

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 технологического трубопровода из
стали 15Х5М диаметром 325 мм

Обучающийся

Р.К. Казиахмедов

(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. Сярдова

(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

В работе рассматривался вопрос сварки при ремонте технологических трубопроводов из теплоустойчивых сталей.

Составлен проектный технологический процесс ремонтной сварки.

Выполнена идентификация опасных и вредных производственных факторов, действие которых сопровождает применение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений. Также рассмотрены вопросы обеспечения экологической безопасности и проведения экологического мониторинга рассматриваемого технического объекта.

Проведенные экономические расчёты позволяют судить о высокой эффективности предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решениях. Производительность труда повышается на 133 %. Уменьшение технологической себестоимости составило 54 %. При этом за счёт повышения производительности труда и снижения издержек удалось получить годовой экономический эффект в размере 1,6 млн. рублей. Средства, затраченные на внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений, будут окуплены за 0,16 года.

Содержание

Введение	5
1 Современное состояние ремонтной сварки технологических трубопроводов установок каталитического риформинга.	7
1.1 Особенности конструкции и эксплуатации технологического трубопровода установок каталитического риформинга.	7
1.2 Сведения о материале трубопровода.	10
1.3 Особенности базовой технологии ремонтной сварки.	12
1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы.	19
2 Разработка проектной технологии ремонтной сварки технологического трубопровода.	21
2.1 Обоснование выбора способа сварки.	21
2.2 Обоснование выбора сварочных материалов.	24
2.3 Обоснование конструкции сварного соединения и выбор параметров режима сварки.	25
2.4 Описание операций и применяемого оборудования.	28
3 Обеспечение безопасности и экологичности предлагаемых технических решений.	32
3.1 Конструктивно-технологическая характеристика рассматриваемого объекта.	32
3.2 Идентификация профессиональных и производственных рисков.	34
3.3 Методики и технические средства для устранения профессиональных рисков.	36
3.4 Пожарная безопасность рассматриваемого технологического объекта.	37
3.5 Вопросы обеспечения экологической безопасности.	39
4 Экономическое обоснование предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений.	41
4.1 Анализ исходной информации по базовой и проектной	

технологиям	41
4.2 Оценка фонда времени работы оборудования.	43
4.3 Оценка штучного времени при выполнении операций проектного и базового вариантов технологии.	44
4.4 Расчёт заводской себестоимости при осуществлении операций технологического процесса по рассматриваемым вариантам.	46
4.5 Капитальные затраты при реализации проектного и базового вариантов технологии.	50
4.6 Показатели экономической эффективности.	52
Заключение	54
Список используемой литературы и используемых источников.	56

Введение

Повышение цен на энергоносители и износ оборудования в значительной степени определяет характер функционирования предприятий химии и нефтегазового сектора Российской Федерации. Продление срока эксплуатации основных производственных и перерабатывающих мощностей требует проведения массового ремонта технологических трубопроводов на установках.

Значительной частью установок является технологический трубопровод, протяжённость которого может составлять 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.

При проведении ремонтных и модернизационных работ на технологических трубопроводах в основном применяется ручная дуговая сварка покрытым электродом. Это объясняется относительной простотой процесса ручной дуговой сварки, которая уже много лет успешно применяется на предприятиях при выполнении строительных и ремонтных работ. При этом самым слабым с точки зрения образования дефектов и деградации металла являются места выполнения сварных стыков труб. 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.

В настоящее время остро стоит вопрос повышения интенсивности проведения сварочных работ при ремонте и реконструкции технологических трубопроводов. При этом увеличение производительности выполнения работ не должно сопровождаться снижением качества их выполнения. Кроме того, перспективы дальнейшего продления сроков эксплуатации имеющихся установок заставляют рассматривать вопросы повышения качества сварочных при ремонтной сварке.

Следует принимать во внимание, что ручная дуговая сварка исчерпала резервы для повышения эффективности. Поэтому даже при назначении оптимальных параметров режима сварки, подборе сварочных материалов и применении новых источников питания не следует ожидать значительного повышения производительности и качества сварки. В этой связи следует в качестве средства повышения производительности и качества рассматривать замену ручной дуговой сварки на более перспективные способы, что и происходит в настоящий момент в мире. Кроме того, применительно к теплоустойчивым сталям следует рассмотреть методы повышения эффективности сварки с применением современных достижений сварочной науки и техники.

В выпускной квалификационной работе будет рассмотрен случай повышения эффективности сварочных работ при ремонте и реконструкции технологического трубопровода установки каталитического риформинга [22]. При эксплуатации такой установки в случае наличия в трубопроводе недопустимых дефектов могут произойти аварии с человеческими жертвами.

Исходя из вышеизложенного следует признать актуальной темы выпускной квалификационной работы и её цель – повышение производительности и качества при выполнении ремонтных работ на технологическом трубопроводе установки каталитического риформинга.

1 Современное состояние ремонтной сварки технологических трубопроводов установок каталитического риформинга

1.1 Особенности конструкции и эксплуатации технологического трубопровода установок каталитического риформинга

На рисунке 1 представлен внешний вид установки каталитического риформинга, которая представляет комплекс устройств, обеспечивающих протекание процессов гидроочистки поступающего сырья, сам каталитический риформинг и стабилизацию образующегося конденсата.



Рисунок 1 – Внешний вид установки каталитического риформинга

Установка каталитического риформинга обеспечивает совместную работу значительного количества разнообразного оборудования, в состав которого входят реакторные блоки, эксплуатация которых проходит при повышенных температурах и давлении. В процессе работы оборудование и технологические трубопроводы подвергаются воздействию агрессивных

сред, которые в составе имеют сероводород и водород. При этом в стенках трубопроводов происходит процесс водородной коррозии, которая проявляет себя в виде деградации металла, снижении его характеристик и неблагоприятного изменения структуры [1], [5], [21]. Результаты водородной коррозии становятся причиной разрушения конструкции при пневматических и гидравлических испытаниях.

Производительность и безопасность установки каталитического риформинга в значительной степени определяется состоянием её основных аппаратов и технологических трубопроводов. В наиболее неблагоприятных условиях работают трубчатые печи, температура эксплуатации которых составляет для змеевиков сырьевых печей составляет 350...450 °С, а для змеевиков промежуточных печей составляет 470...515 °С.

В состав радиантно-конвекционной печи риформинга входит четыре камеры, при этом в каждой камере установлено по два змеевика, каждый из которых включает в себя десять труб с диаметром 325 мм и толщиной стенки 12 мм. Соединение змеевиков между собой происходит посредством коллекторов с условным проходным диаметром 200 мм. Коллектор и трубы радиантной камеры выполняются из стали 15X5М. Сам змеевик выполняется из стали 12CrMo19.5 TGL 15089, которая также является прямым аналогом стали 15X5М. Змеевик также выполняется из труб диаметром 325 мм и толщиной стенки 12 мм. Условия работы труб представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Условия работы труб установки каталитического риформинга

Наименование параметра	Конвенционная камера	Радиантная камера I	Радиантная камера II	Радиантная камера III	Радиантная камера VI
Температура на входе	250 °С	420...450 °С	420...450 °С	473 °С	500 °С
Температура на выходе	350 °С	520 °С	520 °С	520 °С	520 °С
Давление на входе	5 МПа	4 МПа	4 МПа	4 МПа	4 МПа
Давление на выходе	4,55 МПа	4 МПа	4 МПа	3,8 МПа	3,6 МПа

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.

Для этого необходимо определить критическую длину, которая будет соответствовать максимальному малоцикловому напряжению. Также необходимо определить интенсивность роста усталостных трещин в процессе эксплуатации. В ранее представленных работах, направленных на изучение усталостного разрушения теплоустойчивых сталей, было уделено недостаточное внимание вопросу влияния структурной неоднородности и структурных изменений, которые неизбежно возникают в процессе эксплуатации сварных соединений теплоустойчивых сталей. Однако эти два фактора могут стать определяющими при микрповреждаемости конструкций их теплоустойчивых сталей.

В таблице 2 представлены результаты изменения механических свойств образцов. Значительное уменьшение ударной вязкости объясняется отрицательным влиянием водородной коррозии на свойства металла сварного шва.

Таблица 2 – Механические характеристики исследуемого металла (числитель – основной металл, знаменатель – сварное соединение)

«Температура испытаний	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ_5 , %	Ψ , %	S_k , МПа	KCV, Дж/см ²
труба конвекционной камеры из стали марки 12CrMo19.5						
20 °С	807/558	702/369	20,1/17,1	72/78	1550/1516	208/11,3
365 °С	682/445	603/324	16,0/14,8	67/74	1245/1012	192/137
коллектор радиантной камеры II из стали марки 15X5M						
20 °С	669/665	600/549	21,0/16,8	77/77	1505/1438	267/3,8
525 °С	446/431	435/403	18,5/16,1	83/80	900/825	235/106» [1]

Проблема старения металла труб из теплоустойчивых сталей в процессе длительной эксплуатации является очень сложной и требует применения комплексного подхода к оценке состояния металла, который должен учитывать условия эксплуатации, характер внешних воздействий и повреждений [16].

Так как трубы в печи риформинга эксплуатируются в очень жёстких условиях, а их наработка составляет 200 тысяч часов при нормативном ресурсе 100 тысяч часов, необходимо проведение работ по продлению срока службы технологического трубопровода и установок с применением технологий ремонта.

1.2 Сведения о материале трубопровода

Для изготовления трубопроводов на рассматриваемой установке применяются бесшовные трубы из стали 15X5M и 12CrMo19.5 TGL 15089. Содержание химических элементов в сталях для изготовления элементов радиантно-конвекционной печи риформинга представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в сталях для изготовления элементов радиантно-конвекционной печи риформинга [22]

	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Ni	P	S
Труба конвенционной камеры	0,08-0,15	0,30-0,60	0,30-0,60	4-6	0,45-0,65	-	-	<0,025	<0,020
Коллектор радиантной камеры	0,15	0,5	0,5	4,5-6	0,45-0,6	0,05	0,6	<0,030	<0,025

Эта сталь относится к низколегированным жаропрочным сталям и нашла применение для изделий, которые работают в условиях высокого давления и температуре эксплуатации до 600...655 °С.

Легирующими элементами в стали выступают хром и молибден. Хром обеспечивает высокую жаростойкость стали, что проявляется в

сопротивлению 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».

Небольшие добавки ванадия позволяют повысить её прочность за счёт образования карбидов. Кроме того, ванадий обеспечивает равномерное распределение интерметаллидов по объёму металла сварного шва.

При сварке стали 15X5M приходится устранять сопровождающие трудности, к которым относят [20]: разупрочнение околошовной зоны, охрупчивание и образование холодных трещин.

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.

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.

1.3 Особенности базовой технологии ремонтной сварки

Возникающие в процессе работы трубопровода трещины необходимо своевременно обнаруживать и устранять при помощи сварки. 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.

Операции процесса ремонтной переварки участка паропровода представлены на рисунке 2.

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 рассматриваемой толщины стенки трубы длина патрубка составляет 100 мм.

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 2-а.

Далее под патрубок-вставку помещают вторую временную скользящую опору (ВСО). При установке подвижный участок паропровода с усилием P смещают в сторону, получая зазор по величине, равный холодному натягу (ХН). Далее выполняют сварку стыка № 1. Схема выполнения операции представлена на рисунке 2-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 P . После этого выполняют сварку стыка № 2. Схема выполнения операции представлена на рисунке 2-в.

После этого паропровод приводят в исходное рабочее положение.

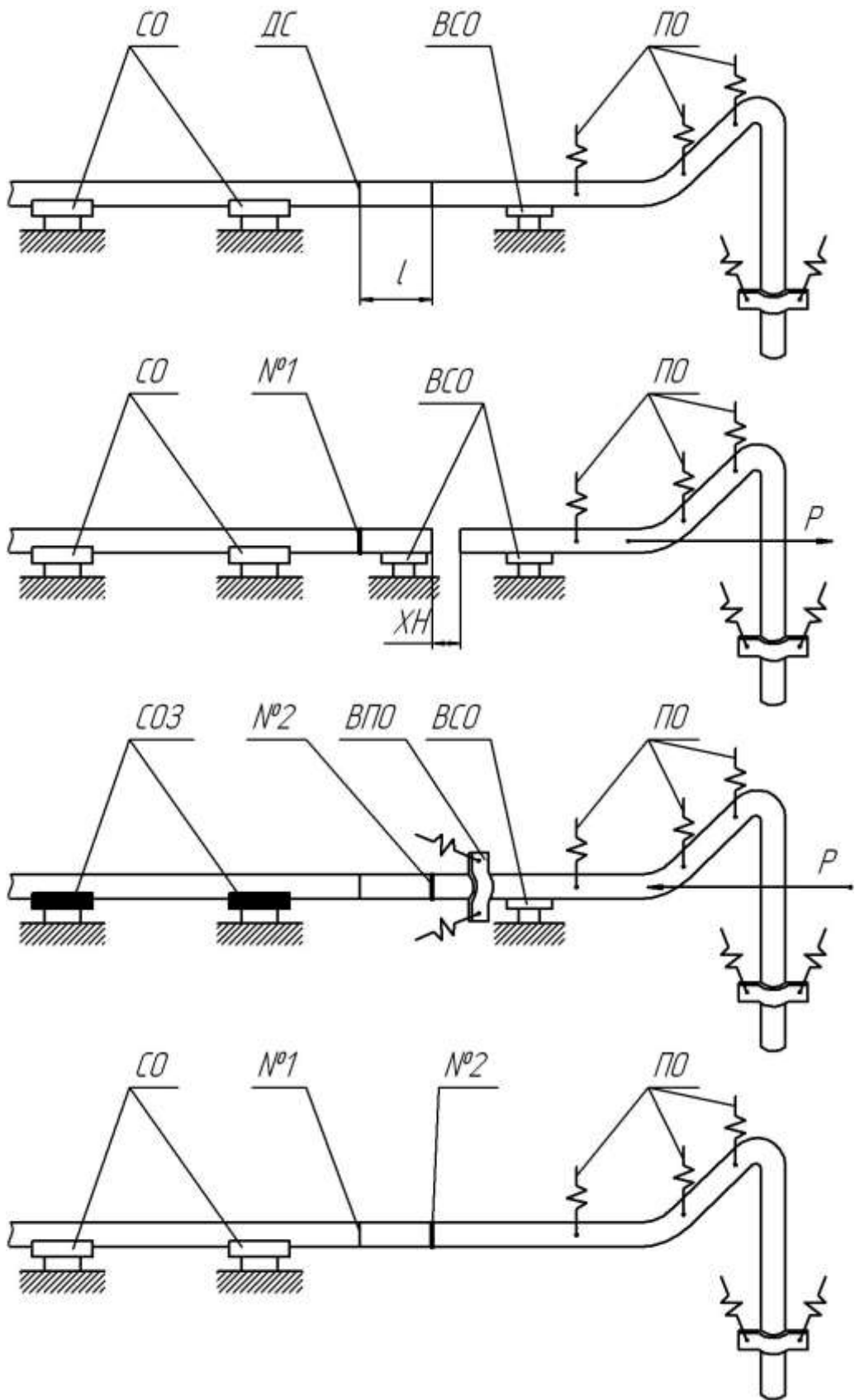


Рисунок 2 – Последовательность манипуляций при ремонтной сварке участка технологического трубопровода

Для разделки труб применяется машина механической резки «Волжанка», при этом параметры разделки представлены на рисунке 3. 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.

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.

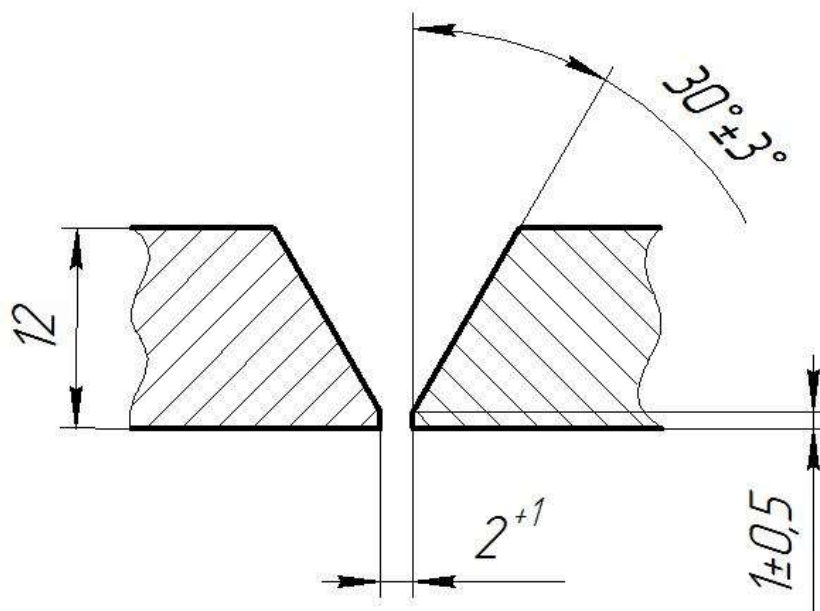


Рисунок 3 – Параметры подготовки кромок труб

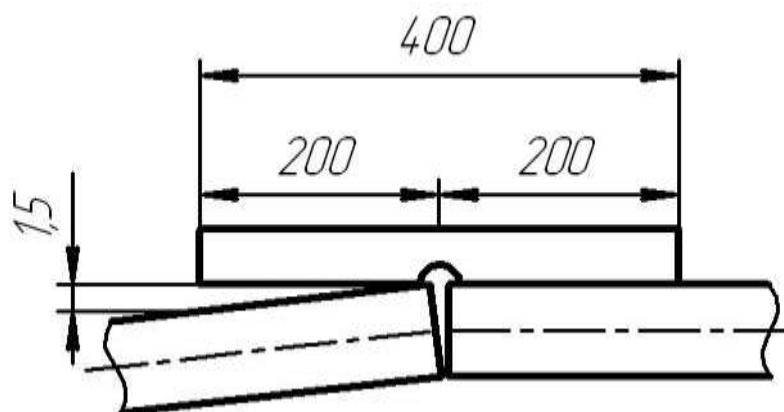


Рисунок 4– Контроль прямолинейности собираемых элементов

Для предварительного подогрева применяются газопламенные резаки или пушки, позволяющие выполнять нагрев равномерно по периметру стыка. Температура предварительного подогрева составляет 300...350 °С. 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, как показано на рисунке 5.

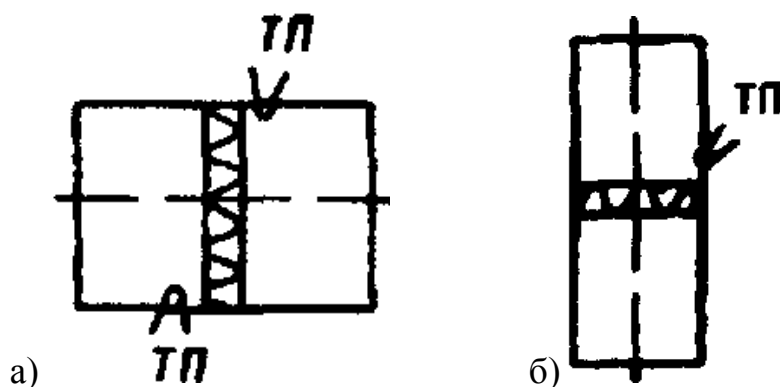


Рисунок 5 – Схема замера температуры при термической обработке стыков труб одинаковой толщины: вертикальный стык (а); горизонтальный стык (б)

В качестве сварочных электродов применяются электроды ОК-76.35, диаметр которых составляет 2,6 мм и 3,2 мм. Перед тем, как начать использование электродов необходимо убедиться в наличии сертификата и состоянии упаковки в неповреждённом виде. Перед тем, как выполнять сварку, необходимо провести прокалку электродов. Температура прокалки составляет 330...370 °С, длительность прокалки составляет 2...2,5 часа.

Сборку выполняют на прихватках. При выполнении прихваток их следует располагать равномерно по периметры стыка. Запрещается располагать прихватку в потолочном положении. При этом количество прихваток составляет 3 или 4 при длине каждой прихватки 24...30 мм и высоте каждой прихватки 5 мм. При выполнении прихваток следует

обеспечить полное проплавление. При последующем выполнении сварки прихватки переваривают во время сварки первого слоя шва.

Для питания сварочной дуги применяется сварочный инвертор Lincoln V350. Прихватки выполняют электродами ОК 76.35 Ø3,2 мм на токе сварки 90...120 А и при напряжении дуги 24...28 В.

Сварку следует начинать сразу же после завершения установки прихваток и проверке их качества. Между прихваткой и сваркой не должно пройти более 4 часов. При выполнении сварки нельзя останавливать процесс вплоть до полной заварки стыка.

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 заплывать, 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 максимально плоским, 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.

Для питания сварочной дуги применяется сварочный инвертор Lincoln V350. Сварку выполняют электродами ОК 76.35 Ø2,6 мм на токе сварки

70...90 А и при напряжении дуги 22...26 В. Высота валика должна быть 2...4 мм, ширина валика должна составлять 4...10 мм.

Порядок наложения слоёв при сварке вертикального стыка представлен на рисунке 6-а. Порядок наложения слоёв при сварке горизонтального стыка представлен на рисунке 6-б. Геометрия сварного шва представлена на рисунке 7.

При выполнении заполняющего слоя сварного шва оставляют незаполненную разделку, как показано на рисунке 8. По всему периметру остаточная глубина должна составлять 1...1,5 мм и будет использована для выполнения облицовочного слоя сварного шва.

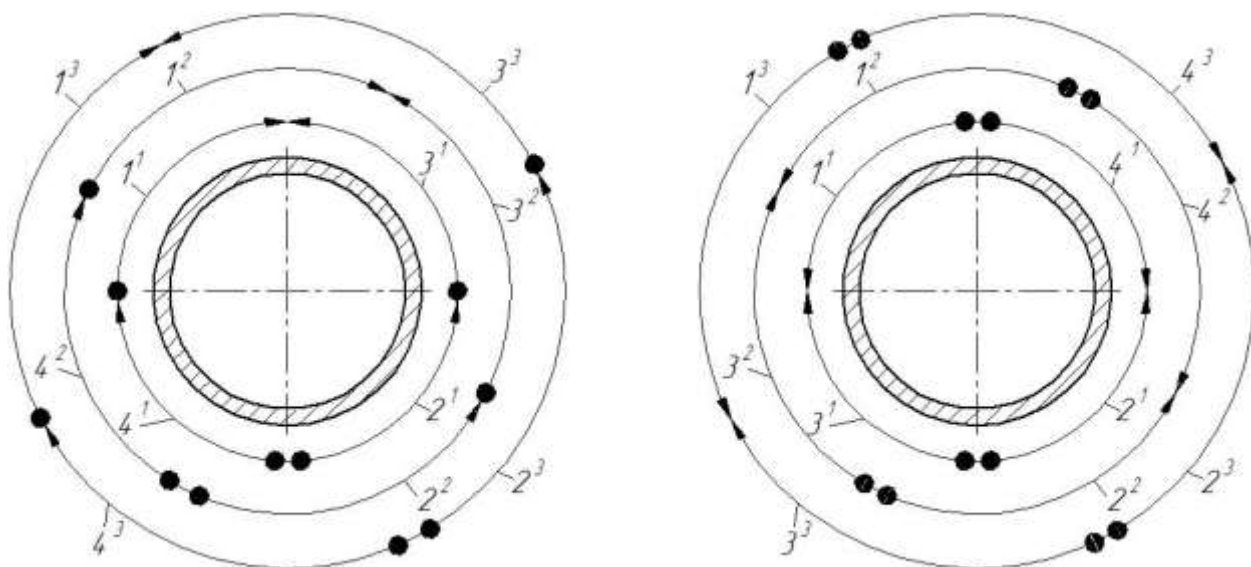


Рисунок 6 – Порядок наложения слоёв при выполнении вертикального (а) и горизонтального (б) стыка

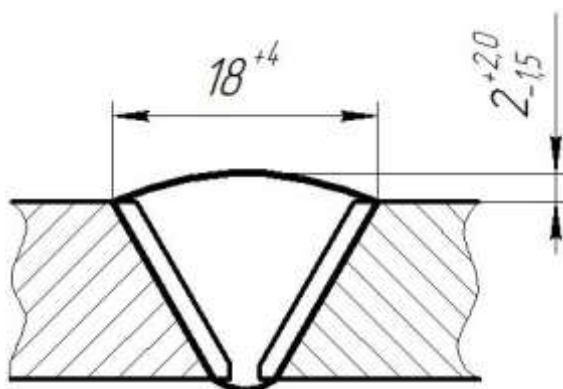


Рисунок 7 – Геометрия сварного шва

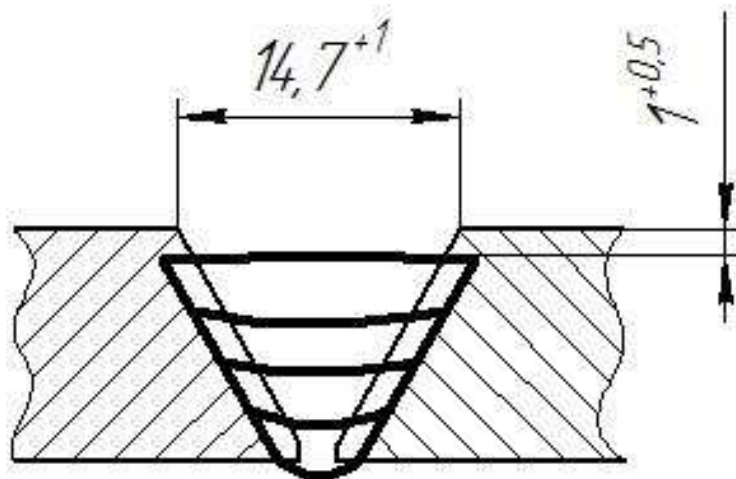


Рисунок 8 – Выполнение заполняющего слоя сварного шва

Выполнение облицовочного слоя шва проводят в два этапа. На первом этапе выполняют обваривание кромок разделки, на втором этапе выполняют окончательную доварку. Последовательность выполнения облицовочного слоя шва представлена на рисунке 9.

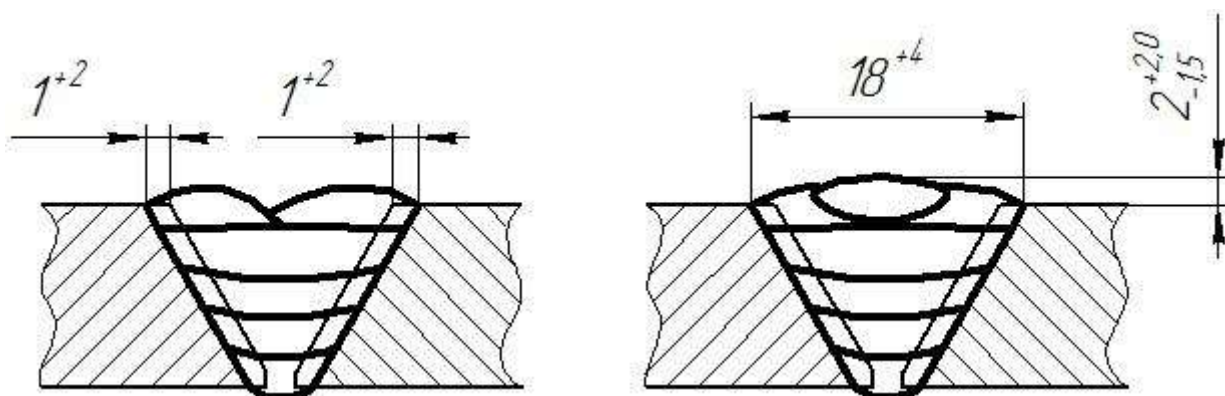


Рисунок 9 – Этапы выполнения облицовочного шва

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.

Термическую обработку сварного шва проводят после сварки с нагревом до температуры 740...760 °С. Длительность выдержки в нагретом

состоянии устанавливается в пределах 2,5 часа. 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, стилоскопирование, 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.

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

1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

В настоящей работе преследуется цель – повышение производительности и качества при выполнении ремонтных работ на технологическом трубопроводе установки каталитического риформинга.

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.

В процессе решения первой задачей предстоит выполнить экспертную оценку способов сварки и обоснование выбор способа сварки на основании анализа преимуществ и недостатков рассмотренных способов.

В процессе решения второй задачи предстоит составить перечень операций технологического процесса, назначить параметры режима, выбрать оборудование и сформулированы требования к выполнению операций.

В процессе решения третьей задачи предстоит выполнить анализ предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений на предмет экологической безопасности и обеспечения безопасности труда [3], [6].

В процессе решения четвёртой задачи предстоит оценить экономическую эффективность внедрения проектной технологии в производство, что позволит сделать вывод о достижении поставленной цели [11], [12].

Поставленную цель предполагается достигать за счёт обоснованного выбора способа сварки, позволяющего повысить производительность и качество сварочных работ, а также применения средств механизации и автоматизации сварочных работ. При этом основной упор следует делать на отечественные разработки, что позволит обеспечить независимость российской промышленности от иностранных технологий и оборудования [10], [14].

2 Разработка проектной технологии ремонтной сварки технологического трубопровода

2.1 Обоснование выбора способа сварки

В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается вопрос повышения эффективности сварки трубопровода из стали 15Х5М диаметром 325 мм и толщиной стенки 12 мм. «Применительно к рассматриваемому материалу и толщине могут быть рассмотрены такие способы сварки:

- ручная дуговая сварка штучными электродами,
- механизированная сварка проволокой сплошного сечения в среде защитных газов;
- механизированная сварка порошковыми проволоками в среде защитных газов и самозащитными порошковыми проволоками;
- сварка под флюсом.

Поскольку выпускная квалификационная работа посвящена ремонтной сварке на существующем трубопроводе, то пространственное положение стыка труб может быть различным. Применение автоматической сварки под флюсом будет затруднено из-за сложностей, связанных с осыпанием флюса с поверхности труб» [20].

Самым универсальным способом следует признать ручную дуговую сварку с применением электродов специального назначения.. 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.

Ручная дуговая сварка имеет множество недостатков, которые заставляют рассматривать другие способы сварки для построения технологий. 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 [15], специальной техники сварки [4] или импульсного управления сварочной дугой [7].

В настоящее время в мире наблюдается устойчивый рост применения механизированных способов сварки, которые вытесняют ручную дуговую сварку [24]. При применении механизированной и автоматической сварки проволокой сплошного сечения в защитных газах плотность тока, а значит, и производительность, могут быть увеличены по сравнению с ручной дуговой сваркой. При сварке в углекислом газе расплавленный металл обладает повышенной вязкостью, что упрощает удержание сварочной ванны при выполнении сварки.

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 [17] или применении дополнительной присадочной проволоки [9], [13].

Сварка порошковыми проволоками может быть выполнена с использованием того же оборудования, что и сварка проволокой сплошного

сечения. При этом удаётся реализовать преимущества сварки порошковыми проволоками. При сварке порошковыми проволоками удаётся получить сочетание положительных качеств ручной дуговой сварки и механизированной сварки в защитных газах [19], [23].

Значительное распространение сварка порошковыми проволоками, как технологический процесс при строительстве и ремонте технологических трубопроводов получила в странах Юго-Восточной Азии. К таким странам относятся Южная Корея, Япония и Китай. При этом производство порошковых проволок превышает производство штучных электродов и практически приближается по объёмам к проволокам сплошного сечения.

В странах СНГ наблюдается значительное отставание применения порошковых проволок, что объясняется недостаточным производством порошковых проволок. 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 основании вышеизложенного принято решение построение проектной технологии выполнять с использованием механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения.

Для повышения технологических свойств механизированной сварки проволоками сплошного сечения в защитных газах следует рассмотреть разработки отечественных и зарубежных исследователей-сварщиков в области импульсного управления сварочной дугой и подачей электродной проволоки. Эти разработки позволяют эффективно управлять процессом переноса электродного металла формированием сварного соединения.

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.

Для сварки конструкций из теплоустойчивых сталей в качестве защитного газа может быть применён как чистый углекислый газ, так и его смесь с аргоном. При этом в составе газовой смеси может быть до 25 % аргона. При построении проектной технологии ремонтной сварки в рамках настоящей выпускной квалификационной работы предложим в качестве защитного газа использовать чистый углекислый газ.

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. При правильном выборе сварочной проволоки обеспечивается благоприятный химический состав металла сварного шва и эксплуатационные свойства соединений.

С учётом условий эксплуатации и материала свариваемых труб в качестве сварочной проволоки применим Св-08ХГСМА согласно ГОСТ 2246.

Содержание химических элементов в проволоке представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав, % электродной проволоки марки Св-08ХГСМА

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	S	P
0,06-0,1	0,45-0,7	1,15-1,45	0,85-1,15	До 0,3	0,4-0,6	До 0,020	До 0,020

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 0,4...0,6 %, марганец в количестве 0,85...1,15 %, кремний в количестве 0,45...0,7 % и марганец в количестве 1,15...1,45 %.

2.3 Обоснование конструкции сварного соединения и выбор параметров режима сварки

Применение импульсного управления сварочной дугой позволяет существенно уменьшить потери металла на угар и разбрызгивание, улучшить внешний вид изделий и повысить производительность. Также при применении импульсного управления при сварке в различных положениях повышается стабильность горения дуги и качество выполнения сварных швов. Управление переносом электродного металла повышает качество сварных швов в узкую разделку и проплавляющую способность дуги.

С учётом этого следует предложить разделку кромок, которая позволяет значительно уменьшить съём металла, массу наплавленного металла и повысить производительность сварки. Для разделки предложим вид Тр-2, который представлен на рисунке 10.

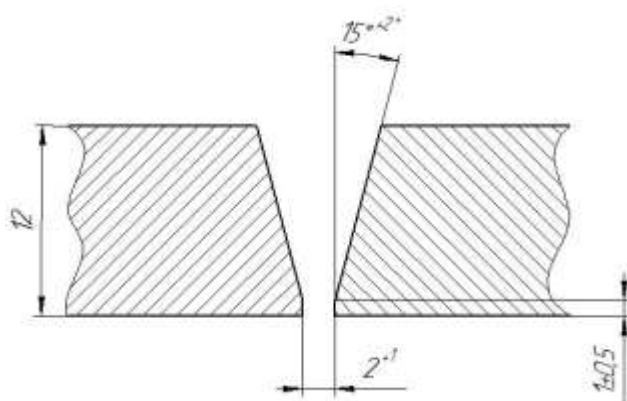


Рисунок 10 – Геометрия подготовленного стыка при сборке труб диаметром 325 мм толщиной стенки 12 мм Тр-2 (РТМ-1с)

Особенности заполнения раздели зависят от пространственного положения стыка труб. Порядок наложения валиков при выполнении вертикального стыка представлен на рисунке 11. Порядок наложения валиков при выполнении горизонтального стыка представлен на рисунке 12. Геометрия сварного шва представлена на рисунке 13.

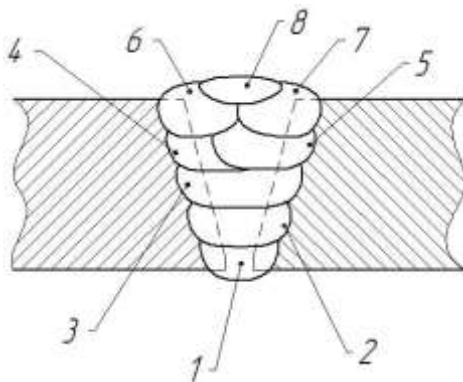


Рисунок 11 – Порядок наложения валиков при выполнении вертикального стыка

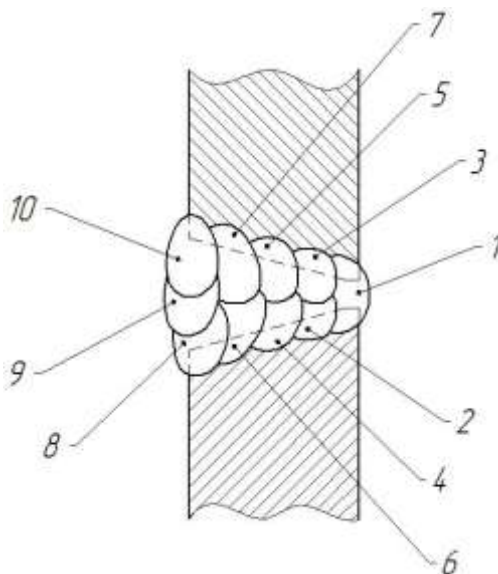


Рисунок 12 – Порядок наложения валиков при выполнении горизонтального стыка

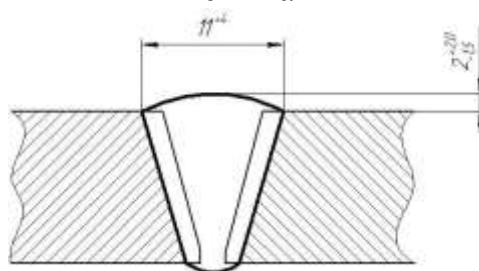


Рисунок 13 – Размеры сварного шва при соединении труб диаметром 325 мм толщиной стенки 12 мм

Повышение технических возможностей способа позволило отказаться от использования остающегося подкладного кольца и выполнять сварку в узкую разделку. Высота слоя или валика должна составлять 5...6 мм.

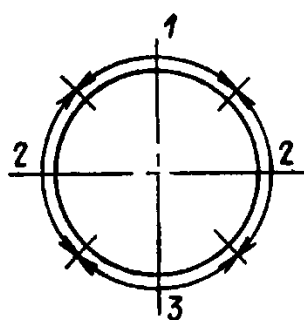
При сварке вертикального неповоротного стыка значения параметров режима следует выбирать в зависимости от пространственного положения согласно рисунка 14 и таблицы 3. При сварке горизонтальных стыков параметры режима следует выбирать в зависимости от номера валика согласно данным таблицы 4.

Таблица 3 – 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 4 – Параметры режима сварки горизонтальных неповоротных стыков

№ валика	Напряжение дуги, В	Ток, А
1, 2	22-23	140-160
остальные	24-25	180-200» [20]



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

Рисунок 14 – Схема расположения участков шва при сварке в углекислом газе вертикального неповоротного стыка

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

2.4 Описание операций и применяемого оборудования

Для выполнения прихватки и сварки применяется переносной шланговый полуавтомат ПДГ-508. Питание сварочной дуги выполняется от выпрямителя ВДУ-506. При сварке поддерживается режим периодических коротких замыкания дугового промежутка, который обеспечивается благодаря предлагаемому устройству. Функциональная схема устройства представлена на рисунке 15. В состав устройства входят «источник 1 сварочного тока, сварочный дроссель 2, сварочный полуавтомат 3, тиристор 4, блок управления, состоящий из регулируемого резистора 5 и накопительного конденсатора 6» [2].

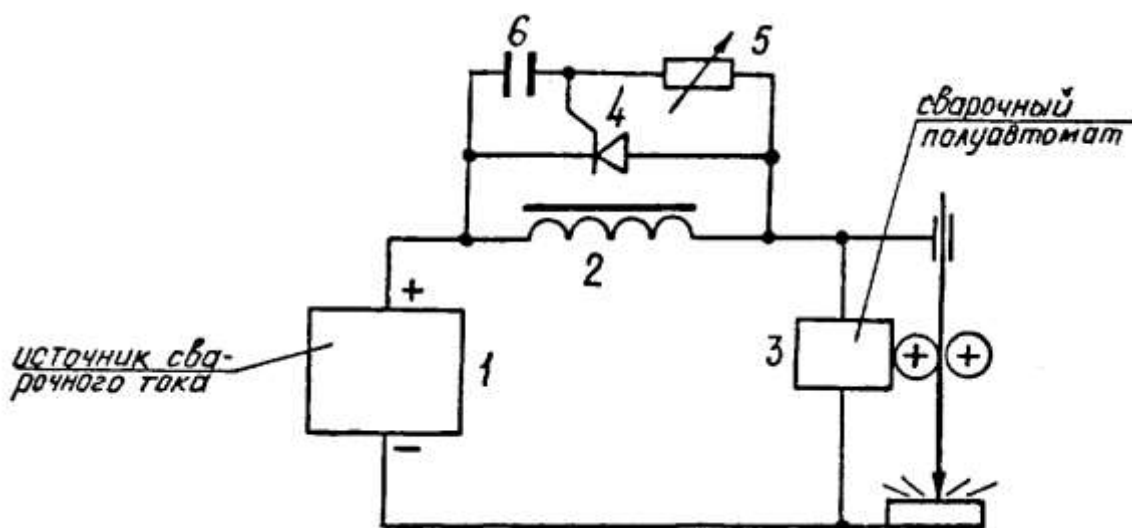


Рисунок 15 – Функциональная схема устройства для получения режима периодических коротких замыканий

Принцип работы устройства заключается в периодическом изменении напряжения на сварочной дуге в зависимости от стадии протекания процесса переноса капли электродного металла в сварочную ванну. В момент перехода капли расплавленного металла происходит закорачивание дугового промежутка, что приводит к увеличению сварочного тока. В этот момент дроссель 2 накапливает электромагнитную энергию. В момент отрыва капли от торца сварочного электрода происходит выделение накопленной дросселем 2 энергии, что вызывает образование в цепи источника питания

ЭДС самоиндукции. При этом величина напряжения в системе может в несколько раз превышать напряжение источника в режиме холостого хода, и приложенное к полуавтомату 3, может вызвать его выход из строя. Однако отпирающий тиристор 4 закорачивает на себя избыток напряжения, что позволяет устранить скачки напряжения в цепи питания полуавтомата. При помощи резистора 5 выполняется регулирование порога отпирания тиристора 4.

На рисунке 16 представлены осциллограммы напряжения при сварке короткими замыканиями без использования предлагаемого устройства (рисунок 16-а) и с использованием предлагаемого устройства (рисунок 16-б).

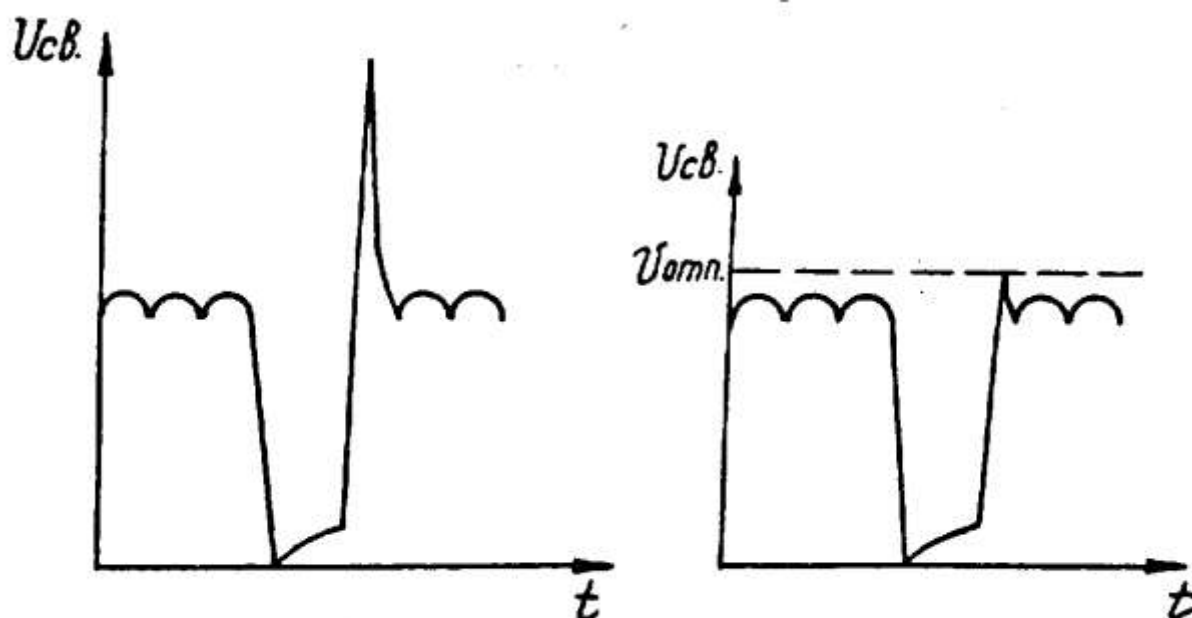


Рисунок 16 – Осциллограммы напряжения при сварке короткими замыканиями без использования предлагаемого устройства (а) и с использованием предлагаемого устройства (б)

Предварительный подогрев и термическую обработку стыка выполняем применением установки индукционного нагрева производства «Унитех», которая представлена на рисунке 17. В качестве источника питания для индукционного нагрева применим сварочный трансформатор ТДМ-501.

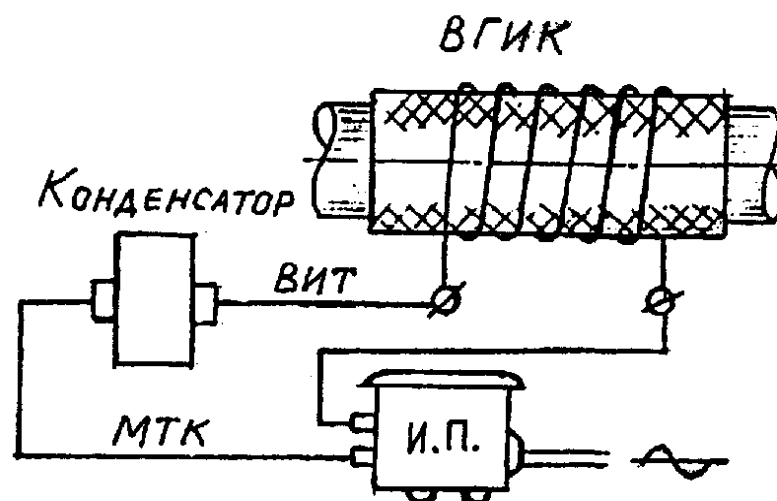


Рисунок 17 – Установка индукционного нагрева стыков труб

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.

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 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-1. 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.

Для проведения рентгеновского контроля применяется аппарата Арина-5. При проведении рентгеновского контроля не допускаются одиночные неметаллические включения размером более 5 мм, трещины всех видов и направлений, непровары.

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

Дальнейшее выполнение выпускной квалификационной работы предусматривает разработку оценочного блока [8] 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 [11], [12].

3 Обеспечение безопасности и экологичности предлагаемых технических решений

3.1 Конструктивно-технологическая характеристика рассматриваемого объекта

В ходе выполнения настоящей выпускной квалификационной работы решались вопросы, связанные с повышением эффективности сварочных технологии при выполнении ремонта технологических трубопроводов из теплоустойчивых сталей. Выполненный 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. Для повышения эффективности сварки предложено внедрить разработки отечественных исследователей.

Проектная технология укрупнённо может быть представлена в виде набора из семи операций, особенности выполнения которых представлены в таблице 5. Первой операцией является подготовка, для выполнения которой применяется кромкострогательный станок и шлифовальная машина. Второй операцией является сборочная, для выполнения которой применяется центратор и комплект измерительного оборудования. Третьей операцией является предварительный подогрев, который выполняется с применением индукционного подогревателя. Четвёртой операцией является сварка, которая выполняется с применением центратора, источника питания, механизма подачи проволоки, газовой аппаратуры. Пятой операцией является зачистка сварного шва, которая выполняется с применением шлифовальной машины. Шестой операцией является контроль качества, для выполнения которого применяется набор визуального контроля и дефектоскоп.

Таблица 5 – Технологический паспорт технического объекта

Наименование технологической операции в соответствии с проектным процессом	Привлекаемый для выполнения операции персонал	Перечень применяемого на операции технологического оборудования	Применяемые материалы и вещества
1. «Подготовительная операция	Слесарь-сборщик	Кромкострогальный станок, машинка шлифовальная	СОЖ, абразивный круг
2. Сборочная операция	Слесарь-сборщик	Центратор типа ЦН	Сжатый воздух
3. Проведение предварительного подогрева собранного стыка труб	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	Подогреватель стыков индукционный	-
4. Осуществление сварки стыка на трубопроводе	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	Источник питания сварочной дуги, центратор типа ЦН, сварочный полуавтомат	Проволока присадочная, электроды LB-62
5. Проведение зачистки сварного шва	Слесарь-сборщик	машинка шлифовальная, зубило, молоток	Абразивный круг
6. Проведение контроля качества сварных стыков труб» [21]	Дефектоскопист рентгенографирования	Аппарат рентгеновский Арина 5	Плѐнка типа РП

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 5 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 6 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, замыкание которой может произойти через тело человека,
- повышенная температура поверхностей оборудования, материалов,
- инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации,
- ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений.

Решение по выбору эффективных средств устранения выявленных опасных и вредных производственных факторов должно основываться на основании ранее представленных в таблице 6 данных.

Таблица 6 – Выявление и анализ источников возникновения производственных рисков

Наименование технологической операции	Формулировка вредного или опасного фактора, который возникает в процессе выполнения данной операции технологического процесса
1. Подготовительная операция, 2. Сборочная операция 5. Проведение зачистки сварного шва	- 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
3. Проведение предварительного подогрева собранного стыка труб	- 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
4. Осуществление сварки стыка на трубопроводе	- 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 - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение
6. Проведение контроля качества сварных стыков труб	- 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

Следует учитывать не только опасное воздействие на персонал негативных факторов, но и их кумулятивный эффект при длительном воздействии.

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 6, позволяет выработать решения по обеспечению безопасности производственного процесса, которые представлены в таблице 7.

Таблица 7 – 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 7 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 8 .

Таблица 8 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Наименование участка	Участок, на котором осуществляется сварка и наплавка
Наименование оборудования	кромкострогательный станок, шлифовальная машина, 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» [6]

На основании данных таблицы 8 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 9 приведены технические средства по устранению этих факторов.

Таблица 9 – 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» [6]
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 10 и включают в себя набор стандартных методик и технических средств.

Таблица 10 – 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
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
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

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности сварочных технологий при выполнении ремонта технологических трубопроводов из теплоустойчивых сталей. Выполненный 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 укрупнённо может быть представлена в виде набора из семи операций. Первой операцией является подготовка, для выполнения которой применяется кромкострогательный станок и шлифовальная машина. Второй операцией является сборочная, для выполнения которой применяется центратор и комплект измерительного оборудования. Третьей операцией является предварительный подогрев, который выполняется с применением индукционного подогревателя. Четвёртой операцией является сварка, которая выполняется с применением центратора, источника питания, механизма подачи проволоки, газовой аппаратуры. Пятой операцией является зачистка сварного шва, которая выполняется с применением шлифовальной машины. Шестой операцией является контроль качества, для выполнения которого применяется набор визуального контроля и дефектоскоп. В таблице 11 представлены исходные данные для проведения экономических расчётов по рассматриваемым вариантам технологии сборки и сварки с учётом рыночной стоимости используемого оборудования и вспомогательных затрат.

Таблица 11 – 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
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	2	2
Разряд работников	P_p	-	IV	IV
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	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования	$Ц_{об}$	руб.	54 тыс.	130 тыс.
Норма амортизации оборудования	K_a	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	4	8
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
Площадь под оборудование	S	$м^2$	20	20
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эксп}$	(Р/ $м^2$)/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	Р/ $м^2$	30000	30000
Норма амортизации площади	$На.пл.$	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	$K_{пл}$	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	E_n	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [11]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

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: $F_H = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 2 = 4418$ часов. Значение эффективного фона рабочего времени следует вычислить с учётом задаваемых потерь рабочего времени $B=7\%$:

$$F_э = F_H(1 - B/100). \quad (2)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $F_э = 4418 \cdot (1 - 7/100) = 4108$ 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: $t_{шт.баз} = 4,0 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 4,84$ часа и $t_{шт.проектн.} = 1,7 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 2,06$ часа.

Размер годовой программы Π_r рассчитывается с учётом рассчитанных выше штучного времени для проектного и базового вариантов технологии, а также с учётом ранее определённого годового фонда времени работы оборудования:

$$\Pi_r = F_{э} / t_{шт} . \quad (4)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $\Pi_{r.баз.} = 4108/4,84 = 848$ стыков для базового технологического процесса и $\Pi_{r.пр.} = 4108/2,06 = 1994$ 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 $\Pi_r = 400$ 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: $n_{расч} = 4,84 \cdot 400 / (4108 \cdot 1,03) = 0,46$ для базового варианта технологического процесса; $n_{расч} = 2,06 \cdot 400 / (4108 \cdot 1,03) = 0,20$ 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: $K_з = 0,46/1 = 0,46$ для базового варианта технологического процесса и $K_з = 0,20/1 = 0,20$ 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 используемого 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 N_p по формуле:

$$M = C_M \cdot N_p \cdot K_{Т-з} \cdot \quad (7)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $M=(335 \cdot 1,7 + 148,5) \cdot 1,05 = 313,98$ рублей для операций базового технологического процесса; для операций проектного технологического процесса: $M=(177,88 \cdot 1,4 + 60,0 \cdot 11,67) \cdot 1,05 = 178,28$ рублей.

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $Z_{осн} = 4,84 \cdot 200 \cdot 1,88 = 1742,40$ рублей для базового варианта технологического процесса и $Z_{осн} = 2,06 \cdot 200 \cdot 1,88 = 774,56$ рублей для проектного варианта технологического процесса.

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить

расчётную величину: $Z_{\text{доп}} = 1742,40 \cdot 12/100 = 209,09$ рублей для операций базового технологического процесса и $Z_{\text{доп}} = 774,56 \cdot 12/100 = 92,95$ 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: $\text{ФЗП} = 1742,40 + 209,09 = 1951,49$ рублей для операций базового технологического процесса и $\text{ФЗП} = 774,56 + 92,95 = 867,51$ 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: $O_{\text{сн}} = 1951,49 \cdot 30/100 = 663,51$ рублей для операций базового технологического процесса и $O_{\text{сн}} = 867,51 \cdot 30/100 = 294,95$ 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_3 :

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

При вычислении амортизационных отчислений $A_{\text{об}}$ следует учитывать норму амортизации H_a , которая для рассматриваемой выпускной квалификационной работы составляет $H_a = 21,5 \%$. Также в расчёт включено машинное время $t_{\text{маш}}$, которое ранее было рассчитано для операций проектной и базовой технологий. В формулу включены также эффективный годовой фонд времени работы оборудования F_3 и цена оборудования $\Pi_{\text{об}}$.

$$A_{\text{об}} = \frac{\Pi_{\text{об}} \cdot H_a \cdot t_{\text{маш}}}{F_3 \cdot 100}. \quad (12)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $A_{об.} = 54000 \cdot 21,5 \cdot 4 / 4108 / 100 = 11,33$ рублей по базовому варианту технологии, по проектному варианту технологии: $A_{об.} = 130000 \cdot 21,5 \cdot 1,7 / 4108 / 100 = 11,63$ 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 $C_{э.э.}$:

$$P_{э.э.} = M_{уст.} \cdot t_{маш} \cdot C_{э.э.} / \text{КПД}. \quad (13)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $P_{э.э.} = 4 \cdot 4 \cdot 3,4 / 0,7 = 40$ рублей для базового варианта технологического процесса, $P_{э.э.} = 8 \cdot 1,7 \cdot 3,4 / 0,85 = 28$ рублей для проектного технологического процесса.

После подстановки рассчитанных выше значений в формулу (11) вычисляем затраты на оборудование: $Z_{об} = 11,33 + 40,00 = 51,33$ рублей по базовому технологическому процессу и $Z_{об} = 11,63 + 28,00 = 39,63$ рублей по проектному технологическому процессу.

Размер технологической себестоимости $C_{тех}$ определяется исходя из ранее определённых значений затрат на материалы M , отчислений на социальные нужды $O_{сн.}$, фонда заработной платы $\Phi ЗП$, затрат на производственные площади $Z_{пл}$ и затрат на оборудование $Z_{об.}$:

$$C_{тех} = M + \Phi ЗП + O_{сн.} + Z_{пл} + Z_{об.} \quad (14)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $C_{тех} = 313,98 + 1951,49 + 663,51 + 51,33 = 2980,31$ рублей для базового варианта технологического процесса, и для проектного технологического процесса $C_{тех} = 178,28 + 867,51 + 294,95 + 39,63 = 1380,37$ 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 $Z_{\text{осн}}$:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $C_{\text{цех}}=2980,31+1,5 \cdot 1742,40 = 2980,31 + 2613,60 = 5593,91$ рублей для базового технологического процесса и для проектного технологического процесса $C_{\text{цех}}=1380,37+1,5 \cdot 774,56 = 1380,37 + 1161,84 = 2542,21$ рублей.

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $C_{\text{зав}} = 5593,91+1,15 \cdot 1742,40= 5593,91 + 2003,76 = 7597,67$ рублей для базового варианта технологии, и для проектного технологического процесса $C_{\text{зав}}=2542,21+1,15 \cdot 774,56=2542,21+890,74= 3432,95$ рублей.

В таблице 12 представлена калькуляция заводской стоимости.

Таблица 12 – 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	<i>M</i>	313,98	178,28
2. Фонд заработной платы	<i>ФЗП</i>	1951,49	867,51
3. Отчисления на соц. нужды	<i>O_{осн}</i>	663,51	294,95
4. Затраты на оборудование	<i>Зоб</i>	51,33	39,63
5. Технологическая себестоимость	<i>C_{тех}</i>	2980,31	1380,37
6. Цеховые расходы	<i>P_{цех}</i>	2613,60	1161,84
7. Цеховая себестоимость	<i>C_{цех}</i>	5593,91	2542,21
8. Заводские расходы	<i>P_{зав}</i>	2003,76	890,74
9. Заводская себестоимость» [12]	<i>C_{зав}</i>	7597,67	3432,95

Данные, представленные в таблице 12, позволяют судить о высокой эффективности проектной технологии, которая позволяет уменьшить заводскую себестоимость относительно базовой технологии. Дальнейшие работы направлены на определение величины капитальных вложений при реализации проектной технологии и реализации базовой технологии. 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 $\Pi_{\text{об. б.}}$.

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $\Pi_{\text{об. б.}} = 541200 - (541200 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 19212,6$ рублей.

Капитальные затраты по базовой технологии могут быть рассчитаны как:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $K_{\text{общ. б.}} = 1 \cdot 19212,6 \cdot 0,46 = 8837,80$ рублей.

Расчёт капитальных затрат $K_{\text{общ. пр.}}$ при реализации проектной технологии требует учёта капитальных вложений в производственные

площади $K_{пл.пр.}$, сопутствующих затрат $K_{соп}$ и капитальных затрат на оборудование $K_{об.пр.}$:

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

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 $K_{ТЗ}=1,05$, цены оборудования $Ц_{об}$ и коэффициента загрузки оборудования $K_з$:

$$K_{об.пр.} = Ц_{об. пр.} \cdot K_{ТЗ} \cdot K_{зп.} \quad (20)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $K_{об.пр.} = 130680 \cdot 1,05 \cdot 0,20 = 27442,8$ рублей.

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

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $P_{дем} = 54120 \cdot 0,05 = 2705$ рублей.

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $P_{монт} = 130680 \cdot 0,05 = 6534$ рублей.

Величина сопутствующих расходов определяется как

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $P_{соп} = 2705 + 6534 = 9239$ рублей.

Далее с использованием подставленных в формулу (19) значений получили общие капитальные затраты $K_{\text{общ. пр.}} = 27442 + 9239 = 36681$ 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 $K_{\text{доп}} = 36681 - 8837 = 27844$ рублей.

Величину удельных капитальных вложений определяем с учётом годовой программы Π_T :

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $K_{\text{уд}} = 36681/400 = 91,70$ рублей за единицу продукции по базовой технологии и $K_{\text{уд}} = 8837 / 400 = 22,09$ 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 $\Delta t_{\text{шт}} = (4,84 - 2,06) \cdot 100 \% / 4,84 = 57 \%$.

Повышение производительности Π_T рассчитывается как

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $\Pi_T = 100 \cdot 57 / (100 - 57) = 133 \%$.

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $\Delta C_{\text{тех}} = (2980 - 1380) \cdot 100\% / 2980 = 54 \%$.

Размер условно-годовой экономии $\Pi_{\text{ож}}$ рассчитывается как

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $\Pi_{\text{ож}} = (7597,67 - 3432,95) \cdot 400 = 1665888$ рублей.

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $T_{\text{ок}} = 27844 / 1665888 = 0,16$ года.

Величина годового экономического эффекта \mathcal{E}_{Γ} рассчитывается как

$$\mathcal{E}_{\Gamma} = \mathcal{E}_{\text{уг}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}} \quad (31)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $\mathcal{E}_{\Gamma} = 1665888 - 0,33 \cdot 27844 = 1656700$ рублей.

Таким образом, 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 решениях. Производительность труда повышается на 133 %. Уменьшение технологической себестоимости составило 54 %. При этом за счёт повышения производительности труда и снижения издержек удалось получить годовой экономический эффект в размере 1,6 млн. рублей. Средства, затраченные на внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений, будут окуплены за 0,16 года.

Заключение

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности сварочных технологий при выполнении ремонта технологических трубопроводов из теплоустойчивых сталей.

Выполненный 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. Для повышения эффективности сварки предложено внедрить разработки отечественных исследователей.

Проектная технология укрупнённо может быть представлена в виде набора из семи операций. Первой операцией является подготовка, для выполнения которой применяется кромкострогательный станок и шлифовальная машина. Второй операцией является сборочная, для выполнения которой применяется центратор и комплект измерительного оборудования. Третьей операцией является предварительный подогрев, который выполняется с применением индукционного подогревателя. Четвёртой операцией является сварка, которая выполняется с применением центратора, источника питания, механизма подачи проволоки, газовой аппаратуры. Пятой операцией является зачистка сварного шва, которая выполняется с применением шлифовальной машины. Шестой операцией является контроль качества, для выполнения которого применяется набор визуального контроля и дефектоскоп.

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 решениях. Производительность труда повышается на 133 %. Уменьшение технологической себестоимости составило 54 %. При этом за счёт повышения производительности труда и снижения издержек удалось получить годовой экономический эффект в размере 1,6 млн. рублей. Средства, затраченные на внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений, будут окуплены за 0,16 года.

Таким образом, внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений в производство позволяет получить доказанный расчётным путём экономический эффект. Доказана экономическая и технологическая эффективность предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений.

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. Арчаков Ю. И. Современные проблемы водородной коррозии сталей и надежность эксплуатации оборудования гидрогенизационных процессов // Водородная обработка материалов: Тез. докл. Донецк, 2001. С. 482-491.
2. А.с. № 1530369 СССР. Устройство для дуговой сварки плавящимся электродом.
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. Гельд П. В., Рябов Р. А. Водород в металлах и сплавах. М. : Металлургия, 1974. 273 с.
6. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
7. 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.
8. Климов А. С. Выпускная квалификационная работа бакалавра: учебно-метод. пособие по выполнению выпускной квалификационной работы бакалавра. Тольятти : ТГУ, 2021. 62 с.
9. 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.
10. Крампит А. Г., Крампит Н. Ю., Габитов Э. К. Модернизация сварочного оборудования – как решение приоритетной задачи по импортозамещению // Технологии и материалы: технический научно-производственный журнал. 2016. № 6. С. 18–23.
11. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.

12. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.
13. Лебедев Б. Д., Цыган Б. Г. Исследование структуры швов, выполненных автоматической сваркой с присадкой и без нее // Сварочное производство. 1978. № 2. С. 39–41.
14. Мау В. А., Улюкаев А. В. Глобальный кризис и тенденции экономического развития // Вопросы экономики. 2014. № 11. С. 15–21.
15. Патент № 2219032 РФ, МКИ В23К35/365. Состав электродного покрытия / Лозовский М. М., Волохов А. П., 2003.
16. Патон Б. Е., Семенов С. Е., Рыбаков А. А. О старении и оценке состояния металла эксплуатируемых трубопроводов // Автоматическая сварка. 2000. № 7. С. 3–12.
17. 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.
18. Потапьевский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Часть 1. Сварка в активных газах. К. : Экотехнология, 2007. 192 с.
19. Розерт Р. Применение порошковых проволок для сварки в промышленных условиях // Автоматическая сварка. 2014. № 6-7. С. 60–64.
20. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов : учебное пособие. Тольятти : ТГУ, 2007. 301 с.
21. Стасюк С. З. Об эксплуатации сварных соединений технологических трубопроводов и змеевиков печей нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств // Материалы и механизмы морского транспорта. Методы исследования и упрочнения. Технология производства: Тез. докл. Севастополь, 2008. С. 109-116.

22. Стасюк С. З. Работоспособность хромомолибденовых сталей в конструкции печных змеевиков трубчатой печи установки каталитического риформинга и гидроочистки // *Металл и литьё Украины*. 2009. № 11–12. С. 29–33.

23. 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.

24. Шлепаков В. Н. Современные электродные материалы и способы электродуговой сварки плавлением // *Автоматическая сварка*. 2011. № 1. С. 31–35.