатация паропровода в условиях динамического теплового и силового нагружения вызывает образование и развитие в разупрочнённой прослойке разрушений, таким образом, начальные разрушения металла трубы происходит в зоне металла сварного шва или в зоне термического влияния [15].

Таким образом, следует признать актуальным вопрос обеспечения надёжности сварных соединений при строительстве и ремонте длительно эксплуатируемых паропроводов тепловых электрических станций.

Значительную роль в строительстве и ремонте паропроводов играет дуговая сварка покрытыми электродами [21], [25], [34]. Этот способ сварки имеет ряд преимуществ, связанных с универсальностью оборудования и относительной простотой построения технологического процесса. Однако низкая стабильность качества и значительная зависимость свойств соединений от квалификации сварщика. Самым распространённым дефектом при сварке паропроводов следует указать трещины, возникновение которых наблюдается как в процессе сварки, так и после сварки при эксплуатации паропровода [5], [15], [26].

На основании вышеизложенного можно признать актуальность выбранной темы выпускной квалификационной работы и поставленную цель – повышение эффективности сварки при выполнении ремонта технологических трубопроводов (паропроводов) тепловых электрических станций.

1 Современное состояние ремонтной сварки технологических трубопроводов ТЭЦ

1.1 Особенности конструкции и эксплуатации технологического трубопровода ТЭЦ

Компоновочная схема теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) представлена на рисунке 1 и включает в себя турбину ПТ-60/75-90/13 (обозначена на схеме позицией 1), регенеративный подогреватель (обозначен на схеме позицией 2), питающий насос (обозначен на схеме позицией 3), очиститель от газовый примесей (обозначен на схеме позицией 4).

Также в компоновочную схему ТЭЦ входят распределительное устройство, конвейер подачи топлива, угольный бункер и бункер для угольной пыли, которые обозначены соответственно позициями 5, 6, 7 и 8. В механизмы питания также входят шаровой измельчитель (обозначен на схеме позицией 9), сепаратор (обозначен на схеме позицией 10) и циклон (обозначен на схеме позицией 11). Для перемещения тяжёлых грузов предназначен мостовой кран, который обозначен на схеме позицией 12. Нагрев воды осуществляется в котле Е-210-140, который обозначен на схеме позицией 13.

Помимо перечисленного в компоновочную схему ТЭЦ входят дутьевой вентилятор (обозначен на схеме позицией 14), электрофильтр (обозначен на схеме позицией 15), дымоотсос (обозначен на схеме позицией 16), распределительное устройство электрофильтров (обозначено на схеме позицией 17). В систему подачи воды также входят конденсационный насос и сетевой насос, которые обозначены на схеме соответственно позициями 18 и 19. В схеме предусмотрен сетевой подогреватель (обозначен позицией 20) и дымовая труба (обозначена на схеме позицией 21).

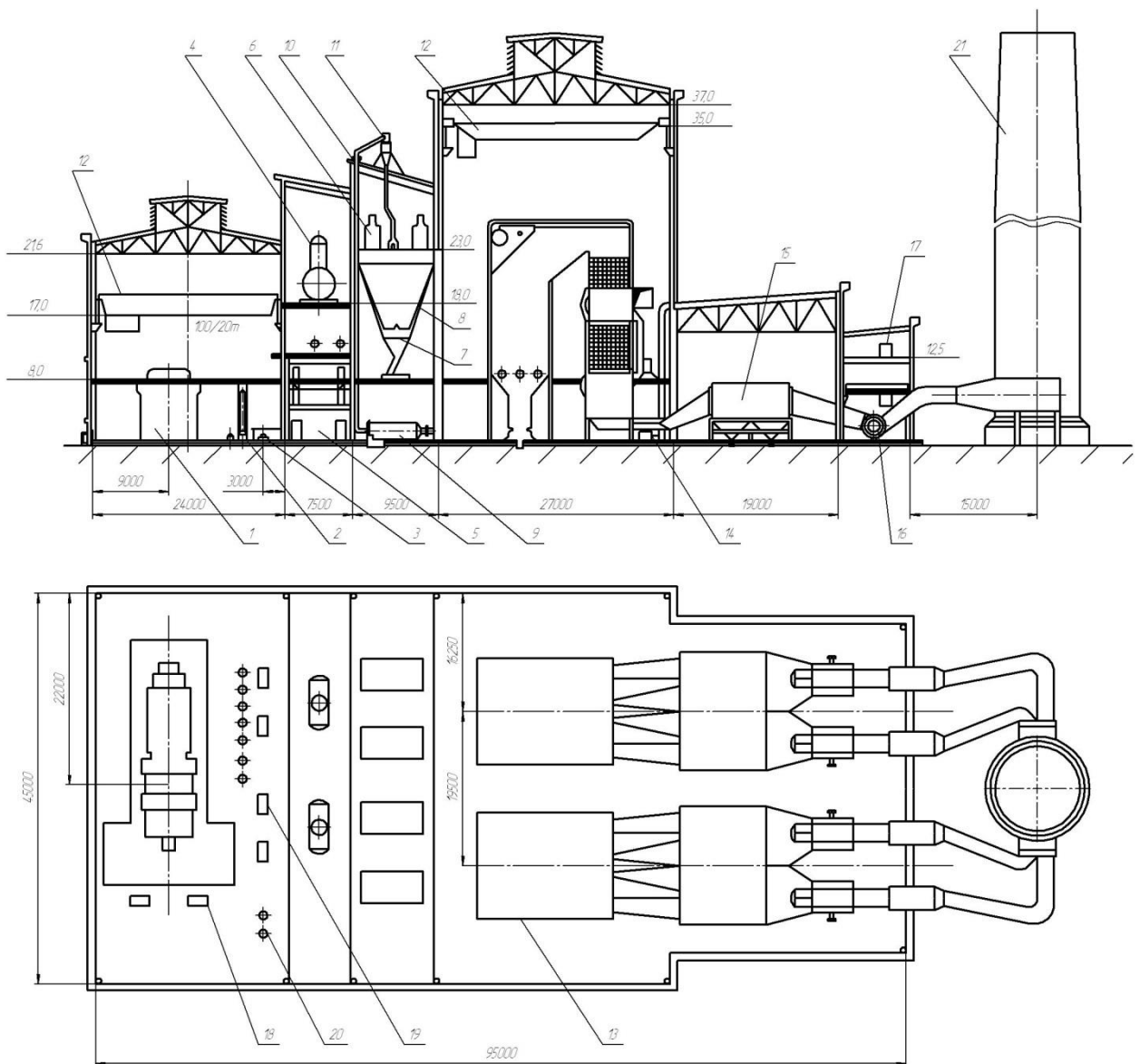


Рисунок 1 – Компоновочная схема ТЭЦ

Одним из основных элементов является паропровод, который выполнен из труб с соединительными элементами. Такими соединительными элементами являются колена, тройники, фланцы и отводы. Также в состав паропровода входит запорная и регулирующая арматура, представленная клапанами и задвижками. Паропровод снабжается тепловой изоляцией, системой подвеса и крепления, компенсаторами теплового удлинения, опорами.

На рисунке 2 представлена тепловая схема подключения турбины, в которую помимо паропровода входит значительное количество элементов.

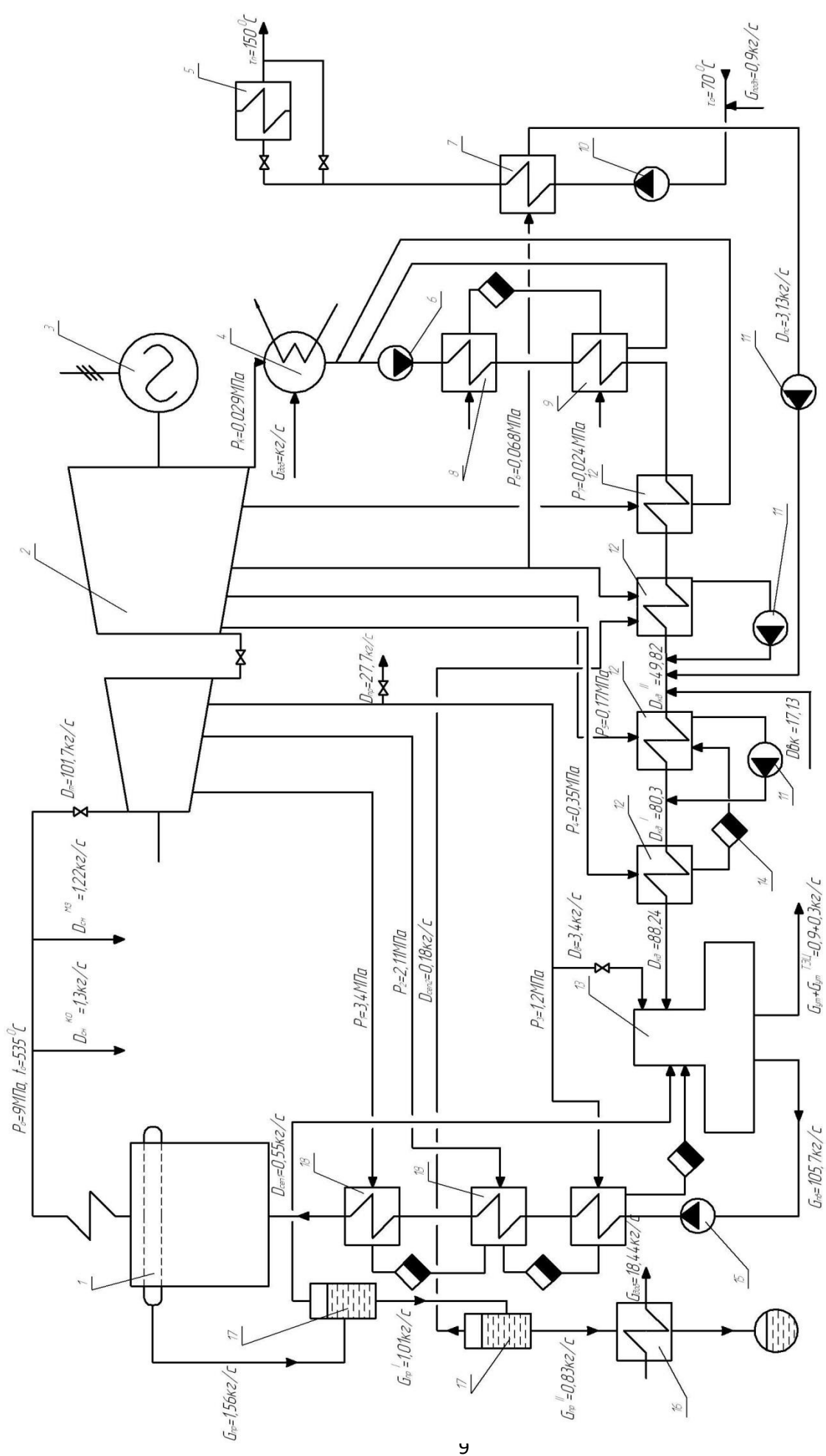


Рисунок 2 – Тепловая схема подключения турбины

В число элементов тепловой схемы входят парогенератор (обозначен на схеме позицией 1), сама тепловая турбина (обозначена на схеме позицией 2), электрический генератор (обозначен на схеме позицией 3), конденсатор турбины (обозначен на схеме позицией 4), пиковый водогрейный котёл (обозначен на схеме позицией 5). Помимо этих элементов в схему входят конденсационный насос (обозначен на схеме позицией 6), сетевой подогреватель (обозначен на схеме позицией 7), эжекторный подогреватель (обозначен на схеме позицией 8) и сальниковый подогреватель (обозначен на схеме позицией 9). В схеме предусмотрено три насоса – сетевой, питательный и конденсатный, которые обозначены соответственно позициями 10, 11 и 15. Также в настоящей схеме предусмотрена установка подогревателя низкого давления, который обозначен позицией 12, подогревателя высокого давления, который обозначен позицией 18, подогревателя очищенной воды, который обозначен позицией 16. Также в схему включены сепаратор 17 и деаэратор 13.

Подача перегретого пара и насыщенного пара выполняется по паропроводам, ведущим от котла к турбине. Для изготовления такого паропровода применяются трубы сечением 377×50 мм.

Подведение перегретого пара к вспомогательным механизмам производится через вспомогательный паропровод перегретого пара, для которого применены трубы 377×50 мм.

Подача вспомогательного насыщенного пара от коллекторов паровых котлов к вспомогательным механизмам выполняется по вспомогательному паропроводу насыщенного пара. Для его строительства использованы трубы сечением 273×36 мм.

Давление свежего пара перед стопорным клапаном составляет 130 атмосфер. Температура свежего пара перед стопорным клапаном составляет 565 °С.

1.2 Сведения о химическом составе стали для изготовления паропровода ТЭЦ

Для изготовления паропроводов применяются бесшовные трубы из стали 15X1M1Ф. Содержание химических элементов в стали 15X1M1Ф представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в стали 15X1M1Ф [8], [30]

	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	P	S
Основной металл	0,13	0,26	0,77	1,26	0,99	2,60	0,021	0,020
Сварной шов	0,01	0,27	1,13	1,04	0,61	0,16	0,024	0,022

Эта сталь относится к низколегированным жаропрочным сталям и нашла применение для изделий, которые работают в условиях высокого давления и температуре эксплуатации до 585 °С.

Легирующими элементами в стали выступают хром, молибден и ванадий. Хрома обеспечивает высокую жаростойкость стали, что проявляется в сопротивлении процессу окисления при повышенных температурах. При температурах эксплуатации до 450 °С хром способен предотвращать графитизацию. Также хром предотвращает графитизацию при выполнении сварочных работ.

Молибден совместно с хромом повышают длительную прочность и сопротивление ползучести. Также молибден при сварке стали образует упрочняющий интерметаллид Fe_2Mo , который получил название «фаза Лавеса».

Ванадий позволяет повысить её прочность за счёт образования карбидов. Кроме того, ванадий обеспечивает равномерное распределение интерметаллидов по объёму металла сварного шва.

1.3 Трудности сварки и их устранение

При сварке стали 15Х1М1Ф приходится устранять сопровождающие трудности, к которым относят [28]: разупрочнение околошовной зоны, охрупчивание и образование холодных трещин.

Образование холодных трещин происходит по причине формирования при сварке неустойчивых структур. При этом опасными с точки зрения образования холодных трещин являются участки околошовной зоны, которые были нагреты до температуры выше 785 °С. Образованию холодных трещин способствует высокая жёсткость конструкции, которая получается вследствие значительной толщины свариваемых труб паропровода. Для того, чтобы устранить опасность образования холодных трещин, необходимо применять сопутствующий подогрев. Вследствие снижения разности температур металла в зоне сварки уменьшается уровень остаточных напряжений. Также подогрев снижает скорость охлаждения металла, что препятствует превращению аустенита в мартенсит и образованию в стали остаточных напряжений. Ещё одним средством борьбы с образованием холодных трещин является выдержка сварных соединений в течение нескольких часов при температуре 150...200 °С. Также следует учитывать отрицательное влияние водорода, который способствует образованию холодных трещин. При сварке необходимо применять материалы с низким содержанием водорода.

Охрупчивание стали 15Х1М1Ф при сварке происходит по причине образования в ней закалочных структур: мартенсит, тростит и бейнит, что происходит при высокой скорости охлаждения.

Разупрочнение стали 15Х1М1Ф происходит в околошовной зоне в результате высокотемпературного отпуска и неполной перекристаллизации. Отрицательное действие разупрочнения проявляется при длительной работе в условиях повышенных температур. Происходит снижение длительной прочности сварного соединения, величина которого зависит от структуры

стали и термического цикла при сварке. Повышение погонной энергии при сварке вызывает увеличение степени разупрочнения. Образующаяся при этом мягкая прослойка становится причиной локальных разрушений при эксплуатации, что особенно ярко проявляется при изгибающих нагрузках.

Для того, чтобы устранить разупрочнение металла околошовной зоны, следует провести высокотемпературную термическую обработку сварного соединения, которая позволяет получить полную перекристаллизацию металла. При этом необходимо применение специальных сварочных материалов с высоким содержанием легирующих элементов и углерода, что повышает отзывчивость металла сварного шва термической обработке.

При проведении термической обработки соединений необходимо считаться с опасностью разупрочнения прилегающих к месту обработки участков основного металла.

1.4 Особенности усталостного разрушения паропроводов

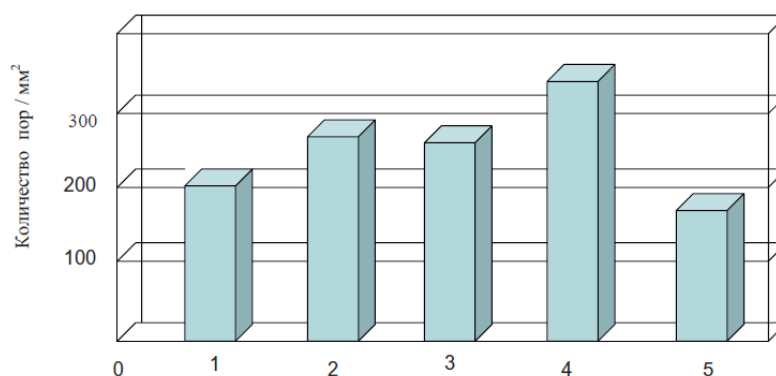
Оценку повреждаемости стали в ходе продолжительной эксплуатации в условиях теплового и силового нагружения выполняли с применением таких критериев, как наличие трещин с критической длиной. Критической длиной трещины считается такая длина, которая вызывает их катастрофическое увеличение и разрушение трубопровода [7], [13], [18], [19].

Выполнялась оценка стационарных и циклических напряжений и теплового воздействия в процессе зарождения и развития микроповреждений на образцах из стали 15X1M1Ф. Для того, чтобы учесть взаимное влияние ползучести и усталости при изучении повреждаемости, применяли принцип линейного суммирования ресурса сварных соединений, который предложен в работе [29].

Для изучения повреждаемости порами было вырезано 10 образцов из паропровода свежего пара, который выполнялся из стали 15X1M1Ф. Эти находились в эксплуатации более 200 тыс. часов. Также были вырезано 9

образцов из паропровода, который находился в эксплуатации более 250 тыс. часов.

Установлено, что на паропроводах, проработавших более 200 тыс. часов, наиболее интенсивное зарождение пор происходит на участке сварного шва, который в процессе сварки подвергался нагреву в области температур $A_{c1} \dots A_{c3}$. В основном металле и на участках зоны термического влияния, которая нагревалась до других температур, образование и развитие пор происходит менее интенсивно, что показано на рисунке 3. Удлиненные зерна в металле сварного шва приводят к повышению скорости развития пор и впоследствии зарождения усталостной трещины, что показано на рисунке 4.



1 – область металла шва; 2 – участок сплавления; 3 – участок перегрева; 4 – участок неполной перекристаллизации; 5 – основной металл

Рисунок 3 – Распределение плотности пор размером 0,5 ...1,5 мкм в сварных соединениях. Ресурс 250000-270000 ч [12]

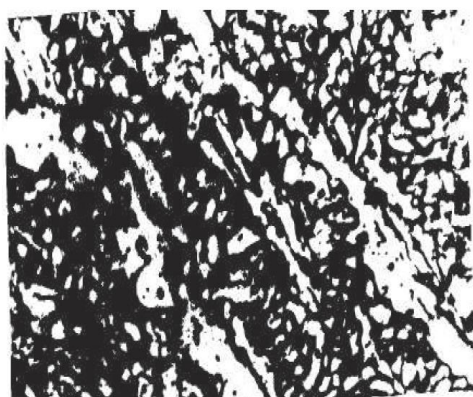


Рисунок 4 – Структура металла шва сварных соединений из стали 15X1M1Ф, изготовленных по штатной технологии

В работе [2] показано, что температурное нагружение и циклические напряжения повышают склонность металла к образованию усталостного растрескивания. При этом высока роль концентраторов напряжений, в качестве которых выступают конструктивные особенности стыка и сварочные дефекты. В числе конструктивных особенностей стыка следует выделить остающиеся подкладные кольца, места изменения толщины металла труб, тройниковые соединения. В числе сварочных дефектов следует выделить непровары, шлаковые включения и кристаллизационные трещины. При этом развитие усталостных трещин в металле трубы происходит по механизму термомеханической усталости и коррозионной усталости металла. Значительное количество повреждений наблюдается на внутреннем участке стыка, как показано на рисунке 5.

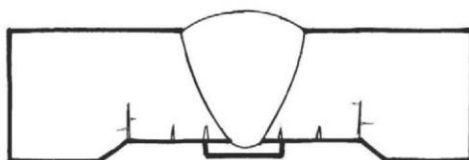


Рисунок 5 – Усталостные трещины, образующиеся в сварных соединениях паропроводов: на участке сплавления; на участке перегрева; на участке перекристаллизации; на сопряжении разнотолщинных элементов

Особенности повреждаемости сварных соединений зависят от преобладания одного из механизмов – ползучести или усталости. Это в свою очередь определяется условиями, в которых происходит эксплуатация рассматриваемого участка паропровода.

В условиях повышенных температур и напряжений, а также при увеличенном количестве циклов «пуск-остановка» наблюдается преобладание механизма усталости.

В условиях работы паропровода, которые регламентированы нормативной документацией и малом количестве циклов «пуск-остановка» нагрузки на паропровод приближены к стационарным, поэтому наблюдается преобладание механизма ползучести.

Известно, что структурный фактор, обеспечиваемый технологией сварки, играет существенную роль в повреждаемости и последующей разрушаемости сварных соединений паропроводов свежего пара и горячего промперегрева энергоблоков 300 и 800 МВт. На массиве данных 30 разрушившихся, после 180000 часов эксплуатации, сварных соединений паропроводов установили, что повреждаемость (усредненный %) происходит:

- по участку неполной перекристаллизации зоны термического влияния (ЗТВ), 60 %;
- по участку перегрева – 8 %;
- по участку сплавления – 12 %;
- по наплавленному металлу – 20 %.

Под действием циклических напряжений происходит образование трещин в местах концентрации напряжений, как это показано на рисунке 6. Развитие трещин происходит в основном на внутренней поверхности трубы. В образовании и развитии такой трещины значительное участие принимают коррозионные процессы, поэтому трещину следует рассматривать как коррозионно-усталостную.

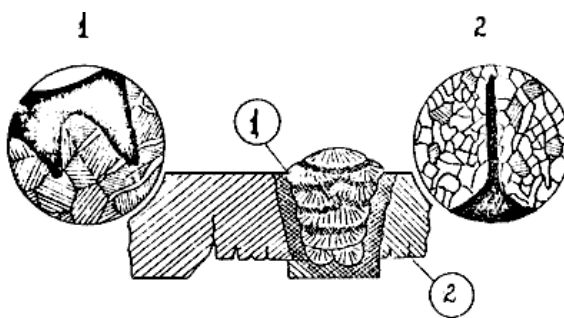


Рисунок 6 – Образование усталостных трещин: в виде полости (1) и нитевидной (2)

При длительной статической перегрузке возможно образование трещин, представленных на рисунке 7. Такие трещины располагаются на участке разупрочнения в ЗТВ, но могут возникать и в металле сварного шва.

При расположении в ЗТВ трещина проходит на расстоянии 2...4 мм от линии сплавления.

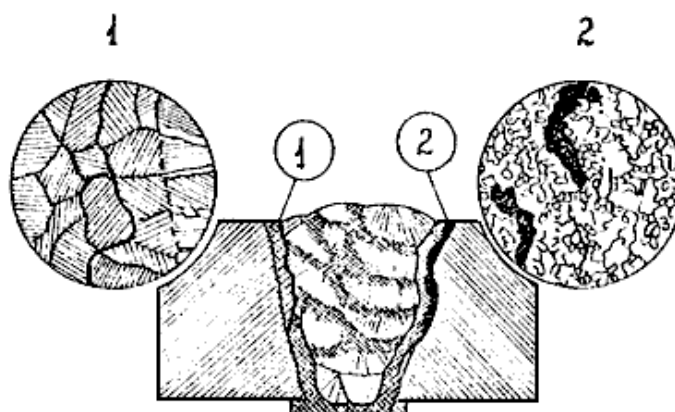


Рисунок 7 – Трещины в результате длительной статической перегрузки

При ударном нагружении паропровода возможно образование трещин, представленных на рисунке 8. Развитие трещины происходит в основном с внутренней поверхности трубы, трещина переходит из сварного шва в основной металл, образует многочисленные ответвления.



Рисунок 8 – Трещины, обусловленные действием ударных нагрузок

Следует отметить, что повреждаемость по металлу шва после 190 тыс. часов эксплуатации имеет тенденцию к более интенсивному увеличению, чем на других участках сварных соединений. Представленные данные могут несколько отличаться от данных Ф А. Хромченко, которые были приведены в работе [32], что можно объяснить приведенным учетом наработки сварных соединений.

1.5 Базовая технология ремонтной сварки паропровода

При выборе способа ремонта следует учитывать особенности повреждения и возможные негативные последствия при дальнейшей эксплуатации.

Первый способ ремонта паропровода предусматривает удаление повреждённого участка, при этом место выборки не подваривают. Такое устранение дефекта возможно при условии, что повреждение получило развитие снаружи сварного шва, а внутренние слои не были затронуты. При этом необходимо, чтобы толщина участка после выборки дефектного места была не меньше, чем минимально допустимая толщина трубы.

Второй способ ремонта паропровода предусматривает выборку и подварку с проведением термической обработки. Этот способ применяется в случае, когда трещина в металле развилась с наружной стороны сварного соединения. При этом протяжённость выборки не должна превышать $1/3$ периметра трубы, а толщина оставшегося после выборки металла должна быть не менее 50 % толщины стенки трубы.

При исправлении дефекта по третьей технологии выполняют вырезку патрубка, установку нового патрубка, его сварку и термическую обработку места сварки. Эту технику применяют в случае обнаружения в сварном соединении трещин, развившихся с внутренней стороны стыка.

Поскольку длительная работа паропровода приводит образованию трещин с внутренней стороны труб, ремонт проводят по третьему способу с применением полной переварке сварного соединения.

Операции процесса ремонтной переварки участка паропровода представлены на рисунке 9.

Предварительно следует определить длину вырезаемого патрубка, которая принимается согласно таблице 2. Кроме того, длина патрубка не должна быть менее удвоенного квадратного корня от произведения диаметра трубы на стенку трубы. Для рассматриваемых труб длина патрубка 274 мм.

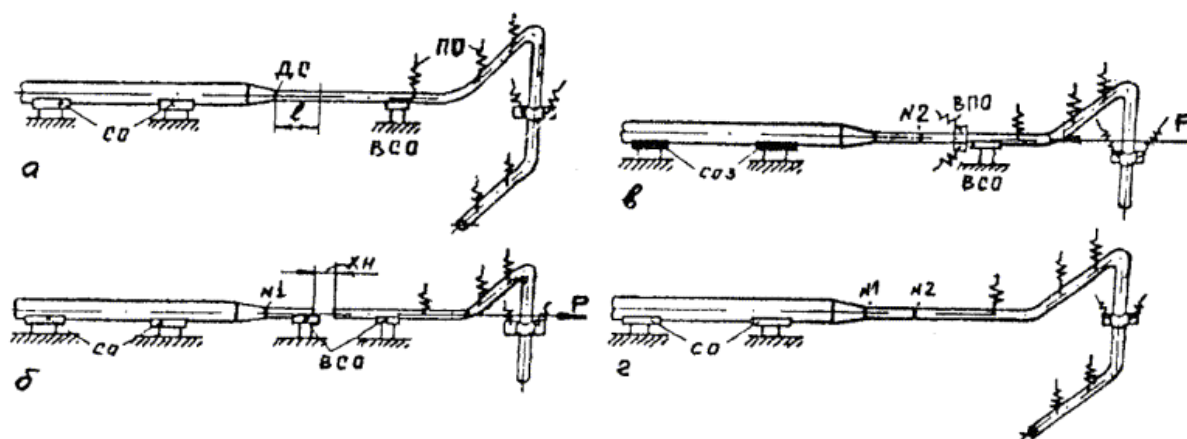


Рисунок 9 – Последовательность действий при переварке участка паропровода: вырезка патрубка (а), размещение патрубка-вставки (б), сборка и сварка стыка (в), приведение паропровода в исходное состояние (г)

Таблица 2 – Определение длины вырезаемого патрубка в зависимости от толщины стенки трубы

Толщина стенки S, мм	менее 15	15...30	30...36	более 36
Длина патрубка l, мм	100	2S+25	175	4S+30

После подготовки патрубка на подвижном участке паропровода размещают временную скользящую опору (ВСО), в качестве которой может быть применён швеллер, после чего дефектное место вырезают. Схема выполнения операции представлена на рисунке 9-а.

Далее под патрубок-вставку помещают вторую временную скользящую опору (ВСО). При установке подвижный участок паропровода с усилием Р смещают в сторону, получая зазор по величине, равный холодному натягу (XН). Далее выполняют сварку стыка № 1. Схема выполнения операции представлена на рисунке 9-б.

Далее убирают временную скользящую опору под патрубком в районе стыка № 1. Защемляют скользящие опоры паропровода, получая скользящие опоры с заземлением (СОЗ). В районе стыка № 2 устанавливают временную пружинную опору (ВПО) и смещают подвижную часть паропровода в сторону стыка № 2 с усилием Р. После этого выполняют сварку стыка № 2. Схема выполнения операции представлена на рисунке 9-в.

После этого паропровод приводят в исходное рабочее положение.

При подготовке труб необходимо проверить их кривизну, которая не должна превышать 4 мм на погонный метр. Суммарный прогиб должен быть менее 15 мм. Для резки труб применяется механический труборез 2Т-377 и 2Т-299М. Необходимо обеспечить перпендикулярность торцов стыкуемых трубы и патрубка. На рисунке 10 представлена схема проверки перпендикулярности и требования по перпендикулярности. Отклонение от перпендикулярности должно составлять не более 2 мм.

При помощи механических средств выполняют подготовку кромок, геометрия которых представлена на рисунке 11. Тип соединения С4 по ОСТ 108.940.02-82. Необходимо зачистить прилегающие к кромкам поверхности труб до металлического блеска. Для подготовки торцов привлекаются слесари-трубопроводчики, работающие под руководством мастера по сварке, который определяет и контролирует соответствие стыка требованиям нормативной документации. На рисунке 12 представлены требования к состоянию поверхности стыкуемых труб.

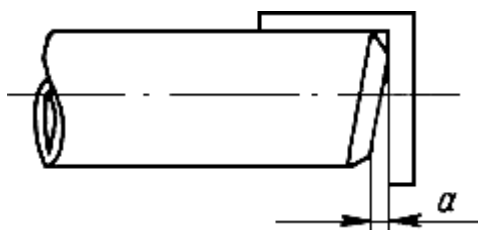


Рисунок 10 – Проверка перпендикулярности торцов патрубка и основной трубы

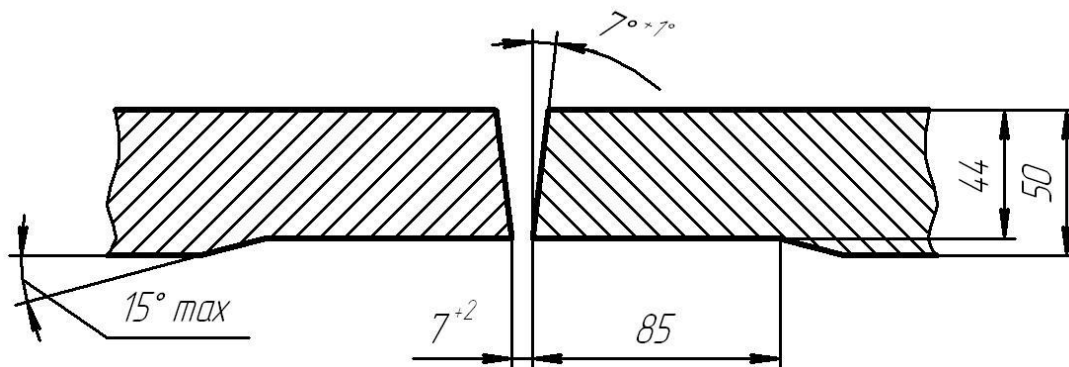


Рисунок 11 – Подготовка под сварку труб диаметром 377 мм толщиной стенки 50 мм С4 по ОСТ 108.940.02-82

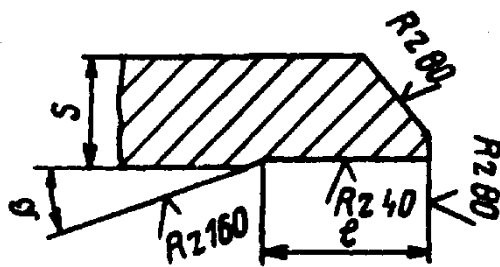


Рисунок 12 – Требования к состоянию поверхности стыкуемых труб

При обнаружении на поверхности стыкуемых труб неровностей, которые могут воспрепятствовать сборке под сварку, необходимо удалить эти неровности с применением напильника или абразивного круга. При этом следует обеспечить отсутствие резких переходов и острых углов.

Перед тем, как выполнить сборку патрубка и трубы необходимо провести зачистку поверхности, которая прилегает к торцам до металлического блеска. Ширина участка, на котором выполняют зачистку, составляет 20 мм с наружной стороны труб и 10 мм с внутренней стороны труб.

В случае применения остающегося подкладного кольца разность внутренних диаметров стыкуемых элементов должна составлять не более 2 мм. Величина зазора между внутренней поверхностью элемента и подкладным кольцом должна составлять не более 1 мм.

В месте стыка проверяют прямолинейность с применением металлической линейки длиной 400 мм, как показано на рисунке 13. Просвет между внешней поверхностью элемента и концом линейки не должен превышать 1,5 мм.

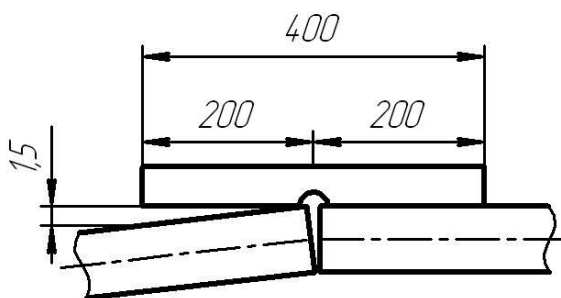


Рисунок 13 – Проверка прямолинейности стыка элементов перед сваркой

Не допускается проведение сборки с натягом, сборка должна обеспечивать свободную усадку металла при кристаллизации. Перед выполнением заварки стыка сварщик проверяет качество сборки стыка.

При применении остающегося подкладного кольца прихватку кольца выполняет сварщик, которому предстоит сваривать данный стык. При этом сварщик должен иметь удостоверение на право проведения работ. При прихватке подкладного кольца недопустим его перекос.

При сборке и сварке стыка с применением остающегося подкладного кольца соблюдается такая последовательность действий. «В трубу заводится подкладное кольцо, при этом зазор между внутренней поверхностью трубы и подкладным кольцом не должен превышать 1 мм. Кольцо заводится внутрь трубы на 1/3 высоты кольца. Выполняют предварительный подогрев конца трубы и подкладного кольца. Далее прихватывают в двух местах с наружной стороны кольцо к трубе, после чего выполняют ниточный шов с катетом не более 4 мм, как показано на рисунке 14-а. После выполнения ниточного шва кольца и первой трубы проводят очистку от шлака и брызг. После этого на выступающую часть подкладного кольца одевают вторую трубу таким образом, чтобы между ниточным швом и торцом второй трубы оставался зазор 4...5 мм» [6]. После предварительного подогрева стыка выполняют приварку кольца ко второй трубе, как показано на рисунке 14-б.

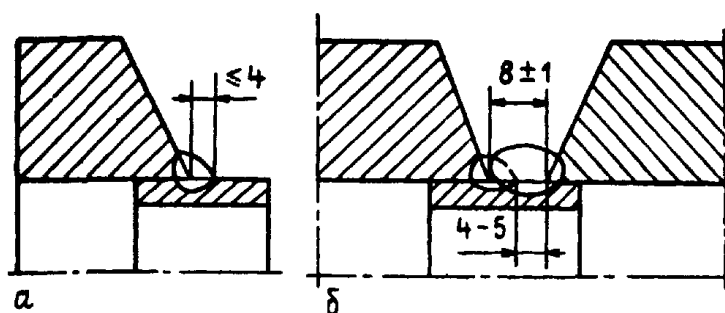


Рисунок 14 – Схема приварки подкладного кольца

Для подогрева применяются газопламенные резаки или пушки, позволяющие выполнять нагрев равномерно по периметру стыка. При этом ширина зоны нагрева составляет 150 мм или по 75 мм в каждую сторону от

стыка. Контроль температуры нагрева выполняют контактными термометрами ТК-5 в двух точках, которые располагаются по периметру стыка диаметрально противоположно друг другу. При подогреве вертикального стыка точки должны располагаться сверху и внизу стыкуемых труб. Температура предварительного подогрева составляет 300...350 °С.

Сварку ведут электродами ТМЛ-1У диаметром 3 мм. Сварочный ток устанавливается 90...110 А для нижнего положения, 110...130 А для потолочного и вертикального положения. Напряжение на дуге составляет 18...23 В. В качестве источника сварочного тока применяется выпрямитель ВДУ-506.

Сварку выполняют короткой дугой, длина которой не должна превышать одного диаметра электрода. При выполнении сварки следует препятствовать обрыву дуги, в случае гашения дуги кратер следует заплавлять, при этом место окончания сварки должно быть выведено на 15...20 мм на ранее наплавленный металл. Последующее зажигание дуги следует выполнять на расстоянии 20...25 мм от кратера.

При выполнении сварки вблизи кромок труб необходимо, чтобы наплаваемый валик был максимальной плоскости, что позволяет избежать образования шлаковых включений.

Техника сварки должна обеспечивать полную заварку кратеров и провар корневого слоя шва. После того, как валик был наплавлен, следует дождаться его остывания (определяется по потемнению шлака) и полностью очищать валик от шлака. Каждый валик необходимо подвергнуть визуальному контролю на предмет обнаружения недопустимых дефектов, к которым относят скопления пор, трещины и шлаковые включения. Следует удалить механическим способом дефектное место и заварить его вновь. При последовательном наложении валиков сварного шва их перекрытие должно составлять 12...18 мм.

При выполнении горизонтального стыка высота валиков составляет 4...6 мм при толщине 8...14 мм. При выполнении вертикального стыка толщина валика составляет 5...8 мм при ширине шва не более 35 мм.

На рисунке 15 представлена схема наложения слоёв при сварке вертикального неповоротного стыка. Сварку первых трёх слоёв выполняют обратно-ступенчатым способом при длине каждого участка 200...250 мм. При сварке последующих слоёв длина участков составляет половины окружности стыка.

После выполнения сварки стыка проводят простановку на нём клейма сварщика, которое необходимо проставлять на самом сварном шве вблизи верхнего замка. Для простановки клейма сварщика подготавливается площадка размером 20×20 мм, которую при помощи абразивного круга или напильника зачищают. Также допускается простановка клейма сварщика на поверхности трубы на расстоянии 30...40 мм от сварного шва.

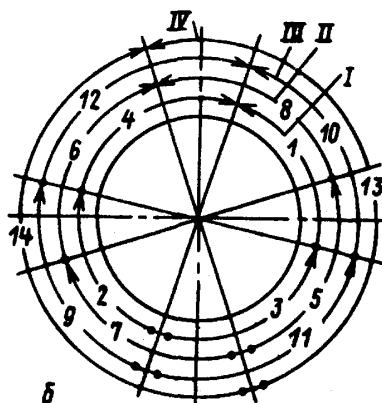


Рисунок 15 - Схема наложения слоёв при сварке вертикального неповоротного стыка

Термическую обработку сварного шва проводят после сварки с нагревом до температуры 700...730 °С. Длительность выдержки в нагретом состоянии устанавливается в пределах 2 часа для стенки толщиной 36 мм и 3 часа для стенки толщиной 50 мм. При положительной температуре окружающего воздуха остывание после термической обработки проводят под слоем изоляции до температуры 300 °С. В противном случае остывание под слоем изоляции проводят до температуры окружающего воздуха.

Для обеспечения качества сварки проводят следующие виды контроля: визуально-измерительный, ультразвуковой, стилокопирование, замер твердости.

Визуально-измерительный контроль проводят в объеме 100%. При его проведении следует провести очистку сварного шва и прилегающей поверхности на ширину 20 мм в обе стороны, удаляя окалину, шлак и брызги расплавленного металла. При проведении контроля может применяться лупа с увеличением 4...7 крат, которая используется при уточнении параметров обнаруживаемого дефекта.

На рисунке 16 представлен форма сварного шва С4 согласно ОСТ 108.940.02-82, которой должен соответствовать сварной шов. Сварной шов должен иметь равномерную чешуйчатость и гладкую поверхность. Сопряжение наплавленного металла с основным металлом должно быть плавным. Недопустимыми дефектами являются непровары, трещины, наплывы, прожоги.

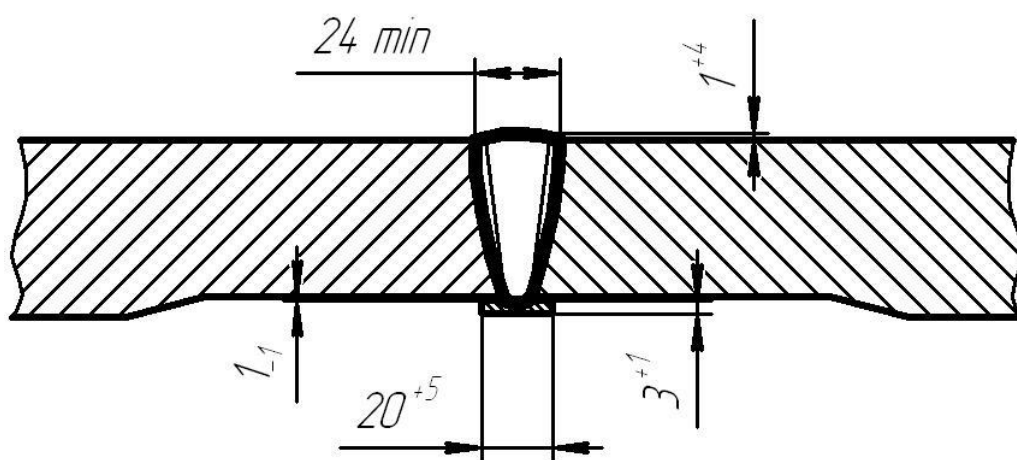


Рисунок 16 – Геометрия сварного шва С4 по ОСТ 108.940.02-82

Стилокопирование проводят на 100 % стыков. При этом площадка должна быть очищена до металлического блеска, стилокопирование проводят на одном участке для каждого сварного стыка. Проверяется содержание хрома, молибдена и ванадия в наплавленном металле. При неудовлетворительном результате проводят дополнительную проверку спектральным или химическим анализом.

1.6 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

В настоящей работе преследуется цель – повышение эффективности сварки при выполнении ремонта технологических трубопроводов (паропроводов) тепловых электрических станций.

Анализ базовой технологии позволяет установить множественные недостатки, устранение которых, позволит повысить производительность и качество выполнения сварочных работ.

Таким образом, могут быть сформулированы задачи выпускной квалификационной работы.

Первой задачей является обоснование выбора способа сварки на основании анализа преимуществ и недостатков альтернативных способов. В ходе проведения экспертной оценки способов сварки построение проектной технологии предложено проводить с использованием способов сварки, позволяющих обеспечить механизацию выполнения операций.

Второй задачей является построение проектного технологического процесса ремонтной сварки. Необходимо составить перечень операций технологического процесса, назначить параметры режима, выбрать оборудование и сформулированы требования к выполнению операций.

Третьей и четвертой задачами является анализ предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений на предмет экологической безопасности и обеспечения безопасности труда [3], [6] и экономической эффективности внедрения проектной технологии в производство, что позволит сделать вывод о достижении поставленной цели [16], [17].

2 Разработка проектной технологии ремонтной сварки технологического трубопровода ТЭЦ

2.1 Обоснование выбора способа сварки

Обоснование выбора способа сварки применительно к рассматриваемой конструкции выполним по методике, описанной в работе [28], которая предусматривает проведение нескольких этапов.

На первом этапе следует выделить все способы сварки, которые обеспечивают надёжную защиту металла В низколегированной стали 15X1M1Ф содержится незначительное количество элементов, которые имеют высокое сродство кислороду, поэтому сталь может считаться с малой химической активностью. Для сварки такой стали могут быть применены практически все дуговые способы.

На втором этапе следует выделить способы сварки, применение которых целесообразно для рассматриваемых толщин. В работе исследуется технология сварки паропроводов с толщиной стенки 37 мм и 50 мм.

На третьем этапе необходимо учесть конфигурацию сварных швов, их протяжённость и пространственное положение. Рассматриваемый паропровод содержит сварные стыки, которые могут быть как вертикальными, так и горизонтальными.

На четвёртом этапе следует рассмотреть применение возможности применения механизированных способов сварки и автоматических способов сварки.

Применительно к рассматриваемому изделию следует обратить внимание на следующие способы сварки:

- ручная дуговая сварка покрытыми электродами,
- механизированная сварка проволокой сплошного сечения в защитных газах,
- механизированная сварка порошковой самозащитной проволокой;

– сварка неплавящимся электродом в инертных газах.

Самым универсальным способом следует признать ручную дуговую сварку, схема выполнения которой представлена на рисунке 17. Этот способ сварки продолжает играть существенную роль при выполнении конструкций различного назначения. Широкое применение ручной дуговой сварки объясняется высокой универсальностью способа и гибкостью технологического процесса.



Рисунок 17 – Схема выполнения ручной дуговой сварки

В настоящее время доля соединений, получаемых с применением ручной дуговой сварки, неуклонно снижается, а сама ручная дуговая сварка уступает место более производительным и перспективным процессам. Это объясняется большим количеством недостатков, устранение которых при существующем уровне развития техники и технологий неосуществимо.

Первым недостатком является малая производительность ручной дуговой сварки, которая не может быть повышена за счёт форсирования режимов или применения новых сварочных электродов. Вторым недостатком является вредность условий труда сварщика, которому приходится работать в атмосфере сварочного аэрозоля и излучения от дуги. Третьим недостатком следует указать увеличение расхода сварочных материалов из-за затрат на огарки, кроме того, необходимость прерывания горения дуги при смене электрода приводит к снижению производительности и качества сварки.

Четвёртым недостатком является малая стабильность качества сварки, имеющая прямую зависимость от квалификации сварщика.

Некоторые повышение технологических возможностей ручной дуговой сварки при выполнении стыков на паропроводе возможно за счёт применения специальных электродов [22], специальной техники сварки [4] или импульсного управления сварочной дугой [10].

При применении механизированной сварки проволокой сплошного сечения в защитных газах, схема которой представлена на рисунке 18, достигается существенное повышение производительности по сравнению с ручной дуговой сваркой. При сварке в углекислом газе расплавленный металл обладает повышенной вязкостью, что упрощает удержание сварочной ванны при выполнении вертикальных и потолочных швов [23], [24].



Рисунок 18 – Схема выполнения механизированной сварки в защитных газах

Недостатками сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения следует признать интенсивное разбрызгивание. Также повышенная вязкость расплавленного металла может стать причиной образования горячих трещин. Кроме того, низкая текучесть расплавленного металла может стать причиной образования дефектов при выполнении корневого слоя шва. Повышение технологических свойств сварки возможно за счёт импульсного управления [23] или применении дополнительной присадочной проволоки [14], [20].

При сварке порошковыми проволоками удаётся получить сочетание положительных качеств ручной дуговой сварки и механизированной сварки в защитных газах [27], [33]. Схема выполнения сварки самозащитными порошковыми проволоками представлена на рисунке 19.

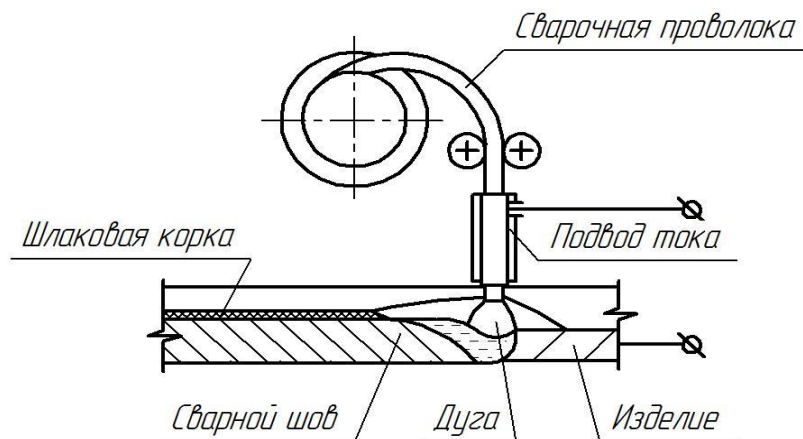


Рисунок 19 – Схема выполнения сварки самозащитной порошковой проволокой

Для сварки самозащитной проволокой характерно неравномерное плавление оболочки проволоки и порошкового наполнителя. Это приводит к осыпанию нерасплавленного флюса в сварочную ванну, что становится причиной образования пор и шлаковых включений. Также необходимо отметить, что из-за повышенной текучести расплавленного металла усложняется формирование корневого слоя шва и повышается вероятность образования наплывов. Кроме того, порошковая проволока обладает большей мягкостью, чем проволока сплошного сечения, поэтому часто застревает в подающем механизме из-за заломов.

На рисунке 20 представлена схема выполнения сварки аргонодуговой неплавящимся электродом. Этот способ сварки широко применяется в составе комбинированной сварки, когда с применением аргонодуговой сварки неплавящимся электродом выполняются прихватки и коневой слой шва, а заполнение разделки выполняется с применением ручной дуговой сварки.

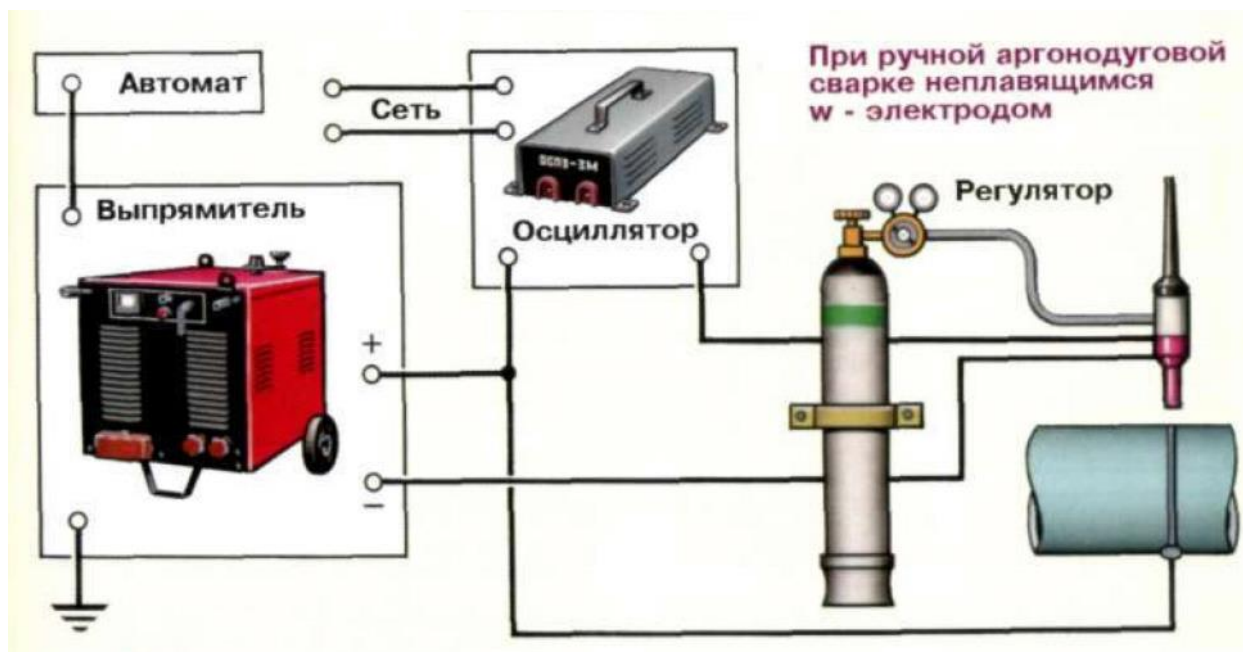


Рисунок 20 – Схема выполнения сварки неплавящимся электродом в аргоне

В числе преимуществ аргонодуговой сварки неплавящимся электродом следует указать, во-первых, высокую стабильность качества соединений. Также существует возможность сварки металлов с особыми свойствами за счёт регулирования состава наплавленного металла. Сварка неплавящимся электродом характеризуется условиями труда, намного лучшими, чем ручная дуговая сварка.

В числе недостатков аргонодуговой сварки неплавящимся электродом следует указать высокую стоимость защитного газа, в качестве которого применяется аргон или ещё более дорогой гелий. Также требуется высокая квалификация сварщика, стоимость оборудования намного выше, чем для других рассмотренных способов сварки, а производительность ниже. Кроме того, при применении аргонодуговой сварки неплавящимся электродом повышаются требования к точности сборки.

На основании вышеизложенного принято решение построение проектной технологии выполнять с использованием механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения. Для повышения эффективности сварки применим разработки исследователей-сварщиков [1]

2.2 Обоснование выбора сварочных материалов

При построении проектной технологии сварки одной из главных задач является правильный выбор сварочных материалов, в качестве которых при механизированной сварке выступают сварочная проволока сплошного сечения и защитный газ.

При правильном выборе сварочной проволоки обеспечивается благоприятный химический состав металла сварного шва и эксплуатационные свойства соединений. При выборе сварочной проволоки необходимо принимать во внимание условия эксплуатации рассматриваемой конструкции, которые характеризуются повышенными температурами и давлением рабочей среды, также знакопеременное нагружение вследствие теплового расширения металла паропровода и возможные ударные нагрузки при пуске и аварийной остановке работы паропровода. Также следует принимать во внимание химический состав основного металла труб.

С учётом условий эксплуатации и материала свариваемых труб в качестве сварочной проволоки применим Св-08ХМФА согласно ГОСТ 2246. В состав проволоки входит углерод в количестве 0,06...0,1 %. В качестве легирующих компонентов выступают хром, взятый в количестве 0,9...1,2 %, молибден, взятый в количестве 0,5...0,7 % и ванадий в количестве 0,15...0,3 %. Помимо этих элементов в проволоке присутствуют кремний в количестве 0,12...0,3 % и марганец в количестве 0,35...0,6 %. Типовой химический состав проволоки Св-08ХМФА представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Химический состав, % электродной и присадочной проволок марки Св-08ХМФА [14]

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	S	P
0,09	0,20	0,45	1,0	0,15	0,60	0,25	0,020	0,020

На основании работ [14] и [25] в качестве защитного газа применим смесь из углекислого газа и аргона в соотношении 75 % + 25 %.

2.3 Обоснование конструкции сварного соединения

За счёт применения импульсно технологии при управлении горением сварочной дуги обеспечивается получение положительных технических эффектов.

Во-первых, существенно уменьшаются потери металла на угар и разбрызгивание, кроме того, устранение разбрызгивания позволяет существенно улучшить качество сварки, улучшить внешний вид изделий и повысить производительность.

Во-вторых, при сварке в различных положениях повышается стабильность горения дуги и качество выполнения сварных швов.

В-третьих, существенно повышается качество сварных швов в узкую разделку и при выполнении корневого слоя шва, улучшается проплавливающая способность дуги.

В четвёртых, протекание металлургических процессов при кристаллизации сварного шва носит более благоприятный характер, что повышает эксплуатационные свойства сварных соединений.

Таким образом, при ремонтной сварке на паропроводах становится возможным обосновать отказ от использования остающегося подкладного кольца. Для сварки за основу можно принять соединение Тр-3 согласно РТМ-1, которое представлено на рисунке 21.

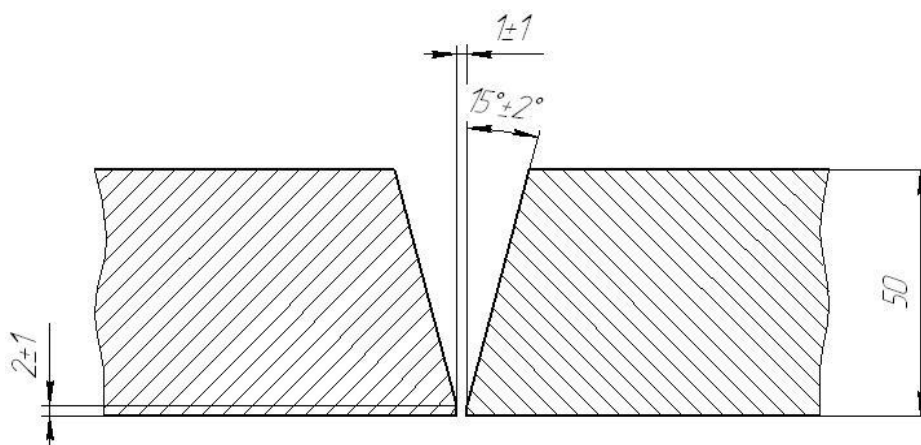


Рисунок 21 – Геометрия подготовленного стыка при сборке труб диаметром 377 мм толщиной стенки 50 мм Тр-3 (РТМ-1с)

Особенности заполнения раздели зависят от пространственного положения стыка труб. Порядок наложения валиков при выполнении вертикального стыка представлен на рисунке 22. Порядок наложения валиков при выполнении горизонтального стыка представлен на рисунке 23.

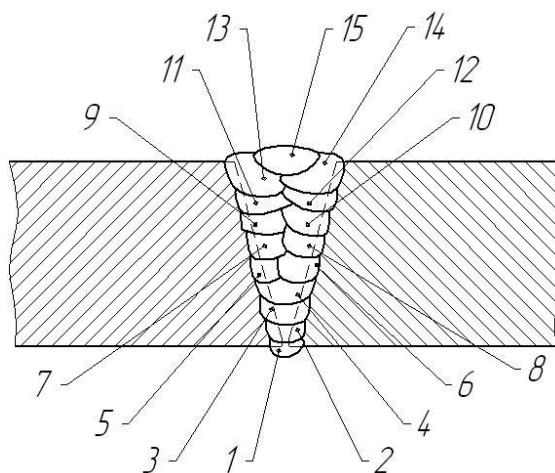


Рисунок 22 – Порядок наложения валиков при выполнении вертикального стыка

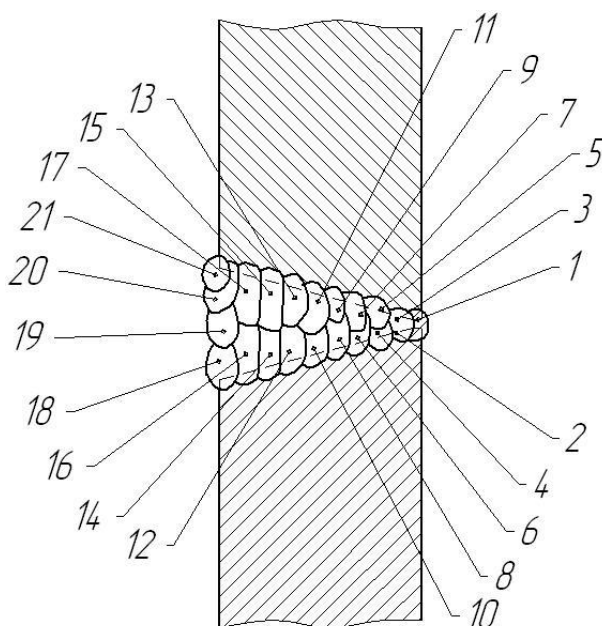


Рисунок 23 – Порядок наложения валиков при выполнении вертикального стыка

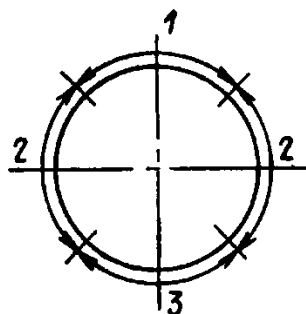
Повышение технических возможностей способа позволило отказаться от использования остающегося подкладного кольца и выполнять сварку в узкую разделку.

2.4 Назначение параметров режима сварки

Высота слоя или валика должна составлять 5...6 мм. Слои или валики должны располагаться приблизительно как показано на рисунках 22 и 23 в зависимости от пространственного положения.

При сварке вертикального неповоротного стыка значения параметров режима следует выбирать в зависимости от пространственного положения согласно рисунка 24 и таблицы 4.

При сварке горизонтальных стыков параметры режима следует выбирать в зависимости от номера валика согласно данным таблицы 5.



1 — нижнее, 2 — вертикальное, 3 — потолочное положения сварки

Рисунок 24 – Схема расположения участков шва при сварке в углекислом газе вертикального неповоротного стыка

Таблица 4 – Параметры режима сварки вертикальных неповоротных стыков

№ валика	Напряжение дуги, В	Ток, А
1	19-20	120-140
2, нижнее	20-22	140-180
2, вертикальное	19-20	120-140
все потолочные	19-20	120-140
остальные	20-22	140-180

Таблица 5– Параметры режима сварки горизонтальных неповоротных стыков

№ валика	Напряжение дуги, В	Ток, А
1, 2	22-23	140-160
остальные	24-25	180-200

При сварке принимается диаметр проволоки 1,2 мм. Расход защитного газа оставляет 900...1200 л/час.

2.5 Описание операций и применяемого оборудования

При подготовке труб необходимо проверить их кривизну, которая не должна превышать 4 мм на погонный метр. Суммарный прогиб должен быть менее 15 мм. Для резки труб применяется механический труборез 2Т-377 и 2Т-299М. Внешний вид труборезов представлен на рисунке 25.



Рисунок 25 – Труборезы труборез 2Т-377 и 2Т-299М

Необходимо обеспечить перпендикулярность торцев стыкуемых трубы и патрубка. На рисунке 10 представлена схема проверки перпендикулярности и требования по перпендикулярности. Отклонение от перпендикулярности должно составлять не более 2 мм.

При помощи механических средств выполняют подготовку кромок, геометрия которых представлена на рисунке 21. Тип соединения Тр3 по РТМ-1. Необходимо зачистить прилегающие к кромкам поверхности труб до металлического блеска. Для подготовки торцев привлекаются слесари-трубопроводчики, работающие под руководством мастера по сварке, который определяет и контролирует соответствие стыка требованиям нормативной документации. На рисунке 12 представлены требования к состоянию поверхности стыкуемых труб.

При обнаружении на поверхности стыкуемых труб неровностей, которые могут воспрепятствовать сборке под сварку, необходимо удалить эти неровности с применением напильника или абразивного круга. При этом следует обеспечить отсутствие резких переходов и острых углов.

Перед тем, как выполнить сборку патрубка и трубы необходимо провести зачистку поверхности, которая прилегает к торцам до металлического блеска. Ширина участка, на котором выполняют зачистку, составляет 20 мм с наружной стороны труб и 10 мм с внутренней стороны труб.

В месте стыка проверяют прямолинейность с применением металлической линейки длиной 400 мм, как показано на рисунке 26. Просвет между внешней поверхностью элемента и концом линейки не должен превышать 1,5 мм.

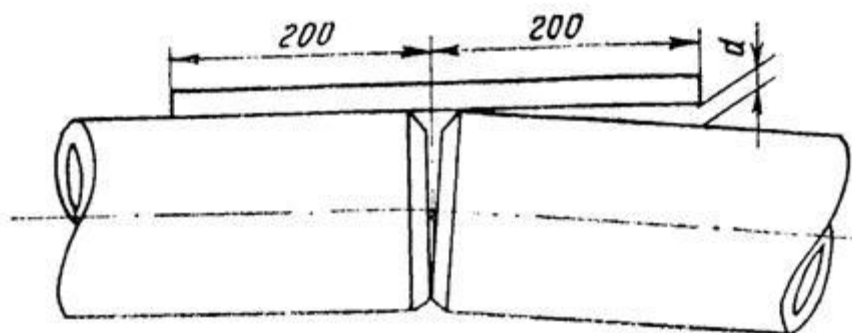


Рисунок 26 – Проверка прямолинейности стыка элементов перед сваркой

Не допускается проведение сборки с натягом, сборка должна обеспечивать свободную усадку металла при кристаллизации. Перед выполнением заварки стыка сварщик проверяет качество сборки стыка.

Предварительный подогрев и термическую обработку стыка выполняем применением установки индукционного нагрева производства «Унитех», которая представлена на рисунке 27.

В качестве источника питания для индукционного нагрева применим сварочный трансформатор ТДМ-501, который представлен на рисунке 28.

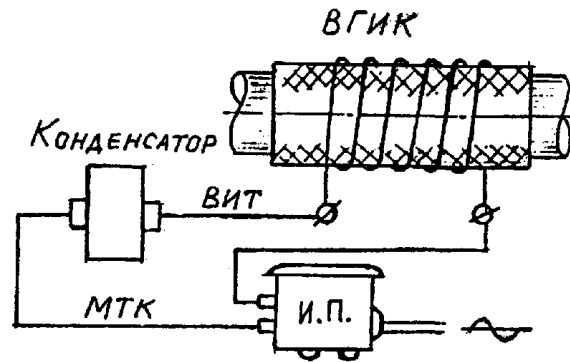


Рисунок 27 – Установка индукционного нагрева стыков труб



Рисунок 28 – Сварочный трансформатор ТДМ-501

Ширина зоны нагрева составляет 150 мм или по 75 мм в каждую сторону от стыка. Контроль температуры нагрева выполняют контактными термометрами ТК-5 в двух точках, которые располагаются по периметру стыка диаметрально противоположно друг другу. При подогреве вертикального стыка точки должны располагаться вверху и внизу стыкуемых труб. Температура предварительного подогрева составляет 300...350 °С.

Термическую обработку сварного шва проводят после сварки с нагревом до температуры 700...730 °С. Длительность выдержки в нагретом состоянии устанавливается в пределах 2 часа для стенки толщиной 36 мм и 3 часа для стенки толщиной 50 мм. При положительной температуре окружающего воздуха остывание после термической обработки проводят под слоем изоляции до температуры 300 °С. В противном случае остывание под слоем изоляции проводят до температуры окружающего воздуха.

При контроле качества выполняют 100% визуальный осмотр сварных швов, проверяя отсутствие брака зачистки, правильность сборки и наличие внешних дефектов сварного шва. При визуальном осмотре не допускается наличие таких дефектов, как непровары в корне шва, подрезы глубиной более 2 мм, поверхностные поры диаметром более 2 мм, наплывы, вогнутость шва. Сварной шов должен иметь плавный переход к основному металлу. Для проведения визуального контроля применяется набор, который представлен на рисунке 29 и включает в себя: металлические линейки, штангенциркуль с глубиномером, универсальный шаблон сварщика, набор луп, фонарик, инструкцию РД 03-606-03, металлический угольник, щупы и радиусные шаблоны, маркер по металлу.

Для измерения твёрдости сварного шва применяют твердомер ТЭМП-3, который представлен на рисунке 30. На каждом сварном шве должно быть подготовлено не менее трех участков в разных местах по периметру стыка и на каждом участке должно быть проведено не менее трех измерений. Допустимые значения твёрдости металла шва 135...230 НВ. В противном случае проводят повторную термическую обработку стыка.



Рисунок 29 – Набор для проведения визуального контроля

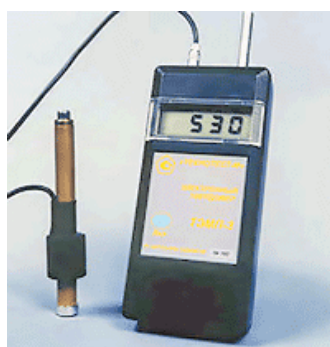
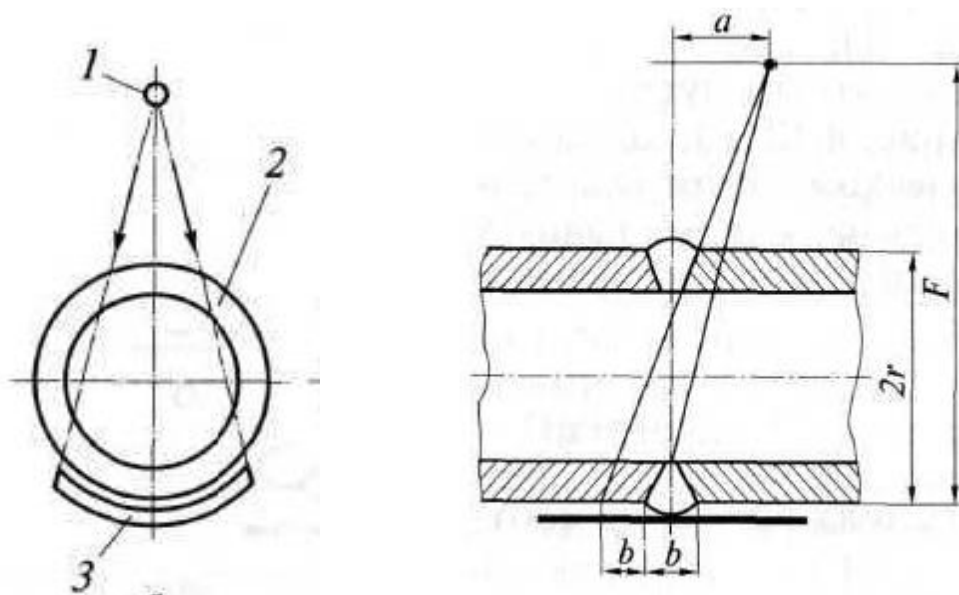


Рисунок 30 – Твердомер ТЭМП-3

Для проведения рентгеновского контроля применяется аппарата АРИОН-600, который представлен на рисунке 31. Схема просвечивания стыка представлена на рисунке 32.



Рисунок 31 – Рентгеновский аппарат АРИОН-600



1 – источник излучения, 2 – контролируемый участок, 3 – кассета с плёнкой

Рисунок 32 – Схема радиографии стыка труб через две стенки

При проведении рентгеновского контроля не допускаются одиночные неметаллические включения размером более 5 мм, трещины всех видов и направлений, непровары.

Выводы по второму разделу

В ходе выполнения настоящего раздела выпускной квалификационной работы решались задачи, поставленные в первом разделе.

Первой задачей является обоснование выбора способа сварки на основании анализа преимуществ и недостатков альтернативных способов. Построение проектной технологии предложено проводить с использованием механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения.

Второй задачей является построение проектного технологического процесса ремонтной сварки. Составлен перечень операций технологического процесса, назначены параметры режима, выбрано оборудование и сформулированы требования к выполнению операций.

Дальнейшее выполнение выпускной квалификационной работы предусматривает разработку оценочного блока [12] в котором предстоит оценить экологичность предложенных в работе решений и дать оценку на предмет обеспечения безопасности труда [3], [6].

Также при выполнении оценочного блока предстоит оценить возможный экономический эффект при внедрении предлагаемых решений в производство [16], [17].

3 Обеспечение безопасности и экологичности предлагаемых технических решений

3.1 Конструктивно-технологическая характеристика рассматриваемого объекта

При выполнении настоящей выпускной квалификационной работы рассматривался вопрос сварки технологических трубопроводов ТЭЦ. Анализ состояния вопроса позволил обосновать выбор способа сварки, в качестве которого для построения проектной технологии предлагается применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения с импульсным управлением горением сварочной дугой.

Проектная технология предусматривает выполнение операций, особенности которых представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Технологический паспорт технического объекта

Наименование технологической операции в	Привлекаемый для выполнения операции персонал	Перечень применяемого на операции технологического оборудования
Входной контроль	Дефектоскопист	Набор измерительных инструментов
Подготовка кромок	Слесарь-сборщик	Труборез, шлифовальная машина, кромкорез
Сборка	Слесарь-сборщик	Центратор, набор измерительных инструментов
Подогрев	Термист	Сварочный трансформатор, кабели для индукционного нагрева, термопары
Прихватка	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	Сварочный выпрямитель, полуавтомат, газовая аппаратура
Сварка	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	Сварочный выпрямитель, полуавтомат, газовая аппаратура
Термическая обработка	Термист	Сварочный трансформатор, кабели для индукционного нагрева, термопары
Контроль качества	Дефектоскопист	Набор ВИК, дефектоскоп

Применение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технических решений повлекло за собой изменение технологического процесса сборки и сварки. В свою очередь это может привести к возникновению новых опасных производственных факторов. Защита от этих факторов должна быть выполнена в настоящем разделе выпускной квалификационной работы.

Представленные в таблице 6 особенности выполнения операций технологического процесса позволят в дальнейшем идентифицировать опасные производственные факторы и предложить методы защиты от них.

3.2 Идентификация профессиональных и производственных рисков

Применяемое для выполнения проектного технологического процесса оборудование становится источником негативных производственных факторов, которые могут привести как к резкому отрицательному улучшению состояния персонала, так и нарушению здоровья вследствие кумулятивного эффекта. Такими источниками опасных и вредных производственных факторов являются: кромкострогательный станок, шлифовальная машина, центратор, индукционный подогреватель, источник питания, механизм подачи проволоки, газовая аппаратура, набор визуального контроля и дефектоскоп. В таблице 7 представлены результаты идентификации возникающих профессиональных рисков.

В ходе оценки выделено семь негативных производственных факторов: острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования, движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования, повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны, повышенное значение напряжения в электрической цепи, повышенная температура поверхностей, инфракрасное излучение, ультрафиолетовое излучение.

Таблица 7 – Выявление и анализ источников возникновения производственных рисков

Наименование технологической операции	Формулировка вредного или опасного фактора, который возникает в процессе выполнения данной операции технологического процесса
Входной контроль	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;
Подготовка кромок	- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;
Сборка	- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны
Подогрев	- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги
Прихватка	- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;
Сварка	- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение
Термическая обработка	- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги
Контроль качества	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны

Дальнейшие работы в этом направлении предусматривают обоснование выбора стандартных методик и технических средств. В крайнем случае, необходимо будет предусмотреть разработку специализированных методик.

3.3 Методики и технические средства для устранения профессиональных рисков

Ранее выполненная идентификация профессиональных рисков, представленная в таблице 7, позволяет выработать решения по обеспечению безопасности производственного процесса, которые представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Предлагаемые методики и технические средства для обеспечения производственной безопасности

Формулировка вредного или опасного фактора, который возникает в процессе выполнения данной операции технологического процесса	Перечень организационных мероприятий и технических средств, обеспечивающих устранение вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты
1) острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования	1) организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности 2) оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки, защитные очки
2) движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования	1) оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками 2) устройства защитного отключения привода станков 3) ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений	Специальная одежда, перчатки, защитные очки
3) повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	Индивидуальные средства защиты дыхательных путей
4) повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	1) контроль изоляции и заземления 2) организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности 3) защитное заземление, защитное отключение	Специальная одежда, перчатки, резиновые коврики
5) повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	1) организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности 2) оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
6) инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	1) ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений 2) защитные экраны	Специальная одежда, перчатки, защитные маски
7) ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений	1) ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений 2) защитные экраны	Специальная одежда, перчатки, защитные маски

Для индивидуальной защиты жизни и здоровья рабочих предлагается оснастить их средствами индивидуальной защиты. В качестве средств индивидуальной защиты используются: специальная одежда, перчатки, защитные очки, маски, резиновые коврики и средства защиты органов дыхания. Представленные в таблице 8 технические средства и мероприятия позволяют устранить негативные производственные факторы и обеспечить требуемую безопасность персонала.

3.4 Пожарная безопасность рассматриваемого технологического объекта

В процессе осуществления проектного технологического процесса кроме возникновения негативных производственных факторов существует опасность возникновения пожара. При этом необходимо принимать во внимание, что сварочные и наплавочные работы являются источником высокой температуры и излучения. Для защиты предприятия от возможного возникновения пожара следует идентифицировать опасные факторы возможного пожара на рассматриваемом производственном участке, что показано в таблице 9.

Таблица 9 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Наименование участка	Участок, на котором осуществляется сварка
Наименование оборудования	кромкострогательный станок, индукционный подогреватель, источник питания, газовая аппаратура, дефектоскоп
Классификация по виду горящего вещества	Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Наименование основных опасных факторов пожара	Резкое повышение температуры на участке и вокруг него; выделение при горении токсичных продуктов и угарного газа; выделение аэрозолей, снижающих видимость на участке и вокруг него.
Наименование вторичных опасных факторов пожара	Короткие замыкания на оборудовании, запитанном высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения

На основании данных таблицы 9 возможный пожар, который может произойти на рассматриваемом производственном участке, относится к классу «Е», который предполагает горение материалов и веществ при наличии опасного напряжения.

Основными негативными факторами возможного пожара являются тепловой поток, разлетающиеся искры, повышенная температура воздуха, открытое пламя, токсические продукты термического разложения и горения, плохая видимость вследствие задымления, снижение концентрации кислорода в воздухе. Также следует указать на наличие сопутствующих отрицательных проявлений пожара, к которым относят нарушение целостности изоляции и порчу электрического оборудования, отравление персонала используемыми при тушении химическими веществами, порчу оборудования используемыми при тушении химическими веществами. В таблице 10 приведены технические средства по устранению этих факторов.

Таблица 10 – Технические средства, обеспечивающие устранение опасных факторов при пожаре

Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.
Мобильные средства пожаротушения	Специализированные расчеты (вызываются)
Стационарные установки системы пожаротушения	Нет необходимости
Средства пожарной автоматики	Установки пожарной сигнализации, пожарного оповещения
Пожарное оборудование	Пожарный кран
Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	План эвакуации
Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Ведро конусное, лом, лопата штыковая
Пожарные сигнализация, связь и оповещение	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели

Предложенные в настоящем разделе технические средства и мероприятия позволяют максимально снизить риск возникновения пожара и своевременно устранить негативные факторы при его возникновении.

3.5 Вопросы обеспечения экологической безопасности

При выполнении операций проектного технологического процесса возникает негативное антропогенное действие на окружающую среду. Следование мировой экологической повестки заставляет современное предприятие проводить мероприятия по обеспечению экологической безопасности производственных процессов. При этом следует обеспечить защиты основных элементов нашего ареала обитания: атмосферы, гидросферы и литосферы.

Особое внимание следует уделить организации селективного сбора мусора, который в значительных количествах накапливается на производственных участках. Раздельный сбор отходов позволяет выполнять эффективный рециклинг, что не только уменьшает нагрузку на окружающую среду, но и позволяет получать значительный экономический эффект за счёт экономии ресурсов.

Предлагаемые средства для защиты от антропогенного воздействия представлены в таблице 11 и включают в себя набор стандартных методик и технических средств.

Таблица 11 – Предложенные мероприятия по уменьшению антропогенного действия на окружающую среду при реализации проектной технологии

Наименование технического объекта	Производственный участок сборки и сварки с установленным на нём технологическим оборудованием
За счёт чего снижается антропогенное действие на атмосферу	«Применение специальных фильтров, устанавливаемых в вентиляционную систему цеха, которые позволяют собирать и утилизировать выделяющиеся при работе технологического оборудования вредные вещества» [3]
За счёт чего снижается антропогенное действие на гидросферу	«Контролировать утечки машинного масла из гидравлической системы технологического оборудования, в случае возникновения таких утечек их следует незамедлительно устранять» [3]
За счёт чего снижается антропогенное действие на литосферу	«На производственном участке необходимо выполнить установку ёмкостей, которые позволяют провести селективный сбор получаемых при выполнении технологического процесса отходов. Проведение инструктажа персонала о необходимости соблюдения мер по сбору мусора» [3]

Таким образом, предложенные мероприятия позволяют уменьшить антропогенное воздействие на окружающую среду.

Выполнение операций проектного технологического процесса, который был представлен в исполнительском разделе настоящей выпускной квалификационной работы, приводит к возникновению негативных производственных факторов и негативных экологических факторов.

Выполненная идентификация этих негативных факторов позволила предложить стандартные методики и технические средства для защиты персонала и окружающей среды.

4 Экономическое обоснование предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений

4.1 Анализ исходной информации по базовой и проектной технологиям

При выполнении настоящей выпускной квалификационной работы рассматривался вопрос сварки технологических трубопроводов ТЭЦ. Анализ состояния вопроса позволил обосновать выбор способа сварки, в качестве которого для построения проектной технологии предлагается применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения с импульсным управлением горением сварочной дугой.

В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается случай ремонтной сварки технологического трубопровода ТЭЦ из труб сечением 273×36 мм. Проектная технология ремонтной сварки технологического трубопровода условно может быть разделена на восемь операций. Первая операция проектного технологического процесса – входной контроль, который выполняется с применением комплекта измерительного оборудования (угольник, штангенциркуль, металлическая линейка и универсальный шаблон сварщика). Вторая операция проектного технологического процесса – подготовка кромок, которая выполняется с применением трубореза, шлифовальной машины и кромокреза. Третья операция проектного технологического процесса – сборка, которая выполняется с применением центриатора и измерительного оборудования. Четвёртая операция проектного технологического процесса – предварительный подогрев, который выполняется с применением сварочного трансформатора, контактных термометров и комплекта для индукционного подогрева. Пятая и шестая операции проектного технологического процесса – прихватка и сварка, которые выполняются с применением сварочного выпрямителя, механизма подачи проволоки, газовой аппаратуры,

шлифовальной машины. Седьмая операция проектного технологического процесса – термическая обработка, которая выполняется с применением сварочного трансформатора, контактных термометров и комплекта для индукционного подогрева. Восьмая операция проектного технологического процесса – контроль качества, который выполняется с применением набора визуально-измерительного контроля, твердомера и рентгеновского аппарата.

В таблице 12 представлены исходные данные для проведения экономических расчётов по рассматриваемым вариантам технологии сборки и сварки с учётом рыночной стоимости используемого оборудования и вспомогательных затрат.

Таблица 12 – Исходные данные для проведения экономических расчётов по рассматриваемым вариантам технологии

Экономический показатель	Принятое в расчётной формуле буквенное обозначение показателя	Единица измерения экономического показателя	Значение экономического показателя применительно к базовой и проектной технологиям	
			Базовая технология	Проектная технология
1	2	3	4	5
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	2	2
Разряд работников	P_p	-	V	V
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	200	200
Коэффициент доплат	$K_{доп}$	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	K_d	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,03	1,03
Стоимость оборудования	$Ц_{об}$	руб.	250 тыс.	430 тыс.
Норма амортизации оборудования	K_a	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	20	30
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
Стоимость электрической энергии	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	3,4	3,4
Коэффициент полезного действия	$K_{пд}$	-	0,7	0,85
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5

Продолжение таблицы 11

1	2	3	4	5
Стоимость эксплуатации площадей	Сэксп	(Р/м ²)/год	2000	2000
Площадь под оборудование	S	м ²	20	20
Цена производственных площадей	Ц _{пл}	Р/м ²	30000	30000
Норма амортизации площади	На.пл.	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	К _{пл}	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	Ен	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	Кцех	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [16]	Кзав	-	1,15	1,15

За счёт того что при выполнении операций проектного технологического процесса предусмотрено применение прогрессивных технологий, приходится считаться с дополнительными финансовыми и трудовыми затратами. При этом необходимо выполнить экономическое обоснование предлагаемых решений, от реализации которых в производстве экономический эффект должен быть положительным.

Следует рассчитать капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии, себестоимость изготовления продукции и на основании этого оценить целесообразность внедрения предлагаемых решений с использованием показателей экономической эффективности.

В качестве критериев оценки эффективности проектной технологии выступают повышение производительности труда, снижение трудоёмкости выполнения операций, снижение технологической себестоимости, условно-годовая экономия и годовой экономический эффект.

Дальнейшие расчёты с использованием представленных выше данных предполагают оценку затрат на осуществление технологического процесса по проектному и базовому вариантам.

4.2 Оценка фонда времени работы оборудования

При выполнении операций проектного технологического процесса и базового технологического процесса происходит работа оборудования в течение заданного времени. Величина заработной платы и вспомогательных затрат рассчитываются с учётом фонда времени работы оборудования, который следует рассчитать по исходным данным, представленным выше. Также следует принимать во внимание, что время работы оборудования позволяет рассчитать амортизационные отчисления и затраты на производственные площади. В проектом технологическом процессе и базовом технологическом процессе предусматривается выполнение операций в течение одинакового количества смен. Поэтому годовой фонд времени для проектного технологического процесса по отношению к годовому фонду времени базового технологического процесса не изменится.

Количество рабочих дней для одного года принимаем равным $D_p=277$, при этом продолжительность рабочей смены составляет $T_{см}=8$ часов. Также следует принимать во внимание уменьшение рабочей смены на величину $T_{п}=1$ час в предпраздничные дни, количество которых для одного календарного года составляет $D_{п}=7$ дней. Для количества рабочих смен $K_{см}=2$ рассчитываем годовой фонд времени:

$$F_H = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см} . \quad (1)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $F_H = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209$ часов. Значение эффективного фона рабочего времени следует вычислить с учётом задаваемых потерь рабочего времени $B=7\%$:

$$F_3 = F_H(1 - B/100). \quad (2)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $F_3 = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054$ часов.

4.3 Оценка штучного времени при выполнении операций проектного и базового вариантов технологии

Величину штучного времени, которое будет затрачиваться на выполнение операций проектного технологического процесса и базового технологического процесса, рассчитываем с учётом нормирования труда по выполняемым операциям согласно технологической карте. Штучное время $t_{шт}$ включает в себя затраты времени на выполнение основных операций проектного и базового технологического процессов (машинное время $t_{маш}$), подготовительных и вспомогательных операций (вспомогательное время $t_{всп}$), личный отдых (время отдыха $t_{отд}$), подготовительно-заключительное время $t_{п-з}$ и времени на мелкий ремонт и обслуживание оборудования (время обслуживания $t_{обсл}$):

$$t_{шт} = t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отд} + t_{п-з} . \quad (3)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $t_{шт.баз} = 5 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 6,3$ часа и $t_{шт.проектн.} = 3 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 3,8$ часа.

Размер годовой программы $\Pi_{г}$ рассчитывается с учётом рассчитанных выше штучного времени для проектного и базового вариантов технологии, а также с учётом ранее определённого годового фонда времени работы оборудования:

$$\Pi_{г} = F_{г} / t_{шт} . \quad (4)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $\Pi_{г.баз.} = 2054 / 6,3 = 326$ ремонтных стыков для базового технологического процесса и $\Pi_{г.пр.} = 2054 / 3,8 = 540$ ремонтных стыков для проектного технологического процесса. На основании анализа потребности отрасли в рассматриваемом оборудовании принимаем размер годовой программы для проектного варианта технологии и базового варианта технологии $\Pi_{г} = 300$ ремонтных стыков в год.

Требуемое количество технологического оборудования определяем с учётом ранее рассчитанного штучного времени для проектного варианта технологии и базового варианта технологии. При этом следует учесть коэффициент выполнения нормы $K_{вн} = 1,03$. Выполняем расчёт:

$$n_{расч} = t_{шт} \cdot \Pi_{Г} / (F_{э} \cdot K_{вн}). \quad (5)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $n_{расч} = 6,3 \cdot 300 / (2054 \cdot 1,03) = 0,9$ для базового варианта технологического процесса; $n_{расч} = 3,8 \cdot 300 / (2054 \cdot 1,03) = 0,5$ для проектного варианта технологического процесса.

В дальнейшем при выполнении экономических расчётов количество оборудования для выполнения операций базового технологического процесса принимаем $n=1$. Количество оборудования для выполнения операций проектного технологического процесса принимаем $n=1$. На основании этого выполним расчёт коэффициента загрузки оборудования $K_з$ для базового и проектного вариантов технологии:

$$K_з = n_{расч} / n. \quad (6)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $K_з = 0,9/1 = 0,9$ для базового варианта технологического процесса и $K_з = 0,5/1 = 0,5$ для проектного варианта технологического процесса.

Значение величины коэффициента загрузки оборудования $K_з$ для проектного и базового вариантов технологического процесса в дальнейшем понадобятся для расчёта капитальных затрат на построение технологии.

При расчётах следует принимать во внимание, что производительность в проектной технологии по сравнению с базовой технологией значительно увеличилась. Это приводит либо к уменьшению количества применяемого оборудования, либо к уменьшению коэффициента загрузки оборудования. В настоящей выпускной квалификационной работе уменьшается количество коэффициента загрузки оборудования.

4.4 Расчёт заводской себестоимости при осуществлении операций технологического процесса по рассматриваемым вариантам

Выполнение операций проектного технологического процесса и операций базового технологического процесса происходят с применением расходных материалов, затраты на которые рассчитываются в зависимости от коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{ТЗ}$, цены материалов C_M и нормы расходов материалов H_p по формуле:

$$M = C_M \cdot H_p \cdot K_{Т-З} . \quad (7)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $M = (450 \cdot 1,2 + 340) \cdot 1,05 = 924$ рублей для операций базового технологического процесса; для операций проектного технологического процесса: $M = (190 \cdot 1,4 + 110 \cdot 12) \cdot 1,05 = 1665$ рублей.

Применение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технических решений и организационных мероприятий приводит к повышению расходов на сварочные материалы. Это объясняется тем, что базовая технология предусматривает применение ручной дуговой сварки, в качестве материалов которой выступают штучные электроды. Проектная технология сварки предусматривает применение более прогрессивной процесса – механизированной сварки в защитных газах. В качестве сварочных материалов в этом случае выступает сварочная проволока и защитный газ.

Величина основной заработной платы рассчитывается на основании штучного времени $t_{шт}$, часовой тарифной ставки $C_ч$ и коэффициента доплат $K_д$, который для рассматриваемой выпускной квалификационной работы принимается равным $K_д = 1,88$:

$$Z_{осн} = t_{шт} \cdot C_ч \cdot K_д. \quad (8)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $Z_{осн} = 6,3 \cdot 200 \cdot 1,88 = 2368$ рублей для базового

варианта технологического процесса и $Z_{\text{осн}} = 3,8 \cdot 200 \cdot 1,88 = 1428$ рублей для проектного варианта технологического процесса.

Величина дополнительной заработной платы $Z_{\text{доп}}$ рассчитывается в зависимости от рассчитанной выше основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$ и коэффициента доплат $K_{\text{доп}}$, который для рассматриваемой выпускной квалификационной работы принимается равным $K_{\text{доп}} = 12\%$:

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{доп}} / 100. \quad (9)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $Z_{\text{доп}} = 2368 \cdot 12 / 100 = 284$ рублей для операций базового технологического процесса и $Z_{\text{доп}} = 1428 \cdot 12 / 100 = 171$ рублей для операций проектного технологического процесса.

Величина фонда заработной платы ФЗП рассчитывается как сумма основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$ и дополнительной заработной платы $Z_{\text{доп}}$. Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $\text{ФЗП} = 2368 + 284 = 2652$ рублей для операций базового технологического процесса и $\text{ФЗП} = 1428 + 171 = 1599$ рублей для операций проектного технологического процесса.

Отчисления на социальные нужды $O_{\text{сн}}$ рассчитываем с учётом коэффициента отчислений на социальные нужды $K_{\text{сн}}$, который для рассматриваемой выпускной квалификационной работы принимается равным $K_{\text{сн}} = 34\%$:

$$O_{\text{сн}} = \text{ФЗП} \cdot K_{\text{сн}} / 100. \quad (10)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $O_{\text{сн}} = 2652 \cdot 34 / 100 = 901$ рублей для операций базового технологического процесса и $O_{\text{сн}} = 1599 \cdot 34 / 100 = 544$ рублей для операций проектного технологического процесса.

Величину затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$ определяем расчётным путём на основании амортизационных отчислений $A_{\text{об}}$ и затрат на электрическую энергию $P_{\text{э}}$:

$$Z_{\text{об}} = A_{\text{об}} + P_{\text{э}}. \quad (11)$$

При вычислении амортизационных отчислений $A_{об}$ следует учитывать норму амортизации H_a , которая для рассматриваемой выпускной квалификационной работы составляет $H_a = 21,5 \%$. Также в расчёт включено машинное время $t_{маш}$, которое ранее было рассчитано для операций проектной и базовой технологий. В формулу включены также эффективный годовой фонд времени работы оборудования $F_э$ и цена оборудования $Ц_{об}$.

$$A_{об} = \frac{Ц_{об} \cdot H_a \cdot t_{маш}}{F_э \cdot 100}. \quad (12)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $A_{об.} = 250000 \cdot 21,5 \cdot 6,3 / 2054 / 100 = 165$ рублей по базовому варианту технологии, по проектному варианту технологии: $A_{об.} = 430000 \cdot 21,5 \cdot 3,8 / 2054 / 100 = 171$ рублей.

Затраты на электрическую энергию при выполнении операций по проектному технологическому процессу рассчитываются с учётом мощности оборудования $M_{уст}$, КПД оборудования, машинного времени $t_{маш}$ и стоимости электрической энергии для предприятий $Ц_{ээ}$:

$$P_{ээ} = M_{уст} \cdot t_{маш} \cdot Ц_{ээ} / КПД. \quad (13)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $P_{ээ} = 20 \cdot 6,3 \cdot 3,4 / 0,7 = 612$ рублей для базового варианта технологического процесса, $P_{ээ} = 30 \cdot 3,8 \cdot 3,4 / 0,85 = 456$ рублей для проектного технологического процесса.

После подстановки рассчитанных выше значений в формулу (11) вычисляем затраты на оборудование: $Z_{об} = 165 + 612 = 777$ рублей по базовому технологическому процессу и $Z_{об} = 171 + 456 = 627$ рублей по проектному технологическому процессу.

Размер технологической себестоимости $C_{тх}$ определяется исходя из ранее определённых значений затрат на материалы M , отчислений на социальные нужды $O_{сн}$, фонда заработной платы ФЗП, затрат и затрат на оборудование $Z_{об}$:

$$C_{\text{тех}} = M + \PhiЗП + O_{\text{сс}} + З_{\text{об}} . \quad (14)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $C_{\text{тех}} = 924 + 2652 + 901 + 777 = 5254$ рублей для базового варианта технологического процесса, и для проектного технологического процесса $C_{\text{тех}} = 1665 + 1599 + 544 + 627 = 4435$ рублей.

Размер цеховой себестоимости $C_{\text{цех}}$ определяется исходя из ранее определённой технологической себестоимости $C_{\text{тех}}$, коэффициента цеховых расходов $K_{\text{цех}}$ и основной заработной платы $З_{\text{осн}}$:

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{тех}} + З_{\text{осн}} \cdot K_{\text{цех}} . \quad (15)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $C_{\text{цех}} = 5254 + 1,5 \cdot 2368 = 5254 + 3552 = 8806$ рублей для базового технологического процесса и для проектного технологического процесса $C_{\text{цех}} = 4435 + 1,5 \cdot 1428 = 4435 + 2142 = 6577$ рублей.

Размер заводской себестоимости $C_{\text{зав}}$ определяется исходя из ранее определённой цеховой себестоимости $C_{\text{цех}}$, коэффициента заводских расходов и основной заработной платы $З_{\text{осн}}$:

$$C_{\text{зав}} = C_{\text{цех}} + З_{\text{осн}} \cdot K_{\text{зав}} . \quad (16)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $C_{\text{зав}} = 8806 + 1,15 \cdot 2368 = 8806 + 2723 = 11529$ рублей для базового варианта технологии, и для проектного технологического процесса $C_{\text{зав}} = 6577 + 1,15 \cdot 1428 = 6577 + 1642 = 8219$ рублей.

Данные, представленные в таблице 13, позволяют судить о высокой эффективности проектной технологии, которая позволяет уменьшить заводскую себестоимость относительно базовой технологии. Снижение технологической и заводской себестоимости происходит за счёт повышения производительности операций. Повышение стабильности качества также положительно сказывается на повышении производительности труда, поскольку уменьшаются затраты времени на обнаружение и исправление дефектов в сварных соединениях.

Таблица 13 – Исходные данные и расчёт заводской стоимости при выполнении операций согласно базового технологического процесса и согласно проектного технологического процесса

Показатель	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант	Проектный вариант
1. «Затраты на материалы	М	924	1665
2. Фонд заработной платы	ФЗП	2652	1599
3. Отчисления на соц. нужды	Осн	901	544
4. Затраты на оборудование	Зоб	777	627
5. Технологическая себестоимость	Стех	5254	4435
6. Цеховые расходы	Рцех	3552	2142
7. Цеховая себестоимость	Сцех	8806	6577
8. Заводские расходы	Рзав	2723	1642
9. Заводская себестоимость» [16]	Сзав	11529	8219

Далее будут вычислены экономические показатели предлагаемых решений и сделан вывод об эффективности внедрения этих решений в производственный процесс.

4.5 Капитальные затраты при реализации проектного и базового вариантов технологии

Вычисляем капитальные затраты $K_{\text{общ. б.}}$ на реализацию технологического процесса по базовому варианту. Расчёт следует выполнять с учётом коэффициента загрузки оборудования K_p и остаточной стоимости оборудования $C_{\text{об. б.}}$

Величину остаточной стоимости оборудования определяем с учётом рыночной стоимости аналогичного нового оборудования $C_{\text{перв.}}$, срока службы оборудования $T_{\text{сл}}$ и нормы амортизационных отчислений N_a :

$$C_{\text{об. б.}} = C_{\text{перв.}} - (C_{\text{перв.}} \cdot T_{\text{сл}} \cdot N_a / 100). \quad (17)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $C_{\text{об. б.}} = 250000 - (250000 \cdot 2 \cdot 21,5 / 100) = 142500$ рублей.

Капитальные затраты по базовой технологии могут быть рассчитаны как:

$$K_{\text{общ. б.}} = C_{\text{об.б.}} \cdot K_{\text{з.б.}} \quad (18)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $K_{\text{общ. б.}} = 1 \cdot 142500 \cdot 0,9 = 128250$ рублей.

Расчёт капитальных затрат $K_{\text{общ.пр.}}$ при реализации проектной технологии требует учёта капитальных вложений в производственные площади $K_{\text{пл.пр.}}$, сопутствующих затрат $K_{\text{соп}}$ и капитальных затрат на оборудование $K_{\text{об.пр.}}$:

$$K_{\text{общ. пр.}} = K_{\text{об. пр.}} + K_{\text{пл. пр.}} + K_{\text{соп.}} \quad (19)$$

Величина капитальных затрат на оборудование для реализации проектного варианта технологического процесса рассчитывается с учётом коэффициента транспортно-заготовительных расходов, значение которого для настоящей выпускной квалификационной работы составило $K_{\text{тз}}=1,05$, цены оборудования $C_{\text{об}}$ и коэффициента загрузки оборудования $K_{\text{зп}}$:

$$K_{\text{об.пр.}} = C_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{тз}} \cdot K_{\text{зп.}} \quad (20)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $K_{\text{об.пр.}} = 430000 \cdot 1,05 \cdot 0,5 = 225750$ рублей.

Величина сопутствующих затрат $K_{\text{соп}}$ рассчитывается с учётом расходов на демонтаж $P_{\text{дем}}$ оборудования по базовому технологическому процессу и монтаж $P_{\text{мон}}$ оборудования по проектному технологическому процессу.

Расходы на демонтаж с учётом коэффициента расходов на демонтаж оборудования $K_{\text{дем}} = 0,05$ рассчитываются как

$$P_{\text{дем}} = C_{\text{об. б.}} \cdot K_{\text{д.}} \quad (21)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $P_{\text{дем}} = 250000 \cdot 0,05 = 12500$ рублей.

Расходы на монтаж с учётом коэффициента расходов на монтаж оборудования $K_{\text{мон}} = 0,05$ рассчитываются как

$$P_{\text{монт}} = C_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{м.}} \quad (22)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $P_{\text{монт}} = 430000 \cdot 0,05 = 21500$ рублей.

Величина сопутствующих расходов определяется как

$$P_{\text{соп}} = P_{\text{дем}} + P_{\text{монт}}. \quad (23)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $P_{\text{соп}} = 12500 + 21500 = 34000$ рублей.

Далее с использованием подставленных в формулу (19) значений получили общие капитальные затраты $K_{\text{общ. пр.}} = 225750 + 34000 = 259750$ рублей.

Расчёт дополнительных капитальных вложений $K_{\text{доп}}$ проводим с учётом капитальных затрат для проектной технологии $K_{\text{общ. пр}}$ и капитальных затрат по базовой технологии $K_{\text{общ. б}}$:

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общ пр}} - K_{\text{общ б}}. \quad (24)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $K_{\text{доп}} = 259750 - 128250 = 131500$ рублей.

Величину удельных капитальных вложений определяем с учётом годовой программы Π_r :

$$K_{\text{уд}} = K_{\text{общ}} / \Pi_r. \quad (25)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $K_{\text{уд}} = 128250/300 = 428$ рублей за единицу продукции по базовой технологии и $K_{\text{уд}} = 259750 / 300 = 866$ рублей за единицу продукции по проектной технологии.

4.6 Показатели экономической эффективности

Для выполнения экономического обоснования настоящей выпускной квалификационной работы рассчитаем основные показатели эффективности.

Снижение трудоемкости $\Delta t_{\text{шт}}$ рассчитывается как

$$\Delta t_{\text{шт}} = (t_{\text{шт б}} - t_{\text{шт пр}}) \cdot 100 \% / t_{\text{шт б}}. \quad (26)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $\Delta t_{шт} = (6,3-3,8) \cdot 100 \% / 6,3 = 40 \%$.

Повышение производительности P_T рассчитывается как

$$P_T = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}). \quad (27)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $P_T = 100 \cdot 40 / (100 - 40) = 66 \%$.

Уменьшение технологической себестоимости $\Delta C_{тех}$ рассчитывается как

$$\Delta C_{тех} = (C_{тех.б.} - C_{тех.пр.}) \cdot 100\% / C_{тех.б.} \quad (28)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $\Delta C_{тех} = (5254 - 4435) \cdot 100\% / 5254 = 16 \%$.

Размер условно-годовой экономии $P_{ож}$ рассчитывается как

$$P_{ож} = \mathcal{E}_{уг} = (C_{зав.б.} - C_{зав.пр.}) \cdot P_T. \quad (29)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $P_{ож} = (11529 - 8219) \cdot 300 = 993000$ рублей.

Длительность срока окупаемости предлагаемых мероприятий $T_{ок}$ составляет:

$$T_{ок} = K_{доп} / \mathcal{E}_{уг}. \quad (30)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $T_{ок} = 131500 / 993000 = 0,2$ года.

Величина годового экономического эффекта $\mathcal{E}_Г$ рассчитывается как

$$\mathcal{E}_Г = \mathcal{E}_{уг} - E_n \cdot K_{доп}. \quad (31)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $\mathcal{E}_Г = 993000 - 0,33 \cdot 131500 = 950$ тыс. рублей.

Производительность труда повышается на 66 %. Уменьшение технологической себестоимости составило 16 %. Удалось получить годовой экономический эффект в размере 0,95 млн. рублей. Вложения окупятся за 0,2 года.

Заключение

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности сварочных технологий при выполнении сварки технологических трубопроводов ТЭЦ.

Анализ состояния вопроса позволил обосновать выбор способа сварки, в качестве которого для построения проектной технологии предлагается применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения с импульсным управлением горением сварочной дугой.

Построение проектной технологии предложено проводить с использованием механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения. Составлен перечень операций технологического процесса, назначены параметры режима, выбрано оборудование и сформулированы требования к выполнению операций.

Первая операция проектного технологического процесса – входной контроль, который выполняется с применением комплекта измерительного оборудования (угольник, штангенциркуль, металлическая линейка и универсальный шаблон сварщика). Вторая операция проектного технологического процесса – подготовка кромок, которая выполняется с применением трубореза, шлифовальной машины и кромокреза. Третья операция проектного технологического процесса – сборка, которая выполняется с применением центратора и измерительного оборудования. Четвёртая операция проектного технологического процесса – предварительный подогрев, который выполняется с применением сварочного трансформатора, контактных термометров и комплекта для индукционного подогрева. Пятая и шестая операции проектного технологического процесса – прихватка и сварка, которые выполняются с применением сварочного выпрямителя, механизма подачи проволоки, газовой аппаратуры, шлифовальной машины. Седьмая операция проектного технологического процесса – термическая обработка, которая выполняется с применением

сварочного трансформатора, контактных термометров и комплекта для индукционного подогрева. Восьмая операция проектного технологического процесса – контроль качества, который выполняется с применением набора визуально-измерительного контроля, твердомера и рентгеновского аппарата.

Выполнение операций проектного технологического процесса, который был представлен в исполнительском разделе настоящей выпускной квалификационной работы, приводит к возникновению негативных производственных факторов и негативных экологических факторов. Выполненная идентификация этих негативных факторов позволила предложить стандартные методики и технические средства для защиты персонала и окружающей среды.

С учётом особенностей выполнения операций технологического процесса по проектному варианту и базовому варианту был выполнен расчёт основных экономических показателей производства. Проведенные экономические расчёты позволяют судить о высокой эффективности предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений. Производительность труда повышается на 66 %. Уменьшение технологической себестоимости составило 16 %. При этом за счёт повышения производительности труда и снижения издержек удалось получить годовой экономический эффект в размере 0,95 млн. рублей. Средства, затраченные на внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений, будут окуплены за 0,2 года.

На основании вышеизложенного следует считать поставленную цель выпускной квалификационной работы достигнутой.

Результаты настоящей выпускной квалификационной работы рекомендуются к внедрению на предприятиях, которые выполняют работы по строительству и ремонту технологических трубопроводов из теплоустойчивых сталей.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Авторское свидетельство № 1007871 СССР, МКИ В23К9/09. Устройство для сварки / Пирожков Е. Д., Чумак Л. Ф., Анкудинов В. А. № 3357427/25-27, заяв. 19.11.81; опубл. 30.03.83, Бюл. № 12. 3 с.
2. Барташ С.Н. Ползучесть, малоцикловая усталость и повреждаемость сварных соединений паропроводов из теплоустойчивых перлитных сталей // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2006. №4. С. 76–78.
3. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372с.
4. Березин В. Л., Суворов А. Ф. Сварка трубопроводов и конструкций. М. : Недра. 1976. 359 с.
5. Векслер Е. Я., Чайковский В. М. Оценка поврежденности и прогнозирование остаточного ресурса паропроводов высокого давления после длительной эксплуатации // Энергетика та електрифікація. 1994. № 4. С. 9–14.
6. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
7. Гудков А. А. Трещиностойкость стали. М. : Metallургия, 1989. 374 с.
8. Дмитрик В. В., Царюк А.К., Бугаец А.А. Оценка остаточного ресурса сварных соединений трубопроводов ТЭС // Автоматическая сварка. 2006. № 2. С. 7–11.
9. Дмитрик В. В., Шевченко В. В. К эффективности использования тепла расплава ванны //Автоматическая сварка. 2001. № 4. С. 25–27.
10. Дудко Д. А., Сидорчук В. С., Зацерковный С. А. Технология ручной дуговой сварки покрытыми электродами с модуляцией параметров режима //Автоматическая сварка. 1991. № 12. С. 59–60.

11. Калугин Р. Н. Прогнозирование остаточного ресурса длительно эксплуатирующихся сварных соединений паропроводов в условиях ползучести по структурному фактору : диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. М. : ОАО «Всероссийский теплотехнический научно-исследовательский институт». 2008.
12. Климов А. С. Выпускная квалификационная работа бакалавра: учебно-метод. пособие по выполнению выпускной квалификационной работы бакалавра. Тольятти : ТГУ, 2021. 62 с.
13. Ковпак В. И. Прогнозирование энергопрочности металлических материалов. К. : Наукова думка, 1981. 227 с.
14. Конык А. И. Использование присадочной проволоки для улучшения структуры сварных соединений из теплоустойчивых перлитных сталей // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2005. № 1. С. 52–55.
15. Костюк А. Г., Фролов В. В. Паровые и газовые турбины для электростанций. М. : Машиностроение. 1985. 556 с.
16. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
17. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.
18. Кудрявцев И. В., Наумченков Н. Е. Усталость сварных соединений. М. : Машиностроение, 1976. 255 с.
19. Куманин В. И., Ковалева Л. А., Алексеев С. В. Долговечность металла в условиях ползучести. М. : Metallurgia, 1988. 222 с.
20. Лебедев Б. Д., Цыган Б. Г. Исследование структуры швов, выполненных автоматической сваркой с присадкой и без нее // Сварочное производство. 1978. № 2. С. 39–41.
21. ОСТ 108.940.02-82 «Швы сварных стыковых соединений трубопроводов тепловых электростанций»

22. Патент № 2219032 РФ, МКИ В23К35/365. Состав электродного покрытия / Лозовский М. М., Волохов А. П., 2003.

23. Потапьевский А. Г., Сараев Ю. Н., Чинахов Д. А. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего : монография. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 208 с.

24. Потапьевский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Часть 1. Сварка в активных газах. К. : Экотехнология, 2007. 192 с.

25. РД 153-34.1-003-01 «Сварка, термообработка и контроль трубных систем котлов и трубопроводов при монтаже и ремонте энергетического оборудования»

26. РД 34.17.306 «Методические указания по металлографическому анализу при оценке качества и исследовании причин повреждений сварных соединений паропроводов из сталей 12Х1МФ И 15Х1М1Ф тепловых электростанций»

27. Розерт Р. Применение порошковых проволок для сварки в промышленных условиях // Автоматическая сварка. 2014. № 6-7. С. 60–64.

28. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов : учебное пособие. Тольятти : ТГУ, 2007. 301 с.

29. Смотрицкая Е.Г., Куманин В.И. Разрушение теплоустойчивых сталей в условиях совместного действия ползучести и малоциклового усталости. // Теплоэнергетика. 2005. № 5. С. 63–65.

30. Сорокин В. Г., Волосникова А. В., Вяткин С. А. Марочник сталей и сплавов. М. : Машиностроение, 1989. 640 с.

31. Хромченко Ф. А., Лаппа В. А., Калугин Р. Н. Сварочно-термическая технология восстановления работоспособности элементов технологического оборудования // Новое в российской электроэнергетике (электронный журнал). 2001. № 4. С. 17–22.

32. Хромченко Ф. А. Ресурс сварных соединений паропроводов. М. : Машиностроение, 2002. 351 с.

33. Шлепаков В. Н., Гаврилюк Ю. А., Котельчук А. С. Современное состояние разработки и применения порошковых проволок для сварки углеродистых и низколегированных сталей // Автоматическая сварка. 2010. № 3. С. 46–51.

34. Юхин Н. А. Ручная сварка при сооружении и ремонте трубопроводов пара и горячей воды. М. : СОУЭЛО. 2007. 57 с.