

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 Разработка технологического процесса ремонта трубопровода

Обучающийся

Д.В. Костин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н. А.Ю. Краснопевцев

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультанты

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

к.э.н., доцент О.М. Сярдова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2025

Аннотация

В основе любого химического и энергетического производства лежит значительное количество технологических трубопроводов, протяженность которых составляет до нескольких десятков километров. Строительство и обслуживание сложной системы трубопроводов представляется серьёзной задачей, от правильности выполнения которой зависит безопасность и эффективность эксплуатации технологических установок. Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности сварочных работ при строительстве и ремонте паропроводов. В проектной технологии предлагается повысить эффективность сварки за счёт применения импульсного управления переносом электродного металла. Это позволило повысить пространственную стабильность сварочной дуги и отказаться от выполнения подварочного прохода. Также применение предлагаемой схемы импульсного управления сваркой обеспечивает измельчение структуры металла сварного шва и интенсивное перемешивание сварочной ванны, за счёт чего обеспечивается отсутствие пор и равнопрочность. При этом возможно исключение термической обработки после сварки. Проектная технология предусматривает выполнение корневого слоя шва аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом, а заполнение разделки и облицовочный слой выполняется с применением механизированной сварки порошковой проволокой в среде углекислого газа. Это позволили существенно повысить производительность сварки за счёт уменьшения доли сварки не плавящимся электродом и замены ручной дуговой сварки на сварку порошковой проволокой.

Содержание

Введение	5
1 Современное состояние ремонтной сварки паропроводов на объектах химической промышленности	7
1.1 Описание рассматриваемого элемента паропровода и условий его работы.	7
1.2 Анализ применяющейся для изготовления тройника и труб стали.	10
1.3 Особенности выполнения операций базового технологического процесса ремонтной сварки паропровода.	14
1.4 Постановка задач на выполнение выпускной квалификационной работы.	23
2 Проектная технология ремонтной сварки паропровода	25
2.1 Обоснование выбора способа сварки.	25
2.2 Повышение эффективности сварки.	32
2.3 Описание операций проектного технологического процесса ремонтной сварки паропровода.	41
3 Промышленная безопасность производственного участка.	50
3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи	50
3.2 Идентификация негативных производственных факторов.	52
3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов.	53
3.4 Пожарная безопасность производственного участка	55
3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка.	57
4 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений.	59
4.1 Исходные данные для экономического расчёта.	59
4.2 Фонд времени работы оборудования.	61

4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства. .	62
4.4 Заводская себестоимость.	64
4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам.	70
4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей.	72
Заключение	74
Список используемой литературы и используемых источников.	76

Введение

В основе любого химического и энергетического производства лежит значительное количество технологических трубопроводов, протяженность которых составляет до нескольких десятков километров. Строительство и обслуживание сложной системы трубопроводов представляется серьёзной задачей, от правильности выполнения которой зависит безопасность и эффективность эксплуатации технологических установок. Также следует принимать во внимание, что практически каждое химическое производство содержит мощные энергетические установки, работа которых связана с передачей нагретых жидкостей и пара. Работа линейных частей элементов паропровода проходит в значительно более сложных условиях по сравнению с работой линейных элементов передачи холодной воды и продуктов. При строительстве паропроводов применяются такие стали, как 15Х1М1Ф, 12Х1МФ, 15ХМ, 12МХ. При этом наиболее распространена ручная дуговая сварка, меньшее распространение получила механизированная сварка в защитных газах и сварка под флюсом. Сварка неплавящимся электродом может применяться в составе комбинированной технологии, когда прихватки и корневой слой выполняется неплавящимся электродом, а заполнение разделки и облицовку выполняют ручной дуговой сваркой [8]. Следует указать на такие факторы, определяющие ресурс паропровода [18], как высокие температуры эксплуатации, достигающие нескольких сотен градусов Цельсия; значительные внутренние давления, достигающие нескольких десятков атмосфер; значительные статические напряжения, связанные с компенсацией возникающих усилий; ударные нагрузки при открывании и закрывании потока пара; вибрационные нагрузки; кавитационные нагрузки. В процессе длительной эксплуатации в металле паропровода проходят деструктивные явления, приводящие к охрупчиванию металла и разрушению элементов паропровода. При этом наиболее повреждаемыми элементами конструкции являются сварные швы и переходные части, например, тройники

[29]. При этом существенное влияние на ресурс паропровода в месте выполнения сварных швов оказывает влияние структура металла, а также химическая и структурная неоднородность в месте сварки [9], с учётом чего необходимо принимать меры по оптимизации параметров режима сварки и поиска перспективных решений в области совершенствования сварочных технологий. На разрушение паропроводов при длительной эксплуатации также оказывает влияние характер распределения напряжений и наличие концентраторов напряжений [20], основным местом концентрации напряжений является формирующее кольцо, остающееся при выполнении сварных стыков на паропроводах, поэтому при строительстве и ремонте паропроводов малого диаметра и нагруженных участков паропроводов (например, места вварки тройников) подкладные кольца не используются, а корневой слой шва выполняется с применением сварки неплавящимся электродом. В процессе построения технологических процессов сварки при строительстве и ремонте паропроводов в основном придерживаются следующих условий: необходимо проведение предварительного подогрева стыка труб до температуры 300...350 °С, сварку следует выполнять одновременно двумя сварщиками с применением обратно-ступенчатого способа выполнения сварного шва, сразу же после выполнения сварки необходимо провести высокотемпературный отпуск. Также при реализации сварочных технологий особое внимание следует уделить соблюдению заданных параметров режима сварки и техники сварки. На основании вышеизложенного выбранное направление исследования и тему выпускной квалификационной работы следует признать актуальными. Актуальной является и цель – повышение эффективности сварочных процессов при ремонте паропроводов. Поставленная цель должна достигаться за счёт применения разработок российских исследователей в области сварки, что позволит обеспечить промышленный и научный суверенитет России и уменьшить зависимость промышленности от поставок из-за рубежа высокотехнологического оборудования и компонентов [6], [14], [23], [26].

1 Современное состояние ремонтной сварки паропроводов на объектах химической промышленности

1.1 Описание рассматриваемого элемента паропровода и условий его работы

В рамках настоящей выпускной квалификационной работы рассматривается вопрос сварки в паропровод тройника, представленного на рисунке 1. Рассматриваемый паропровод эксплуатируется на установках производства аммиака и относится к I категории. Рабочая среда – перегретый пар при температуре до 500 °С и давлении 100 атм. Материал присоединяемых труб – сталь 15ХМ, материал самого тройника – сталь 12Х1МФ. Чертеж тройника представлен на рисунке 2, он спроектирован на приварку к трубам диаметром 273 мм с толщиной стенки 30 мм.

При изучении особенностей разрушений сварных соединений паропроводов установлено, что значительная роль в концентрации напряжений отводится конструктивным особенностям выполняемого при сварке паропровода стыка. Например, остающееся при сварке стыка подкладное кольцо, тройниковое соединение, перепад стенки трубы по толщине, резкий переход от наплавленного металла сварного шва к основному металлу стенки трубы. Также роль концентраторов напряжений играют дефекты, полученные в ходе сварки, такие как непровары, шлаковые включения, пористость сварного шва и кристаллизационные трещины.

При образовании усталостных трещин в паропроводе действует сочетание двух механизмов разрушения – ползучести и усталости, в зависимости от преобладания которых по разному проявляются особенности усталостного разрушения. При действии на стенку трубы повышенных температур и динамических нагрузок в режиме «пуск-остановка» в общей картине разрушения преобладает механизм усталости.



Рисунок 1 – Тройник паропровода

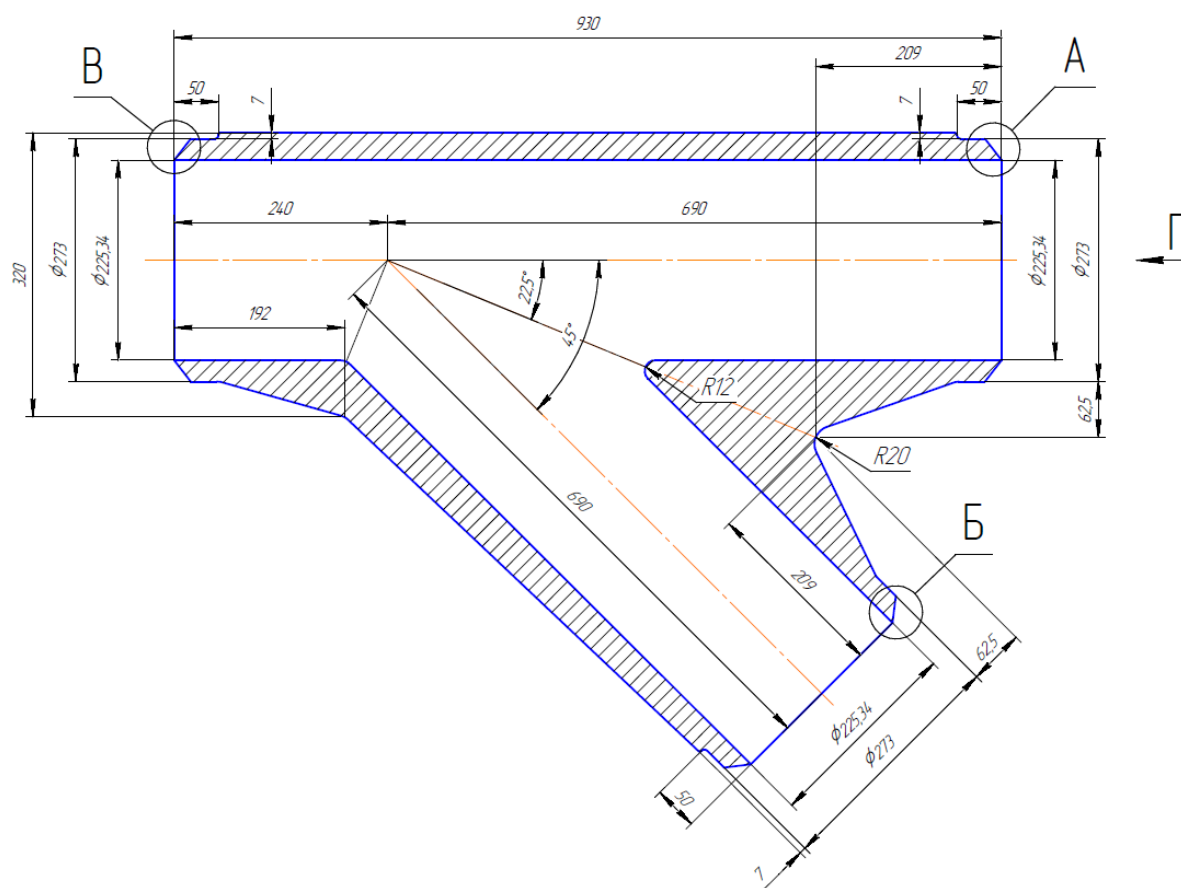


Рисунок 2 – Размеры ремонтного тройника

При работе паропровода в режиме нормативной нагрузки и малом количестве циклов «пуск-остановка» преобладает механизм ползучести. При анализе 30 образцов, взятых в местах разрушения паропроводов, установлено, что порядка 60 % усталостных трещин проходит по участку неполной перекристаллизации. По наплавленному металлу сварного шва проходит 20 % трещин. По зоне сплавления проходит порядка 12 % трещин, а по участку перегрева проходит всего 8 % трещин.

При работе паропровода более 190 тысяч часов скорость образования и развития дефектов резко увеличивается [25].

Как показывает практика эксплуатации паропроводов из рассматриваемых сталей, в качестве основных причин выхода их из строя следует указать: дефекты трубы и элементов, допущенные при их изготовлении (к таким дефектам относятся трещины, закаты, плены и другие дефекты); нежелательная структура, полученная в результате неправильно проведенной термической обработки (перлит, мелкое аустенитное зерно и т.д.); перегрев трубы и элемента по причине нарушения эксплуатационных режимов; тепловая усталость материала труб и элементов; коррозия, наблюдаемая как с внешней, так и с внутренней стороны элементов трубопровода; эрозия стенки. Как показывает практика, дефекты металлургического характера проявляют себя на первом этапе эксплуатации и могут привести к нарушению целостности конструкции и образованию свищей, если речь идет о трещинах металлургического происхождения. Перегрев трубы может быть как кратковременный, так и длительный, при этом в первом случае происходит разрушение трубы вследствие истощения кратковременной прочности и разрыв трубы, а во втором случае в стенке трубы образуется сетка продольных трещин. Следует принимать во внимание, что уменьшение срока эксплуатации паропровода от нормативных происходит по причине коррозионных поражений на наружной и внутренней стенке, неблагоприятных изменений в структуре металла под действием длительного перегрева и колебаний температуры.

1.2 Анализ применяющейся для изготовления тройника и труб стали

Материал присоединяемых труб – сталь 15ХМ, материал самого тройника – сталь 12Х1МФ. Рассматриваемые стали могут быть отнесены к низколегированным жаропрочным сталям и применяются для изготовления металлических конструкций, работа которых происходит в условиях действия повышенных температур до 585 °С. Рассматриваемые стали перлитного класса были предложены промышленности в прошлом веке и первоначально рассчитывались на длительную эксплуатацию в течение 300 тысяч часов при температуре 565...600 °С. В начале 70-х годов прошлого века, на основании опыта промышленного применения температура эксплуатации паропроводов из таких сталей была уменьшена до 545 °С, а потом и вообще до 510 °С. Срок эксплуатации конструкций из рассматриваемых сталей тоже был понижен до 100 тысяч часов. Причиной этого стала повышенная повреждаемость конструкций из рассматриваемых сталей вследствие образования пор и слоистости металла. При этом применяющиеся ранее методики расчёта и прогнозирования состояния конструкций при длительной их эксплуатации оказались непригодными, так как давали завышенные значения эксплуатационных параметров, которые в ходе промышленной эксплуатации не оправдались [22].

Содержание химических элементов в стали 15ХМ представлено в таблице 1. Содержание химических элементов в стали 12Х1МФ представлено в таблице 2. Сера и фосфор в рассматриваемых сталях являются вредными примесями, содержание которых ограничивается 0,035 % каждого элемента.

При соблюдении нормативных режимов эксплуатации парового оборудования (в частности, рассматриваемого в настоящей выпускной квалификационной работе пароперегревателе) температура перегретого пара составляет 410...510 °С. Возможно повышение температуры острого пара до 545...570 °С. Повышение температуры пара выше указанного значения не

рекомендуется по причине быстрого выхода из строя паропровода, что является следствием ускорения негативных процессов деградации материала элементов паропровода [5].

Таблица 1 – Химический состав стали 15ХМ [31]

C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Cu
0,11-0,18	0,17-0,37	0,4-0,7	До 0,3	0,8-1,1	0,4-0,55	До 0,3

Таблица 2 – Химический состав стали 12Х1МФ [31]

C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Cu	V
0,1-0,15	0,17-0,37	0,4-0,7	До 0,3	0,9-1,2	0,25-0,35	До 0,2	0,15-0,3

Сталь 15ХМ в составе имеет приблизительно 0,5 % молибдена и 1 % хрома, что положительно сказывается на окалиностойкости. Температура длительной эксплуатации трубы из такой стали составляет 550 °С, что обеспечивает значительный ресурс линейной части паропровода выполненного из этой стали. Продолжительность эксплуатации элементов из стали 15ХМ составляет 100 тысяч часов, но, как показали исследования, проведенные на ряде предприятий России и мира, такой срок эксплуатации может быть увеличен.

Сталь 12Х1МФ в составе содержит хром порядка 1 %, который повышает окалиностойкость. Введение ванадия и молибдена позволяет повысить жаропрочность стали. Элементы трубопровода, изготовленные из этой стали, могут работать при температурах, достигающих 570 °С. Предел текучести стали 12Х1МФ в рассматриваемой конструкции тройника составляет 275 МПа, временное сопротивление составляет 450 МПа при относительном удлинении 18 % и относительном сужении 45%. Ударная вязкость должна быть на уровне 5 кгс/см². Применение для изготовления тройника стали 12Х1МФ позволяет повысить стойкость конструкции против кавитации и динамических нагрузок, которыми характеризуется работа рассматриваемого тройника на паропроводе.

На рисунке 3-а представлена исходная структура стали 12Х1МФ при увеличении 2000 крат. Под длительным действием нагрева и внутреннего давления наблюдается структурная деградация стали. Если исходная структура представляет феррит и пластинчатый перлит, то в процессе эксплуатации происходит сфероидизация цементита в перлите и выделение дисперсных фаз в твердом растворе, что показано на рисунке 3-б. При этом происходит охрупчивание металла, если в исходном состоянии микротвердость ферритной фазы составляла 650 МПа, а микротвердость перлитной фазы составляла 1750 МПа, то после длительной эксплуатации микротвердость ферритной фазы повысилась до 1144 МПа, а микротвердость перлитной фазы повысилась до 2450 МПа.

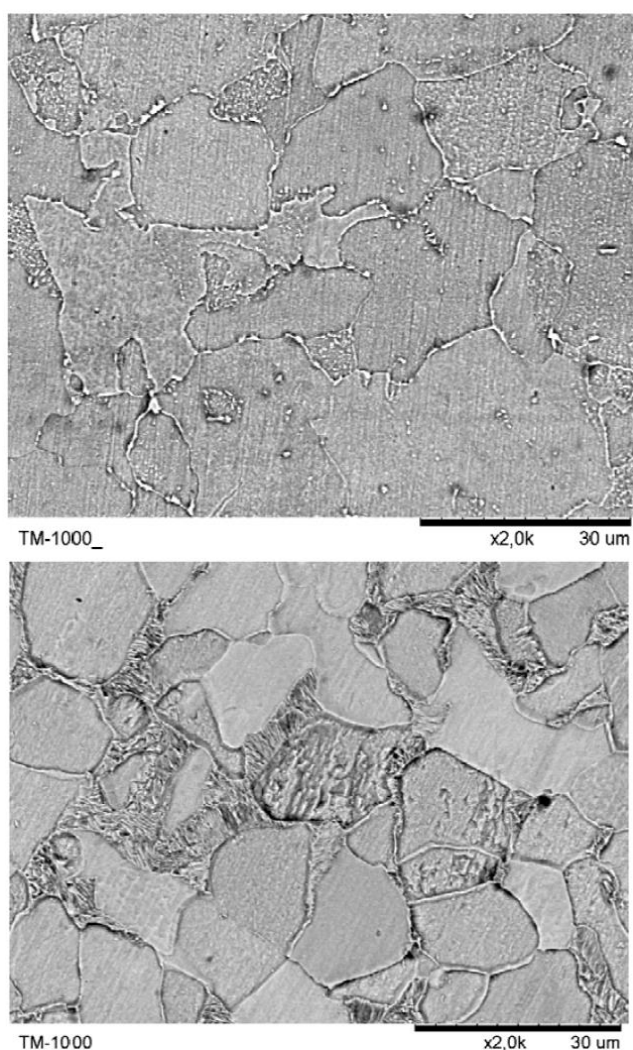


Рисунок 3 – Микроструктура стали 12Х1МФ исходная (а) и после продолжительной эксплуатации (б)

В качестве отличительной черты рассматриваемых сталей, которая определяет особенности их сварки, следует указать их высокую восприимчивость к скорости охлаждения при сварочном цикле. По этой причине при сварке происходит изменение свойств металла, формирование неоднородной структуры сварного шва и сложной картины остаточных напряжений [30]. При сварке рассматриваемых сталей можно указать такие затруднения, которые определяют особенности построения технологических процессов: образование горячих трещин, образование холодных трещин, охрупчивание металла в зоне термического влияния.

Для повышения прочности металла зоны термического влияния при сварке рассматриваемых сталей применяется термическая обработка (нормализация + отпуск). При этом наибольшая эффективность обеспечивается при термической обработке всей детали, так как при местной термической обработке зона неблагоприятных структурных изменений сдвигается вглубь детали.

Для предотвращения образования холодных трещин эффективно проведение предварительного и сопутствующего подогрева, который позволяет существенно уменьшить уровень остаточных напряжений. При этом следует строго соблюдать заданные границы значения температуры, так как перегрев детали вызывает образование грубой ферритной фазы, что негативно сказывается на прочностных свойствах сварного соединения. Также для уменьшения скорости охлаждения металла после сварки и замедления протекания структурных превращений следует выдерживать сварной шов при температуре 150...120 °С на протяжении нескольких часов. Такая мера позволяет полностью завершить аустенитное превращение и выделиться растворенному в металле водороду. Следует отметить высокую эффективность применения импульсных режимов при сварке конструкций из рассматриваемых сталей, которые позволяют сформировать оптимальную структуру металла соединения и полностью выделиться растворенным в расплавленном металле газам [27], [28].

1.3 Особенности выполнения операций базового технологического процесса ремонтной сварки паропровода

Проведение ремонтной сварки рассматриваемого участка паропровода предусматривает демонтаж дефектного тройника и вварку нового тройника с соблюдением требований к выполнению операций технологического процесса. К сварочным работам могут быть допущены прошедшие аттестацию сварщики, которые уже имеют опыт выполнения аналогичных работ на паропроводах из теплоустойчивых сталей. Так как в базовом технологическом процессе предусмотрена комбинированная сварка, то сварщики должны иметь опыт именно при выполнении этого способа сварки: прихватка и корневой слой шва выполняются сваркой неплавящимся электродом в аргоне, а заполнение разделки и облицовочный слой выполняются ручной дуговой сваркой покрытыми электродами. Все этапы работы должны проводиться при непосредственном контроле специалиста сварочного производства, который аттестован в соответствии с правилами и имеет уровень не ниже 2-го.

Присадочная проволока для выполнения аргонодуговой сварки неплавящимся электродом должна быть протерта смоченной в ацетоне бязью. Перед использованием каждого нового баллона с защитным газом следует выполнить пробную наплавку валика длиной 100...150 мм и визуально оценить качество, в случае неудовлетворительного внешнего вида поверхности металла наплавленного валика (поры на поверхности) использование такого баллона запрещено. Перед выполнением ручной дуговой сварки покрытые электроды должны быть прокалены, для чего применяется представленная на рисунке 4-а прокалочная печь ПСПЭ 40/400М. После прокалки электроды помещаются в предварительно разогретый представленный на рисунке 4-б термический пенал ПСПЭ 10/400, откуда они берутся поштучно непосредственно перед использованием. Температура прокалки электродов составляет 230...270 °С при длительности 2 часа.



Рисунок 4 – Оборудование для прокалики сварочных электродов

Допускается проведение не более трех прокалок, после чего электроды признаются негодными и утилизируются. Все прокаленные электроды должны быть использованы в течение одной рабочей смены, в противном случае требуется проведение повторной прокалики сварочных электродов.

При подготовке кромок деталей перед сваркой может потребоваться механическая резка труб, для чего следует применить представленный на рисунке 5 труборез 2Т-273 с пневматическим приводом, который позволяет выполнять резку труб и подготовку кромок под сварку. При резке труб необходимо соблюдать перпендикулярность торца к оси трубы, отклонение от которой должно составлять не более 1,5 мм. На рисунке 6 представлена требуемая геометрия кромок труб. Так как при сварке не предусмотрено применение подкладного кольца, выточку поверхности труб с внутренней стороны не выполняем.

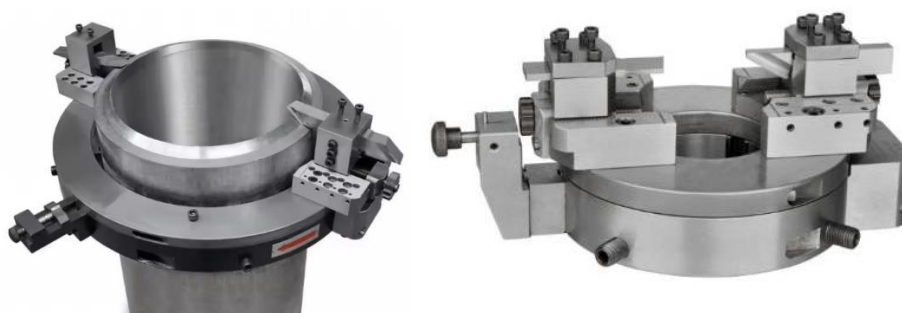


Рисунок 5 – Труборезы для вырезки патрубков и подготовки кромок

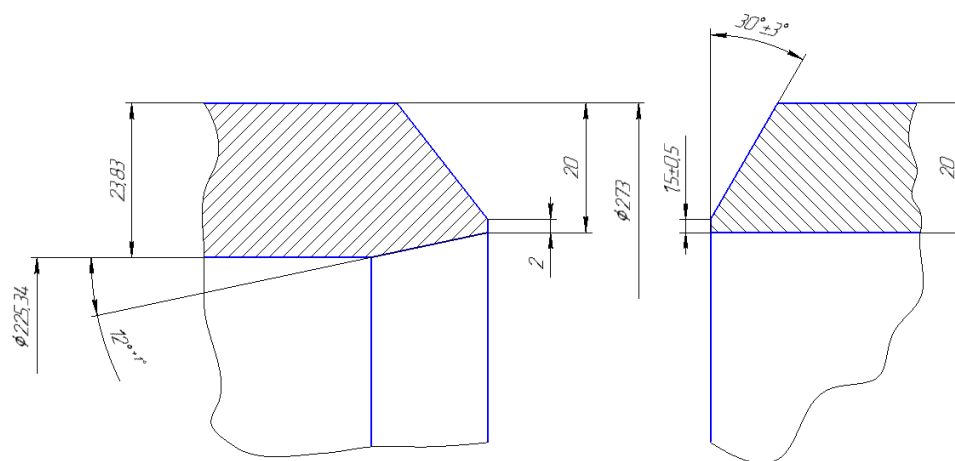


Рисунок 6 – Подготовка поверхности труб перед выполнение сварки согласно размерам соединения С17 по ГОСТ 16037 (б) и заводского торца тройника (а)

Перед сборкой элементов следует выполнить зачистку их поверхности с внутренней стороны и внешней стороны. Внутренняя стенка зачищается до металлического блеска на ширину 20...30 мм. Наружная стенка зачищается до металлического блеска на ширину 30...40 мм. Зачистку поверхности труб выполняют с применением металлической щетки. При обнаружении на участке подготовленных кромок неровностей, которые могут препятствовать последующей сборе, эти неровности следует удалять с применением напильника или абразивного круга. Далее следует провести обезжиривание поверхности собираемых элементов.

Перед выполнением сварки с целью защиты внешней поверхности элементов от брызг расплавленного металла рекомендуется нанесение на неё раствора каолина. Защита поверхности труб выполняется на расстоянии 2...3 мм от ожидаемого перехода наплавленного металла на основной металл.

При помощи фиксирующей оснастки выполняют стыкование торцев тройника и паропровода. Внутренне смещение поверхности труб не должно превышать 0,5 мм, в противном случае необходимо выполнить расточку выступающего элемента по внутреннему диаметру с углом наклона 12...15 градусов, как это показано на рисунке 7. Между кромками стыкуемы элементов должен сохраняться равномерный по всему периметру зазор величиной 2...3,5 мм.

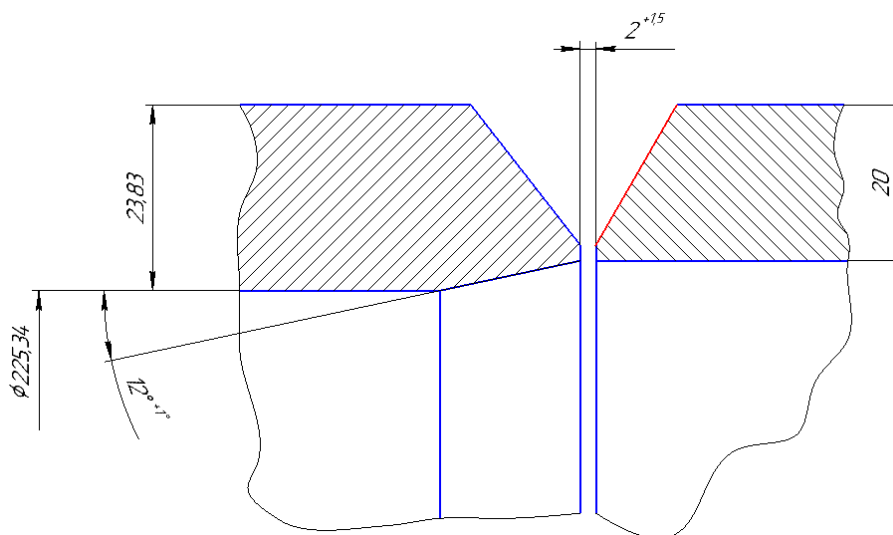


Рисунок 7 – Сборка элементов паропровода под сварку

При помощи металлической линейки проверяется прямолинейность стыка, как это показано на рисунке 8. При длине металлической линейки 400 мм величина зазора не должна превышать 1,5 мм на 200 мм. при сборке не разрешается применять правку с нагревом стыкуемых элементов.

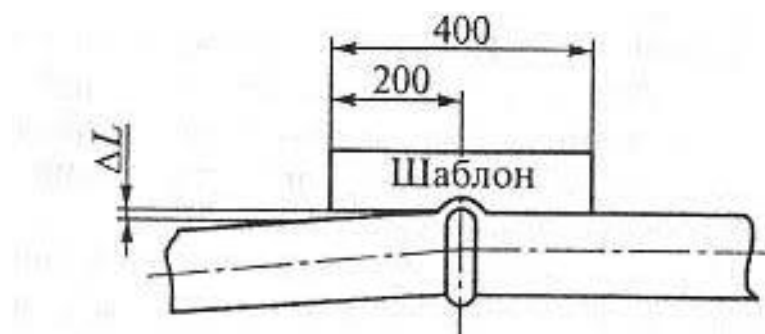


Рисунок 8 – Проверка прямолинейности стыкуемых элементов

После выполнения сборки и проверки её точности выполняют предварительный подогрев деталей с применением пламени газовой горелки. Температура нагрева элементов составляет 200...250 °С. Контроль температуры нагрева выполняется с применением пирометра и термического карандаша. Контролировать температуру нагрева следует не менее чем в трех точках равномерно разнесенных по периметру стыка с обеих сторон шва на расстоянии 10...15 мм. После проведения предварительного подогрева выдержки элементов в нагретом состоянии не требуется.

Далее приступают к выполнению прихваток. Прихватки выполняют с применением представленного на рисунке 9 источника постоянного тока MinarcTig Evo 200. Количество прихваток составляет 3...6 штук, при этом каждая прихватка должна иметь длину порядка 30...35 мм, а сами прихватки равномерно распределяться по периметру стыка. Применяется вольфрамовый электрод диаметром 2,4 мм типа WL-20 или AWS A5.12. Сварку ведут на параметрах режима, которые соответствуют сварке корневого слоя шва и представлены в таблице 3. В качестве защитного газа применяется аргон чистотой 99,9 %. Расход защитного газа на горелку составляет 10...12 литров в минуту. Контроль качества прихваток выполняют визуальный с применением набора ВИК. Дефектная прихватка зачищается и пересваривается с последующим контролем качества.



Рисунок 9 – Источник питания постоянного тока MinarcTig Evo 200

Таблица 3 – Параметры режима сварки неплавящимся электродом корневого слоя шва и первого заполняющего прохода

Слои	Сварочные материалы		Сварочный ток		Напряжение
	марка	Диаметр	Полярность	Сила тока	
1 - корневой	OK Tigrod 13.12	2 мм	прямая	100-140 А	10-15 В
2 - заполняющий	OK Tigrod 13.12	2 мм	прямая	130-180 А	12-17 В

После выполнения прихваток и проверки их качества следует установить заглушки и подать внутрь трубы защитный газ с расходом 8...10 литров в минуту. Для вытеснения объема воздуха изнутри следует дождаться выхода из

баллона объема защитного газа, равного 2...3 объема внутренней полости тройника. Заглушки остаются до конца сварки первого заполняющего слоя. После этого заглушки можно снять, а подачу защитного газа в полость трубы прекратить. Параметры режима сварки корневого слоя шва приведены в таблице 3. Сварку следует вести с минимальной длиной дуги. Стыки в рассматриваемой конструкции считаются неповоротными. Если выполняется вертикальный стык (ось трубы располагается горизонтально), то сварку следует вести сверху-вниз. Если выполняется горизонтальный стык (ось трубы располагается вертикально), то сварку следует выполнять как это показано на рисунке 10. При выполнении сварку дугу следует зажигать только на наплавленном металле или кромках. Запрещается зажигание и гашение дуги на поверхности свариваемых элементов. Сварку следует вести обратнo-ступенчатым способом. Перед зажиганием дуги следует продуть место сварки в течение 15...20 секунд. После обрыва дуги продолжительность продува аргоном составляет 10...15 секунд. При выполнении корневого слоя шва прихватки можно зачищать или переплавлять, высота корневого слоя шва должна составлять 3...4 мм.

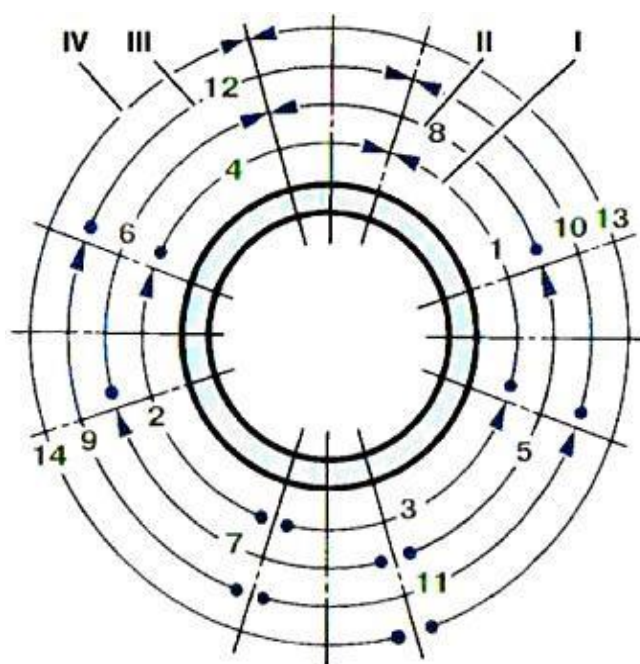


Рисунок 10 – Последовательность выполнения горизонтального стыка

После выполнения корневого слоя шва проводят его зачистку и проверку качества. Далее сваривают первый заполняющий слой с применением аргонодуговой сварки неплавящимся электродом на параметрах режима, представленных в таблице 3. При выполнении сварки следует контролировать межслойную температуру с применением пирометра или термического карандаша, которая не должна выходить за пределы 250...300 °С. Перекрытие валиков в начале и конце должно быть в диапазоне 15...20 мм.

После выполнения, зачистку и проверки качества первого заполняющего слоя проводят сварку второго и третьего заполняющего слоев с применением ручной дуговой сварки. Параметры режима ручной дуговой сварки представлены в таблице 4. Сварку ведут представленным на рисунке 11 источником постоянного тока Minarc Evo 180. Ширина сварочных валиков не должна превышать 9 мм.

Таблица 4 – Параметры режима ручной дуговой сварки

Слои	Сварочные материалы		Сварочный ток		Напряжение
	марка	Диаметр	Полярность	Сила тока	
3,4 - заполняющий	ОК 76.18	3,2 мм	Обратная	100-150 А	18-25 В
5 - облицовочный	ОК 76.18	3,2 мм	Обратная	100-150 А	18-25 В



Рисунок 11 – Источник постоянного тока Minarc Evo 180 для ручной дуговой сварки

После выполнения, зачистки и контроля заполняющих слоев проводят сварку облицовочного слоя, который должен перекрывать основной металл на 1...3 мм и иметь плавный переход.

После выполнения сварки проводят высокий отпуск при температуре 720...750 °С и выдержку в течение 2 часов. Отпуск проводят с применением представленного на рисунке 12 оборудования – установка для индукционного нагрева труб УИН-09



Рисунок 12 – Установка для индукционного нагрева труб УИН-09

Скорость нагрева соединения должна составлять не более 100 °С в час. После нагрева и выдержки соединение следует закрыть теплоизоляционным одеялом и выдерживать до температуры 300 °С, остывание должно проходить со скоростью не более 100 °С в час. Далее остывание соединения должно проходить на спокойном воздухе.

После остывания следует провести зачистку внешней поверхности трубы на расстоянии 20 мм в обе стороны от шва. После того, как сварной стык заварен, его следует заклеить, клеймо сварщика ставится на шве вблизи верхнего замка, для чего следует подготовить площадку 20 на 20 мм, зачищенную с применением абразивного круга или напильника. Возможно проставление клейма на поверхности самой трубы, при этом расстояние между клеймом и сварным швом должно быть 30...40 мм.

При контроле качества проводят визуально-измерительный контроль, ультразвуковой контроль, стилоскопирование и замер твердости. Визуально-

измерительный контроль проводят на 100 % швов, предварительно очищают поверхность трубы на 20 мм в обе стороны от шва, удаляя набрызгивание металла, шлак и другие загрязнения. Визуальный контроль проводят с применением лупы, увеличение которой составляет 4...7 крат, что позволяет уточнять размеры обнаруживаемых дефектов. Поверхность сварного шва должна иметь равномерную чешуйчатость, при этом сопряжение наплавленного и основного металла не должно иметь резких переходов. Не допускается наличие прожогов, наплывов, трещин, выходящих на поверхность пор. При стилоскопировании проверяется содержание в металле сварного шва хрома, ванадия и молибдена. Если в ходе стилоскопирования получен неудовлетворительный результат, перед принятием решения о переделке стыка следует провести дополнительную проверку с применением спектрального анализа.

Недостатком базовой технологии является применение ручной дуговой сварки, которая сопровождается образованием значительного количества дефектов и характеризуется вредными условиями труда сварщика. Кроме того, качество ручной дуговой сварки в значительной степени зависит от квалификации выполняющего работы персонала, что предъявляет высокие требования к кадровому составу и снижает экономические показатели предприятия. Также следует указать на необходимость периодической смены сварочного электрода, что приводит к частым перерывам в сварке и образованию дополнительных дефектов. Также следует рассмотреть возможность сварки без применения подкладного кольца, так как его наличие становится причиной интенсификации процессов усталостного разрушения стыка при длительной работе в неблагоприятных условиях перегрева и вибраций. Решение сформулированных проблем базовой технологии позволит достигнуть поставленной цели выпускной квалификационной работы и повысить экономические показатели производства.

1.4 Постановка задач на выполнение выпускной квалификационной работы

Выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности ремонтной сварки паропровода при замене тройника на стыке трёх труб диаметром 273 мм. Базовая технология предусматривает применение комбинированного способа сварки, при котором прихватки корневой слой шва выполняются аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом, также с применением аргонодуговой сварки выполняется второй слой (первый заполняющий слой). Далее с применением ручной дуговой сварки выполняется заполнение разделки ещё двумя слоями, далее выполняется облицовочный слой. Такая технология имеет ряд недостатков. Первым недостатком является применение сварки неплавящимся электродом, которая характеризуется низкой производительностью и требует привлечения сварщиков высокой квалификации. Вторым недостатком является применение ручной дуговой сварки при выполнении заполняющих слоев и облицовочного слоя, которая характеризуется тяжелыми условиями труда и значительным количеством дефектов, наличие которых в зоне сварного шва может послужить причиной разрушения сварного соединения при длительной эксплуатации в условиях температурных и динамических нагрузок. На основании проведенного анализа исходных данных может быть выполнена постановка задач на выполнение выпускной квалификационной работы.

Первой задачей является обоснование выбора способа сварки, применение которого при реализации проектной технологии позволит повысить эффективность сварочных процессов и экономические показатели производства. Выполнение этой задачи должно быть основано на анализе преимуществ и недостатков рассматриваемых способов сварки и выставлении баллов экспертной оценки, на основании сравнительного анализа показателей каждого рассматриваемого способа сварки следует делать вывод об

эффективности использования принятого способа для построения проектного технологического процесса ремонтной сварки.

Вторая задача предусматривает расширение технологических возможностей выбранного способа сварки. Решение такой задачи предусматривает поиск и анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности выбранного способа сварки и обосновании применения разработки в области управления сварочными процессами. При решении этой задачи следует опираться на разработки российских исследователей-сварщиков, что позволит повысить промышленный и научный суверенитет Российской Федерации и уменьшить зависимость отечественного производства от зарубежных наукоемких технологий и компонентов.

Третья задача предусматривает построение проектного технологического процесса ремонтной сварки паропровода. Решение этой задачи предусматривает требует составления перечня операций, назначения параметров режима и оборудования. Также для каждой операции следует сформулировать требования к её выполнению.

В ходе работы над оценочными разделами предстоит выполнить идентификацию негативных факторов, возникновение и действие которых на персонал предприятия возможно при работе на проектируемом производственном участке. Также следует рассмотреть вопросы обеспечения экологической и пожарной безопасности рассматриваемого производственного участка [4], [7]. Далее предстоит выполнить расчёт экономических показателей, характеризующих реализацию базового и проектного технологических процессов, после чего на основании их сравнительного анализа необходимо сделать вывод об эффективности внедрения в производство предлагаемых решений [11], [16]. Далее на основании результатов проделанных работ, предстоит сформулировать заключение, в котором следует показать факт достижения поставленной цели и обозначить направление дальнейших исследований.

2 Проектная технология ремонтной сварки паропровода

2.1 Обоснование выбора способа сварки

Выбор способа сварки при изготовлении и ремонте сварных конструкций, в первую очередь, должен выполняться с учетом свойств металла свариваемой конструкции. Элементы рассматриваемого узла паропровода выполнены из стали 15ХМ и стали 12Х1МФ, сварка данных сталей, хотя и характеризуется рядом сложностей, описанных в предыдущем разделе, но может быть выполнена с применением всех известных и рациональных способов. Далее при выборе способа сварки следует учитывать толщины свариваемых элементов. В рассматриваемой конструкции толщина металла составляет 20 мм, что ограничивает выбор способов, применение которых рационально к рассматриваемой толщине. Далее необходимо принять во внимание расположение и геометрию сварных швов. Рассматриваемый узел паропровода содержит три сварных шва, являющихся неповоротными стыками. В зависимости от расположения тройника на паропроводе стыки могут быть как вертикальными (с горизонтальным расположением оси трубы), так и горизонтальными (с вертикальным положением оси трубы). Особенности конструкции не позволяет применить двухстороннюю сварку, сварка ведется в одностороннюю разделку. Диаметр трубы составляет 273 мм, такой относительно небольшой диаметр трубы затрудняет применение автоматической сварки под флюсом, но другие способы сварки (например, сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения и сварка порошковой проволокой) могут быть автоматизированы.

На основании вышеизложенного для построения проектной технологии следует рассмотреть такие способы сварки: ручная дуговая сварка, аргонодуговая сварка неплавящимся электродом, сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, сварка порошковой проволокой.

Ручная дуговая сварка, схема выполнения которой представлена на рисунке 13, характеризуется высокой универсальностью и мобильностью. Оборудование для ручной дуговой сварки может быть применено в монтажных условиях, при этом переход на сварку труб другого диаметра, материала, и даже на сварку других деталей не требует изменения самого сварочного оборудования.

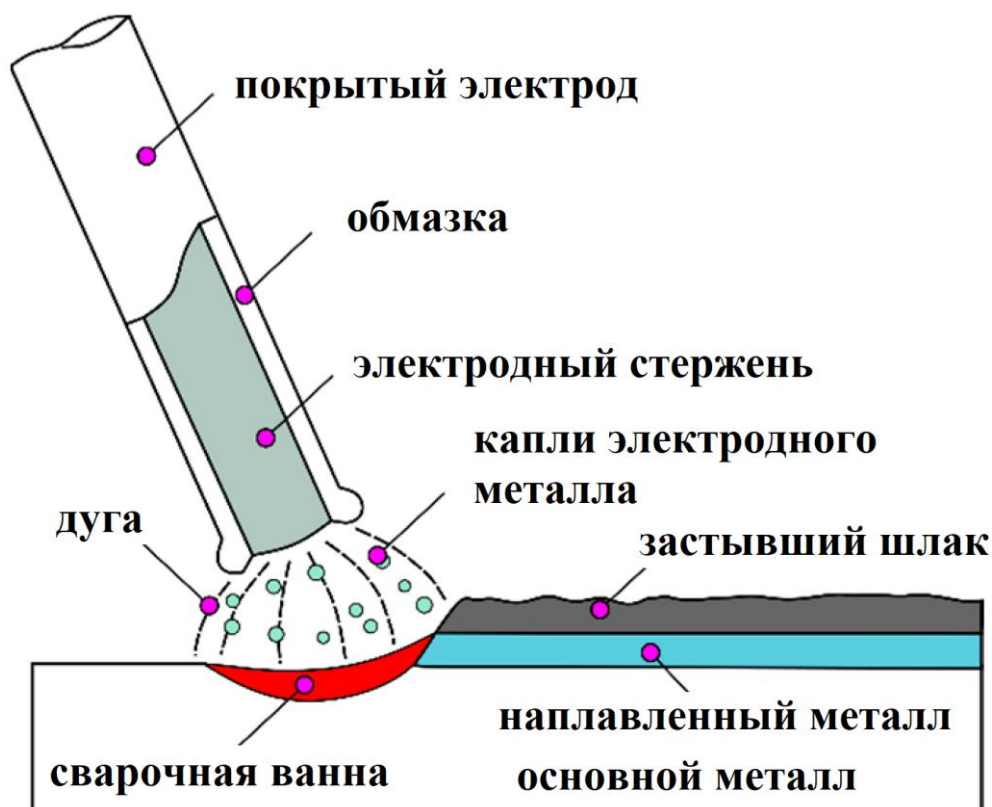


Рисунок 13 – Схема выполнения ручной дуговой сварки

При построении проектной технологии с применением ручной дуговой сварки приходится считаться с рядом недостатков, которые в современных условиях производства могут считаться критическими и заставлять вести поиск других способов сварки. Во-первых, отмечается низкая стабильность качества сварных соединений, которое в значительной мере зависит от квалификации сварщика, что становится дополнительной проблемой в условиях кадрового голода. Во-вторых, необходимо принимать во внимание вредные условия труда сварщика, работа которого проходит в среде сварочных аэрозолей и излучения от дуги. В-третьих, ручная дуговая сварка

характеризуется значительными потерями электродного металла на угар, разбрызгивание и огарки электродов, что в сочетании с необходимостью прерывать процесс сварки на смену электрода отрицательно сказывается на экономических показателях способа. В настоящее время ручная дуговая сварка уступает свои позиции механизированным и автоматическим способам сварки.

Некоторое повышение эффективности ручной дуговой сварки может быть достигнуто за счёт применения специализированных электродов с обмазкой, состав которой улучшает формирование соединений при сварке жаропрочных сталей [25]. Повышение качества ручной дуговой сварки можно достигнуть за счёт применения специальной техники сварки [5], заключающейся в ведении сварочного электрода с периодическими продольными колебаниями, которые совмещены с поперечными колебаниями, что позволяет изменять давление сварочной дуги на поверхность ванны расплавленного металла и вводить тепло в сварочную ванну импульсами. Несмотря на повышение качества сварки такая техника не получила широкого применения, так как характеризуется высокой трудоемкостью процесса и быстрым уставанием сварщика. Значительного расширения технологических возможностей можно достигнуть за счёт внедрения импульсных технологий управления горением сварочной дуги и переноса электродного металла [10], [27]. Периодическое изменение величины сварочного тока вызывает ударное действие дуги на поверхность ванны расплавленного металла, что способствует полноте отделения растворенных газов и лучшему формированию сварного шва.

На рисунке 14 представлена схема выполнения механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения, которая по сравнению с ручной дуговой сваркой позволяет улучшить условия труда и повысить производительность работ. Применение газовой защиты позволяет не тратить время на очистку сварного шва от шлаковой корки.

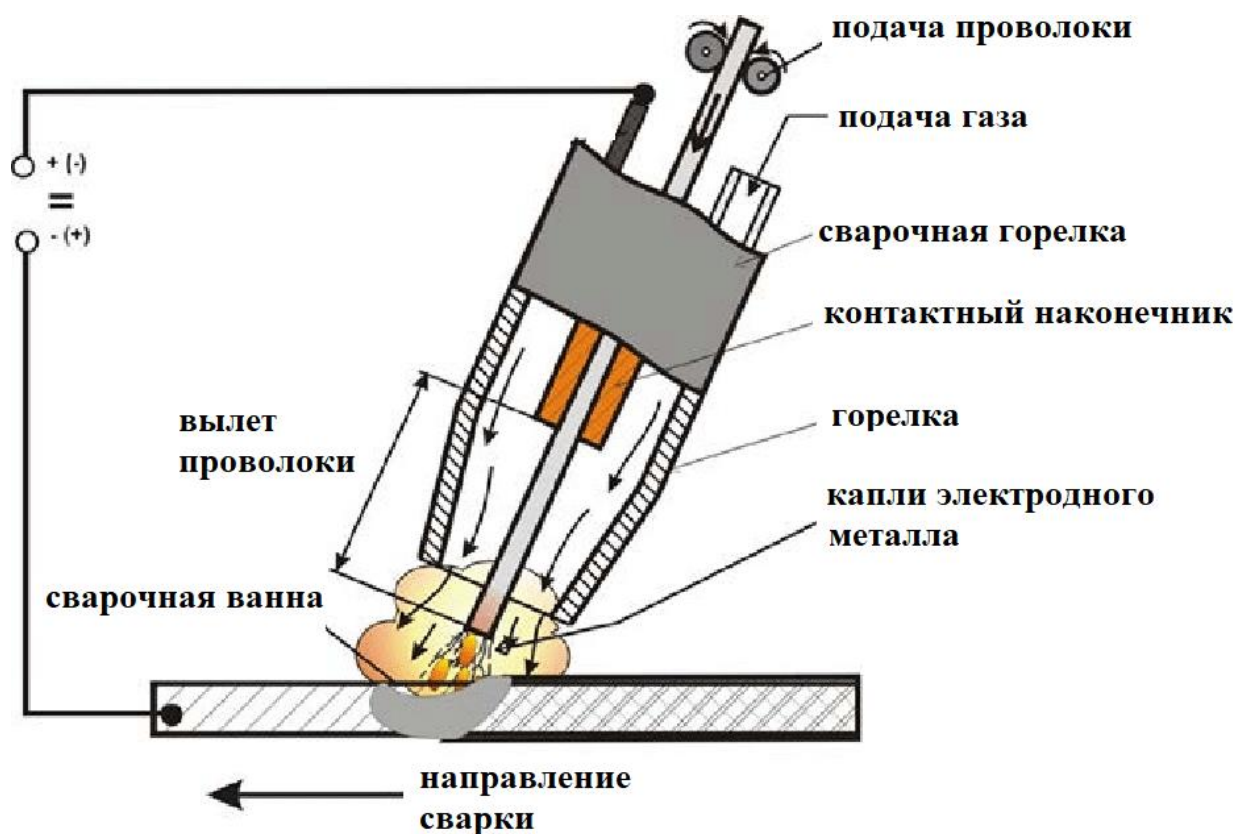


Рисунок 14 – Схема выполнения механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения

Применение сварки в защитных газах позволяет частично решать проблему негативного влияния на здоровье сварщика аэрозолей, так как их состав по сравнению со сваркой штучными электродами менее вреден. Поскольку при сварке в защитных газах расплавленный металл сварочной ванны характеризуется большей, по сравнению с ручной дуговой сваркой вязкостью, упрощается стабилизация положения сварочной ванны при различных пространственных ориентациях, при этом становится возможной сварка в потолочном положении. Так как при механизированной сварке отсутствует необходимость замены электрода и очистки поверхности шва от шлака, производительность и качество сварки повышается. Применение сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения при построении технологических процессов изготовления и ремонта металлических конструкций ограничивается по причине ряда недостатков этого способа сварки. Во-первых, при сварке наблюдается повышенное разбрызгивание

электродного металла, что делает необходимым трудоемкую зачистку поверхности деталей, так как прилипшие брызги расплавленного металла ухудшают внешний вид и становятся очагами коррозии. Во-вторых, при сварке в защитных газах из-за повышенной вязкости расплавленного металла увеличивается вероятность появления в сварном шве трещин, ухудшаются условия отхождения из сварочной ванны газов. Указанные проблемы сварки в защитных газах решаются применением импульсного управления, реализованного в современных сварочных источниках.

Значительного повышения производительности сварки и уменьшения размеров зоны термического влияния удастся достигнуть при применении дополнительной присадочной проволоки, укладываемой в разделку и переплавляемой при сварке [12], [17]. Недостатком применения присадочной проволоки является повышение вероятности получения повышенной пористости металла сварного шва.

Наиболее высокое качество сварки из рассматриваемых в настоящей выпускной квалификационной работе способов обеспечивает сварка неплавящимся электродом в инертном газе, схема выполнения которого представлена на рисунке 15. Производительность сварки неплавящимся электродом среди рассматриваемых способов сварки самая минимальная, поэтому данный способ варки при реализации базовой технологии применен для выполнения корневого слоя, а заполнение разделки ведется более производительным способом.

Также при построении технологических процессов с применением аргонодуговой сварки неплавящимся электродом следует принимать во внимание высокую стоимость оборудования и требования к квалификации сварщика. Также применение сварки неплавящимся электродом требует повышения культуры всего производства и в условиях монтажа и ремонта такой способ сварки оказывается нерациональным. Именно поэтому сварка неплавящимся электродом в основном применяется в составе комбинированных способов сварки паропроводов.

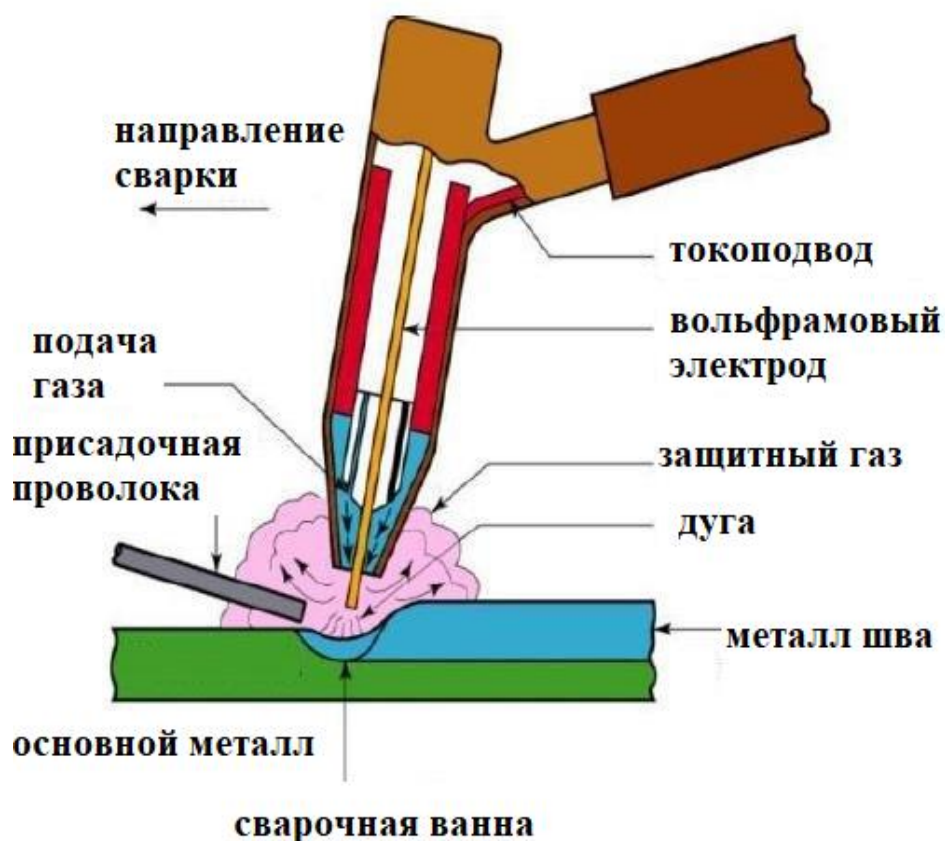


Рисунок 15 – Схема выполнения аргодуговой сварки неплавящимся электродом

Построении технологии ремонта паропровода на базе механизированной сварки порошковой проволокой, схема выполнения которой представлена на рисунке 16, позволяет сочетать положительные свойства ручной дуговой сварки и сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения. Кроме того, состав сердечника порошковой проволоки может изменяться в широких пределах, поэтому, в отличие от проволок сплошного сечения, перед производителем порошковых проволок не составляет труда варьировать компоненты шихты, добиваясь оптимальной структуры и содержания химических элементов в металле сварного шва. В числе недостатков сварки самозащитными проволоками следует указать повышенную мягкость проволоки, в результате чего существенно увеличивается частота заломов и застреваний в подающих механизмах. Также следует принять во внимание повышенную текучесть расплавленного шлака

и металла сварочной ванны, из-за чего повышаются требования к сборке и подготовке кромок, ухудшаются условия формирования корневого слоя шва. При плавлении порошковой проволоки может наблюдаться неравномерность нагрева проволоки по сечению, в результате чего часть нерасплавившегося шлака просыпается в сварочную ванну и становится причиной образования пор и шлаковых включений.

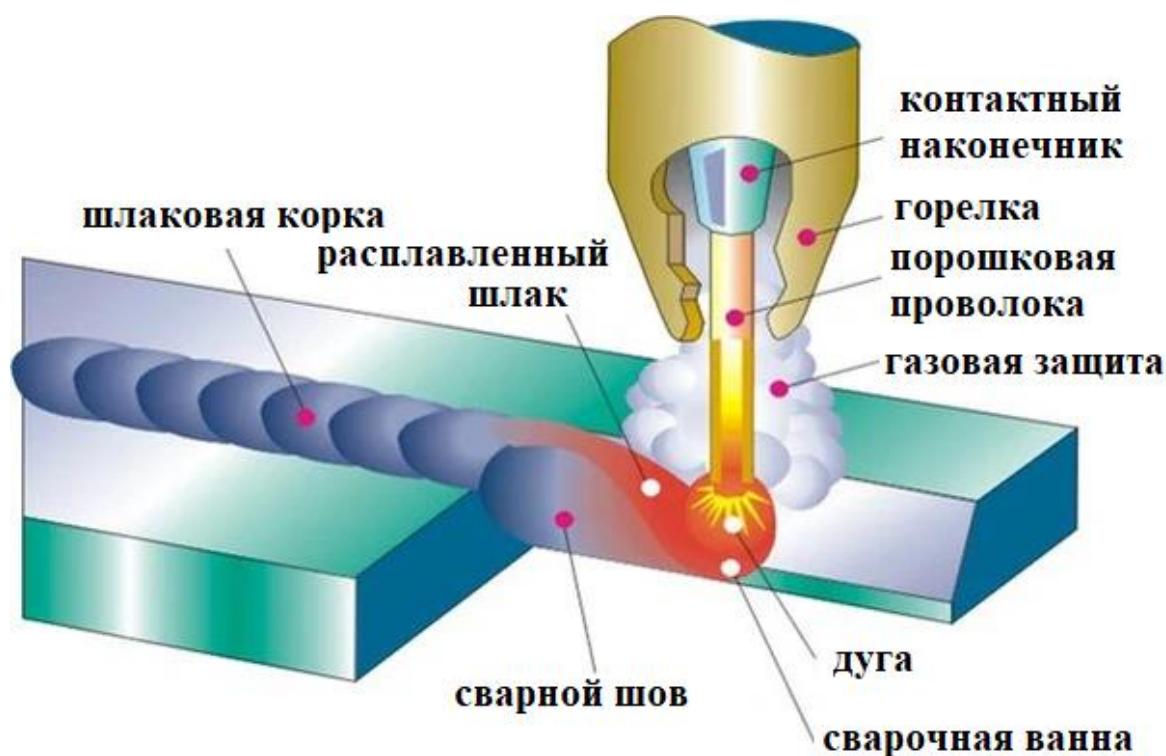


Рисунок 16 – Схема выполнения аргонодуговой сварки неплавящимся электродом

При обосновании выбора способа сварки необходимо выставить экспертную оценку по критериям, которые могут быть сформулированы на основании источников научно-технической информации, в которых выполнялось сравнение эффективности различных способов сварки. По критериям (производительность, качество, капитальные вложения, условия труда) максимальный суммарный балл получила сварка порошковой проволокой, которую для устранения пористости предлагается вести в углекислом газе, а для повышения стабильности плавления вести в импульсном режиме питания сварочной дуги.

2.2 Повышение эффективности сварки

На основании проведенного анализа способов сварки для заполнения разделки и выполнения облицовочного слоя предложено применить сварку порошковой проволокой в углекислом газе, что позволит повысить производительность и качество сварки по сравнению с применяющейся в проектной технологии ручной дуговой сваркой. Также с учетом высокого качества сварки предлагается первый заполняющих слой, который по базовой технологии сваривается с применением аргонодуговой сварки неплавящимся электродом, также выполнять сваркой порошковой проволокой, что позволяет повысить производительность сварки без ухудшения качества сварного соединения. Однако корневой слой сваривать с применением порошковой проволоки не получится, так как высокая текучесть расплавленного металла затруднит формирование корня. Поэтому, в проектной технологии, как и в базовой технологии, прихватки и корневой слой шва предлагается выполнять аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом.

На рисунке 17 представлено формирование сварного соединения при выполнении сварки по базовой технологии и сварного соединения при выполнении сварки по проектной технологии. Применение порошковой проволоки позволяет улучшить формирование сварного соединения при сварке в узкую разделку. Также проникновение расплавленного металла и удаление растворенных в металле газов улучшается за счёт применения импульсного управления горением сварочной дуги и горения дуги в атмосфере углекислого газа. Поэтому представленная на схеме разделка позволит уменьшить объем расплавляемого металла, повысить производительность сварки и уменьшит перегрев основного металла. Следует указать, что предлагаемая в настоящей выпускной квалификационной работе разделка является нововведением, сформулированным на основании анализа действующей нормативной документации. Ожидаемая эффективность

предлагаемых решений подтверждается научными работами российских исследователей-сварщиков в области построения импульсных процессов.

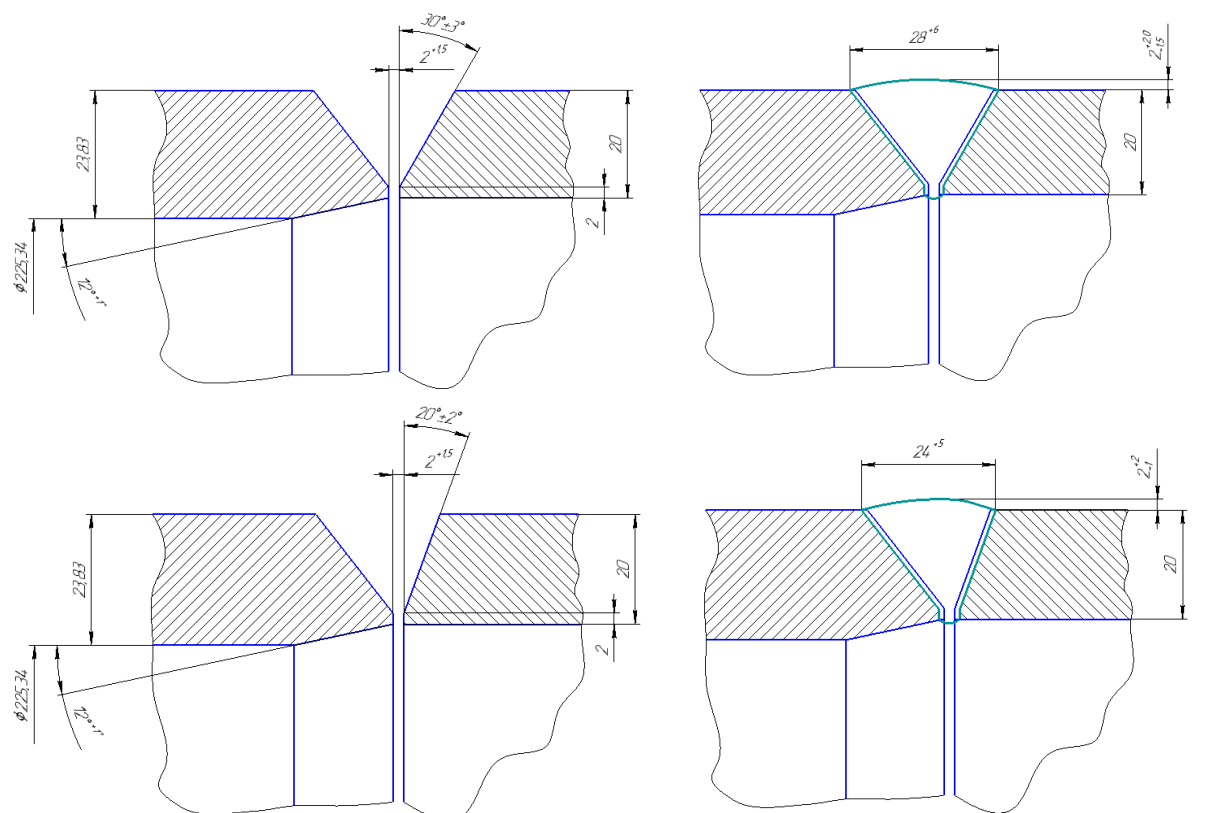


Рисунок 17 – Геометрия разделки кромок и сварное соединение при сварке по базовой технологии и при сварке по проектной технологии

Импульсный характер горения дуги оказывает ударное действие на поверхность сварочной ванны, что способствует более полной эвакуации растворенных в ней газов и уменьшает пористость металла сварного шва. При увеличении сварочного тока в импульсе происходит выдавливание расплавленного металла по периферии сварочной ванны, что способствует прогреву кромок основного металла и лучшему сплавлению, при этом устраняется опасность получения такого дефекта, как непровар. Характерная форма поверхности сварочной ванны при импульсной дуговой сварке позволяет устранить зашлаковывание [13]. На рисунке 18 представлены осциллограммы тока и напряжения, формируемые при импульсной сварке. На рисунке 19 представлена кинограмма процесса плавления и переноса электродного металла при импульсной дуговой сварке [15]. На рисунке 20

представлен макрошлиф сварочного соединения аналогичной толщины и материала, выполненный с применением порошковой проволоки, из которого отчетливо видно, что сварка выполняется слоями [21].

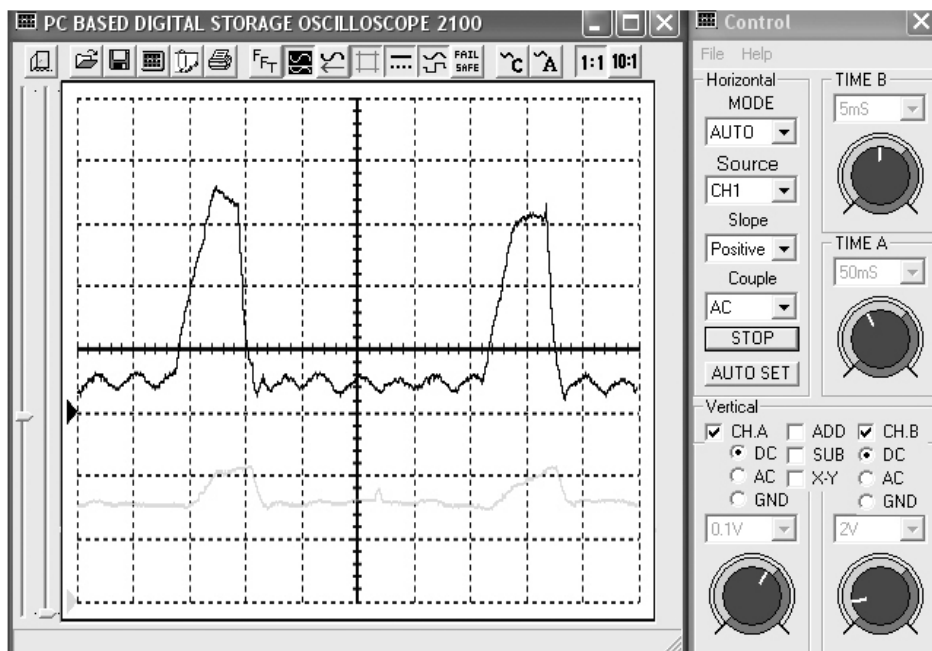


Рисунок 18 – Осциллограммы тока и напряжения при импульсной сварке

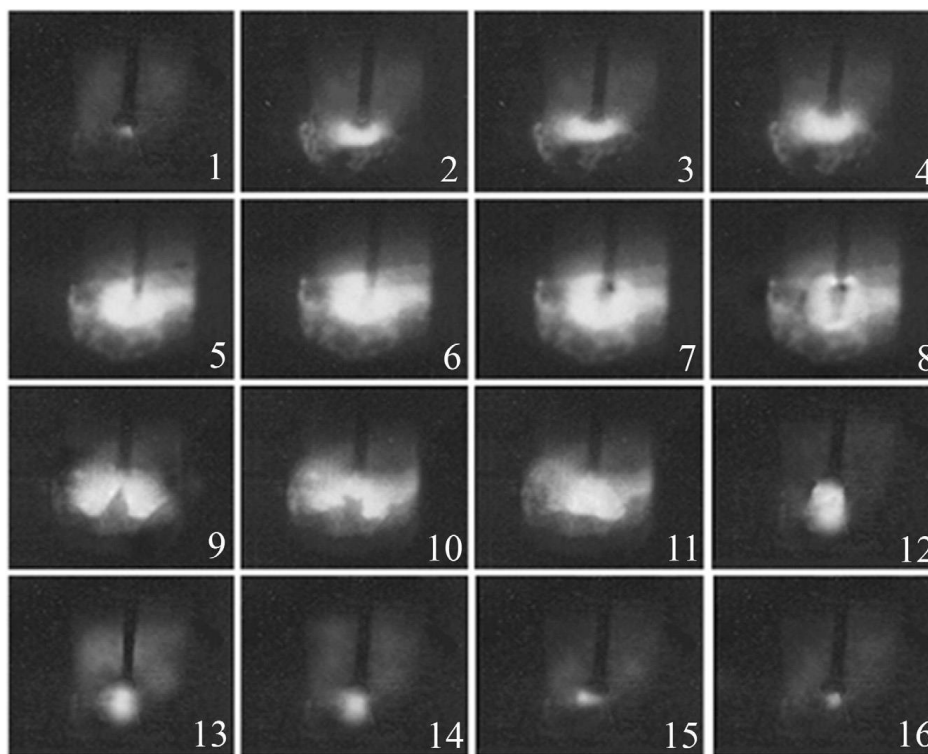


Рисунок 19 – Кинограмма процесса плавления и переноса электродного металла при импульсной дуговой сварке

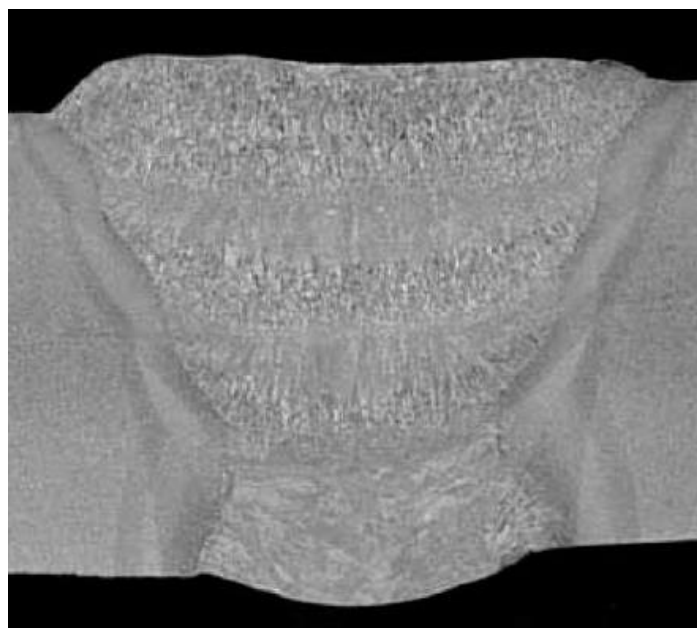


Рисунок 20 – Макрошлиф сварного соединения

На рисунке 21 представлена сварки при выполнении соединения по базовой технологии и проектной технологии. Согласно проектной технологии с применением аргонодуговой сварки неплавящимся электродом выполняется корневой слой шва (один валик) и первый заполняющий слой (два валика), на рисунке эти три валика представлены голубым цветом. Далее заполнение разделки и наложение облицовочного слоя выполняются с применением ручной дуговой сварки, на рисунке эти валики показаны желтым цветом. Согласно проектной технологии корневой слой шва выполняется одним валиком с использованием аргонодуговой сварки неплавящимся электродом, на рисунке этот валик показан голубым цветом. Далее заполнение разделки и наложение облицовочного слоя выполняется с применением механизированной сварки в углекислом газе порошковой проволокой. Сварка ведется слоями, выполняемые слои обозначены на рисунке розовым цветом. Импульсный характер сварочной дуги и высокая текучесть расплавленного металла позволяет в этом случае вести заполнение разделки слоями с поперечными колебаниями сварочной дуги.

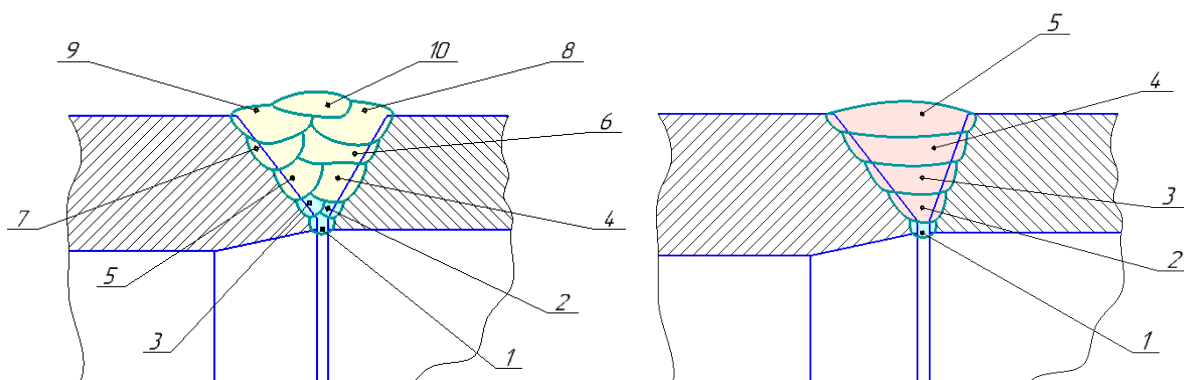


Рисунок 21 – Последовательность выполнения сварных швов при реализации базовой технологии и реализации проектной технологии сварки

Для обеспечения импульсного режима горения дуги предлагается применить разработку российских исследователей-сварщиков, позволяющую провести модернизацию имеющегося на предприятии сварочного оборудования. Следует особо обратить внимание, что сварка порошковыми проволоками с использованием импульсного управления переносом электродного металла и горением сварочной дуги осуществляется на обратной полярности. При выборе способа получения импульсного режима сварки были рассмотрены три схемы, ранее предлагаемый авторами. Первая схема, представленная на рисунке 22, реализует предложенный в описании к изобретению [3] способ импульсной сварки, в числе недостатков способа следует указать отсутствие возможности управления током заряда коммутующего конденсатора, что сужает возможности по заданию параметров сварочного импульса. Вторая схема, представленная на рисунке 23, реализует способ, представленный в описании к изобретению [1]. Недостатком такой функциональной схемы является подключение коммутующего конденсатора параллельно источнику питания дуги, в результате чего зарядный контур оказывает влияние на стабильность горения дуги. Третья схема, работа которой описывается в [2], представлена на рисунке 24. В качестве недостатка такой схемы следует указать невозможность управления временем начала зарядки коммутующего конденсатора.

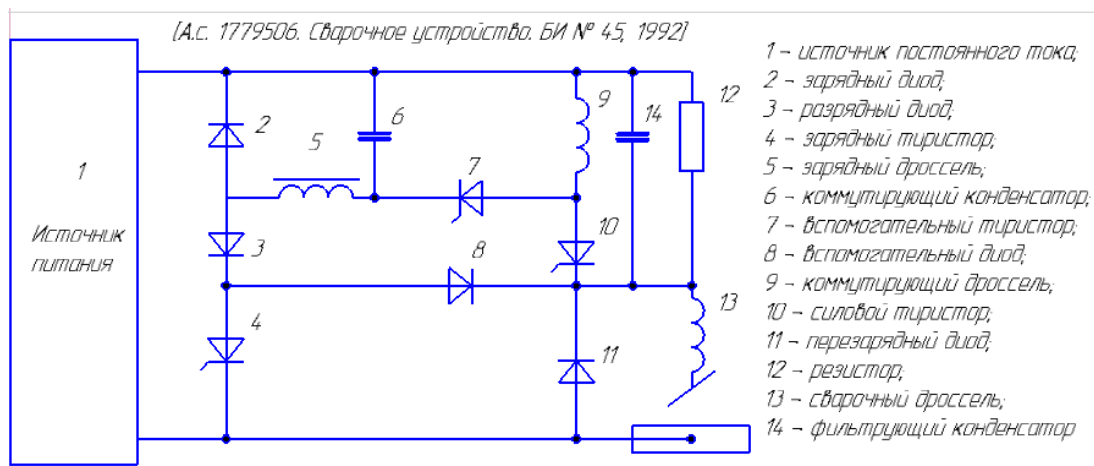


Рисунок 22 – Функциональная схема обеспечения импульсного режима при сварке согласно изобретению [3]

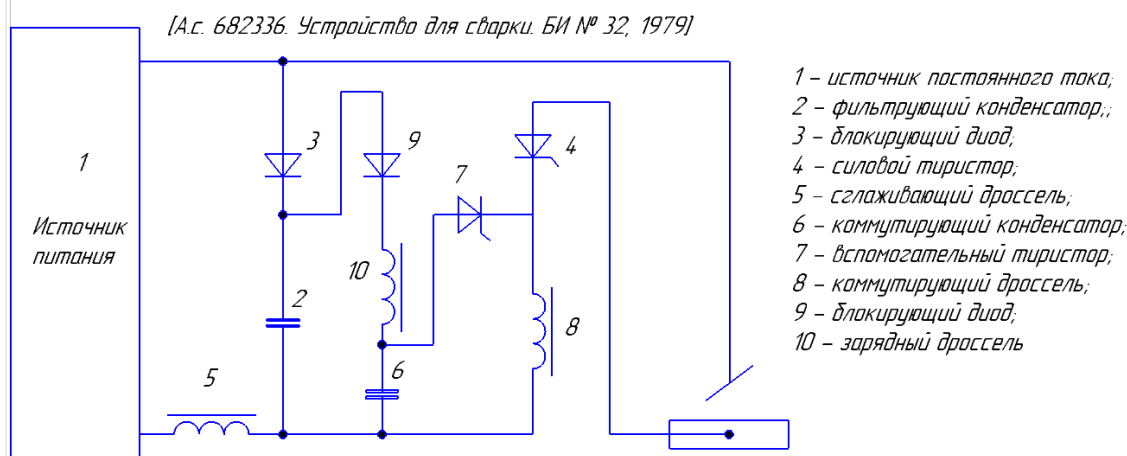


Рисунок 23 – Функциональная схема обеспечения импульсного режима при сварке согласно изобретению [1]

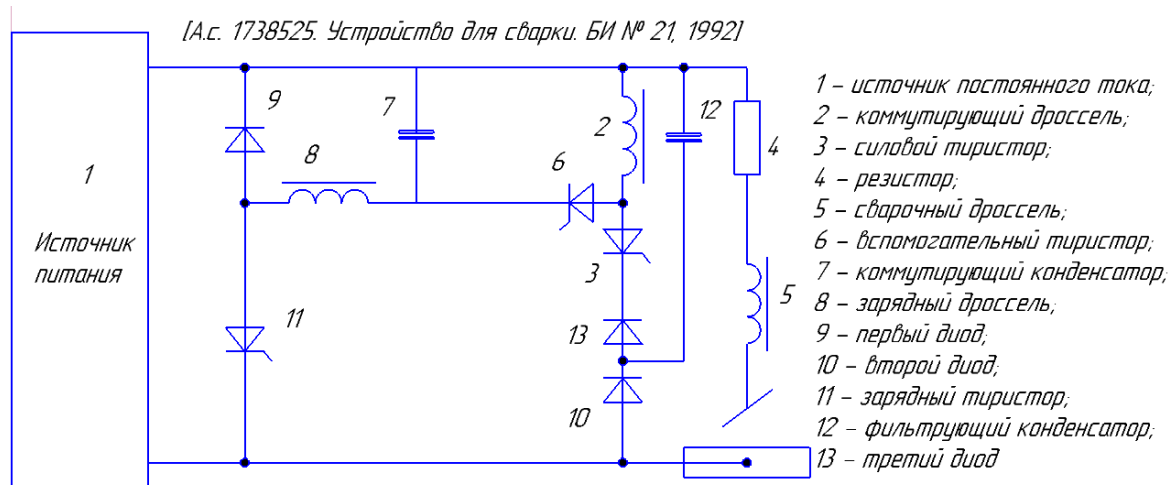


Рисунок 24 – Функциональная схема обеспечения импульсного режима при сварке согласно изобретению [2]

На основании анализа преимуществ и недостатков рассмотренных схем импульсного питания сварочной дуги для реализации проектной технологии принимается способ импульсной сварки, реализация которого выполняется согласно представленной на рисунке 25 функциональной схеме. Источник питания, который на схеме обозначен позицией 1, представлен стандартным сварочным выпрямителем, который имеется в резерве предприятия и может быть модернизирован с применением предлагаемого устройства формирования импульсов. Формирование импульсов тока обеспечивается коммутирующим конденсатором, который на схеме показан позицией 10. Также в схеме предусмотрен фильтрующий конденсатор 8. Управление работой электрической схемы осуществляется посредством силового тиристора 3, зарядного тиристора 12 и дополнительного зарядного тиристора 13. Заряд коммутирующего конденсатора осуществляется через перезарядный диод 13 и блокирующий диод 14, а также через цепочку последовательно соединенных диодов 6 и 7. Сглаживание зарядных импульсов обеспечивается коммутирующим дросселем 2, сварочным дросселем 5 и зарядным дросселем 11.

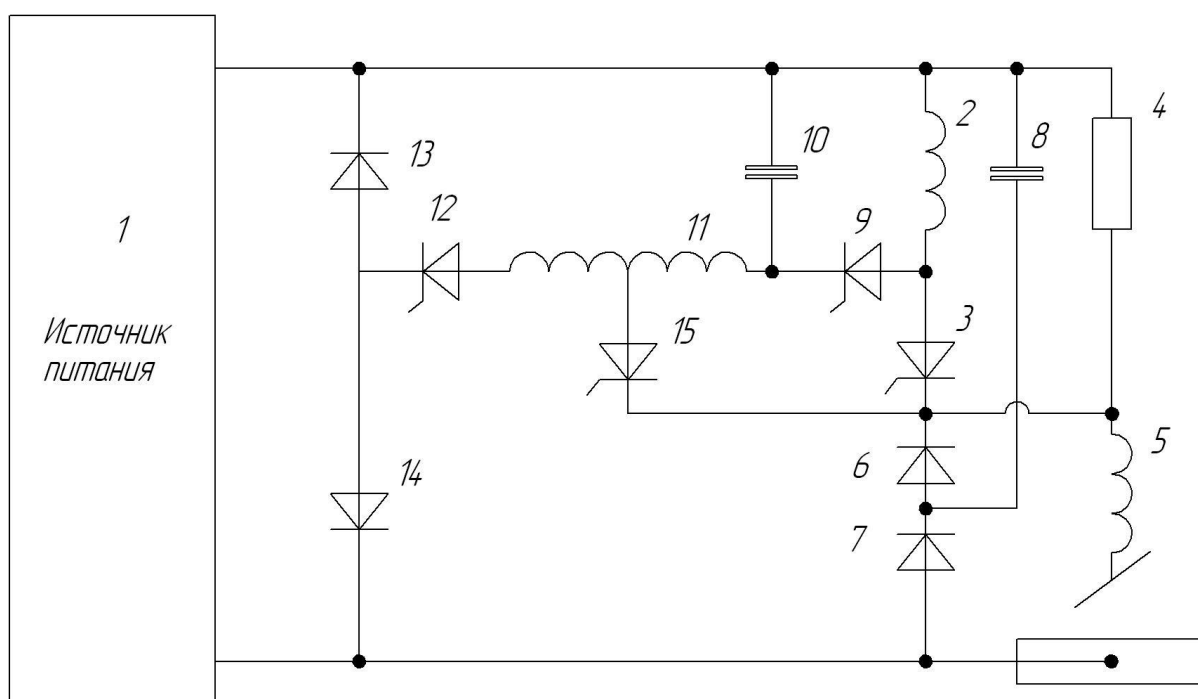


Рисунок 25 – Предлагаемая функциональная импульсного режима сварки

Осциллограммы сварочного тока и напряжения, реализуемые с применением предлагаемой схемы импульсного управления дугой, представлены на рисунке 26.

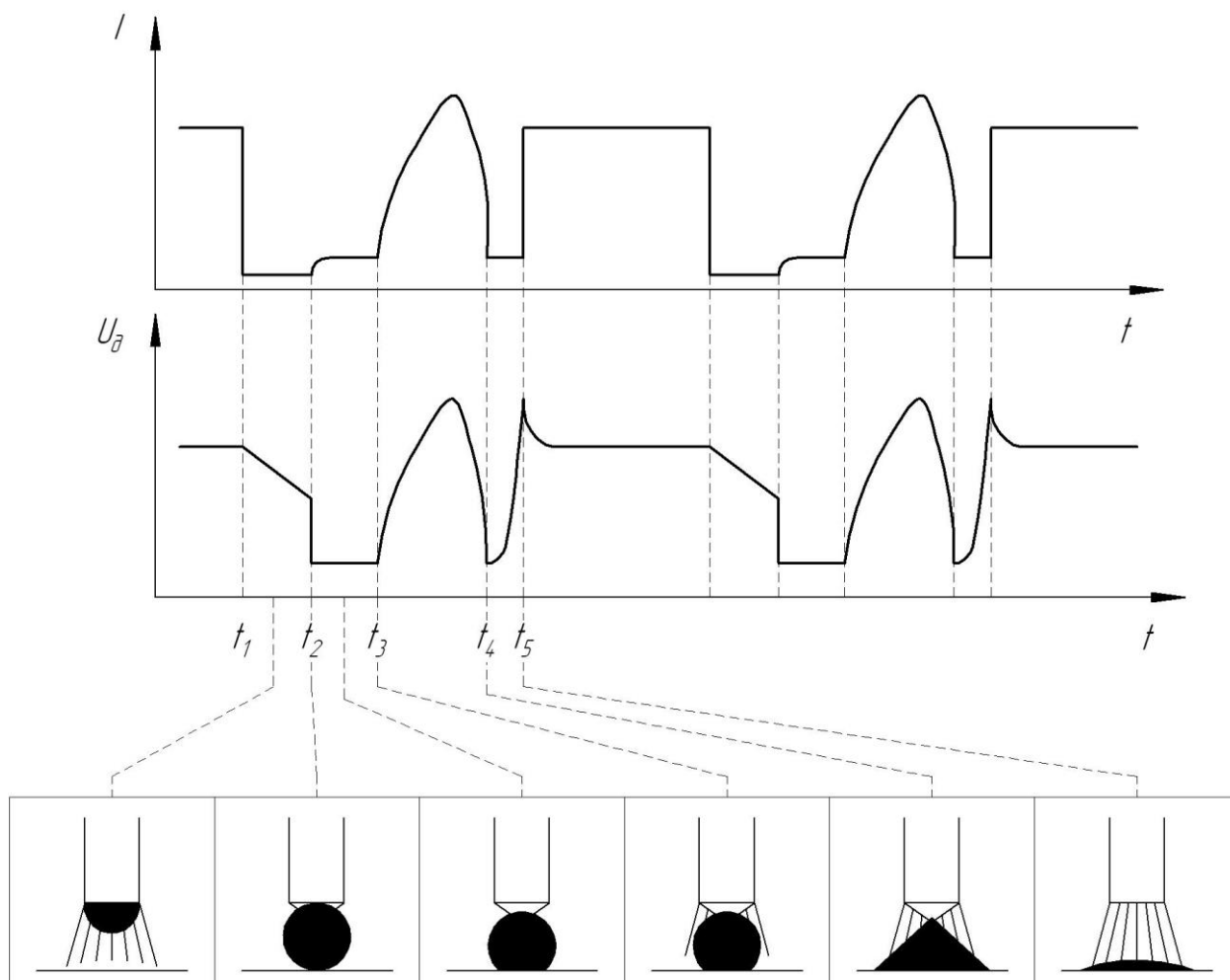


Рисунок 26 – Осциллограммы тока и напряжения при сварке с применением предлагаемой схемы импульсного управления дугой

Применение предлагаемого формирователя импульсов позволяет вести сварку с применением стандартных выпрямителей тока. При этом импульсный характер вложения тепла в сварочную ванну обеспечивает получение оптимальной структуры наплавленного металла. Выполняли сварку образцов труб толщиной стенки 20 мм из стали 12Х1МФ диаметром 325 мм. Сварку по базовому варианту выполняли с применением инверторного источника питания МП 2400 производства КЕМРРІ. Сварку импульсной дугой вели с применением стандартного выпрямителя ВДУ-306, оснащенного

формирователем сварочных импульсов. На рисунке 27 представлена структура металла облицовочного слоя, выполненного с применением стационарной дуги (а) и импульсной дуги (б). На рисунке 28 представлена структура металла заполняющего слоя, выполненного с применением стационарной дуги (а) и импульсной дуги (б).

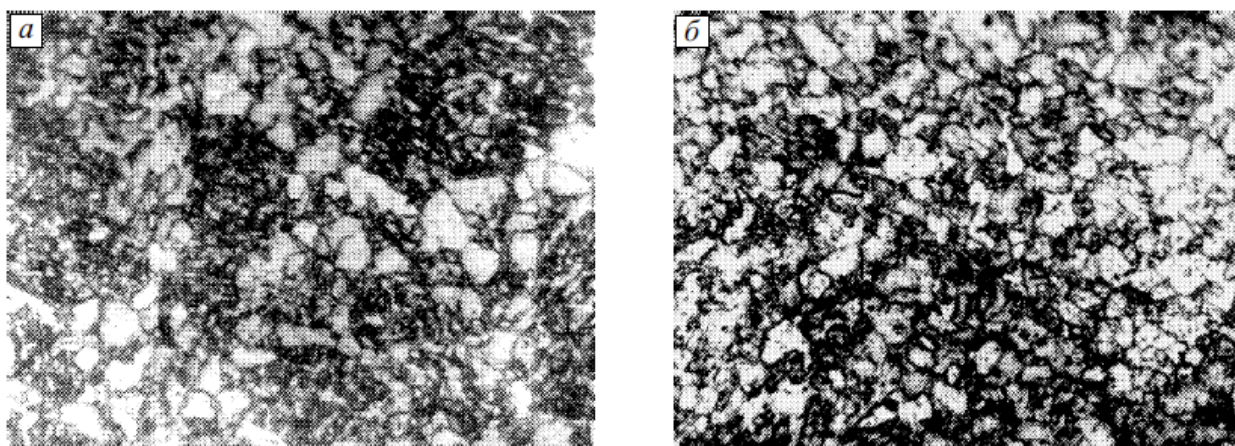


Рисунок 27 – Микроструктура металла облицовочного слоя, выполненного с применением стационарной дуги (а) и импульсной дуги (б)

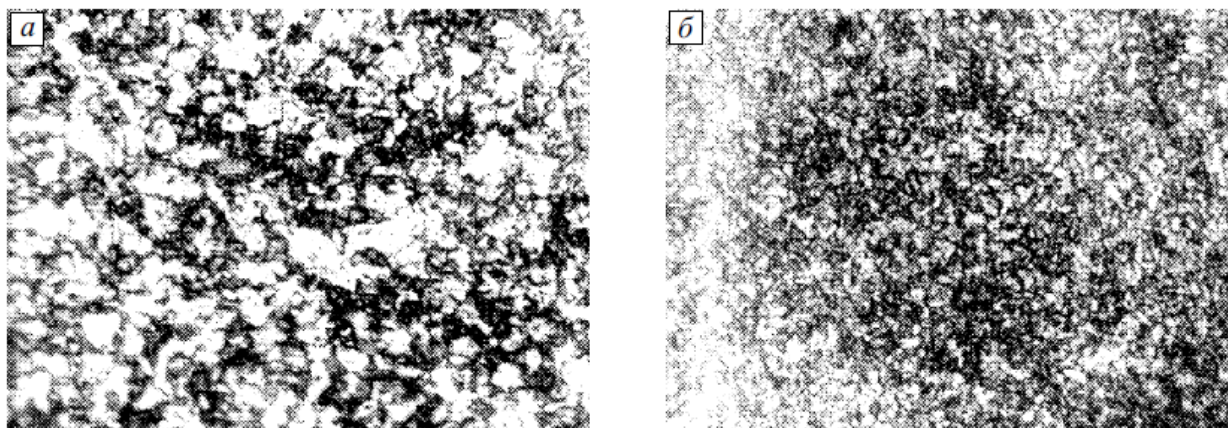


Рисунок 28 – Микроструктура металла заполняющего слоя, выполненного с применением стационарной дуги (а) и импульсной дуги (б)

Таким образом, применение предлагаемой схемы импульсного управления сваркой обеспечивает измельчение структуры металла сварного шва и интенсивное перемешивание сварочной ванны, за счёт чего обеспечивается отсутствие пор и равнопрочность. При этом возможно исключение термической обработки после сварки.

2.3 Описание операций проектного технологического процесса ремонтной сварки паропровода

. К сварочным работам могут быть допущены прошедшие аттестацию сварщики, которые уже имеют опыт выполнения аналогичных работ на паропроводах из теплоустойчивых сталей. Так как в базовом технологическом процессе предусмотрена комбинированная сварка, то сварщики должны иметь опыт именно при выполнении этого способа сварки: прихватка и корневой слой шва выполняются сваркой неплавящимся электродом в аргоне, а заполнение разделки и облицовочный слой выполняются ручной дуговой сваркой покрытыми электродами. Все этапы работы должны проводиться при непосредственном контроле специалиста сварочного производства, который аттестован в соответствии с правилами и имеет уровень не ниже 2-го.

Проектная технология предусматривает применение двух способов сварки. Для выполнения корневого слоя шва применяется аргонодуговая сварка неплавящимся электродом источником постоянного тока MinarcTig Evo 200. Для заполнения разделки и облицовочного слоя применяется представленный на рисунке 29 сварочный выпрямитель ВДУ-306, модернизированный схемой импульсного управления дугой, работа которой описана в предыдущем разделе. Для подачи проволоки применяется шланговый полуавтомат ПДГО-510.

В качестве сварочных материалов для выполнения корневого слоя шва используется аргон чистотой 99,9%, вольфрамовый электрод диаметром 2,4 мм типа WL-20 или AWS A5.12 и присадочный пруток ОК Tigrod 13.12. В качестве сварочных материалов для заполнения разделки и сварки облицовочного слоя предлагается применить углекислый газ порошковую проволоку состава ППс-ТМв15 диаметром 1,6 мм.

Присадочная проволока для выполнения аргонодуговой сварки неплавящимся электродом должна быть протерта смоченной в ацетоне бязью. Перед использованием каждого нового баллона с защитным газом следует

выполнить пробную наплавку валика длиной 100...150 мм и визуально оценить качество, в случае неудовлетворительного внешнего вида поверхности металла наплавленного валика (поры на поверхности) использование такого баллона запрещено.



Рисунок 29 – Источник постоянного тока ВДУ-306 для построения схемы импульсного управления сварочной дугой согласно предлагаемого способа сварки при реализации проектной технологии

Присадочная проволока для выполнения аргонодуговой сварки неплавящимся электродом должна быть протерта смоченной в ацетоне бязью. Перед использованием каждого нового баллона с защитным газом следует выполнить пробную наплавку валика длиной 100...150 мм и визуально оценить качество, в случае неудовлетворительного внешнего вида поверхности металла наплавленного валика (поры на поверхности) использование такого баллона запрещено.

Порошковая проволока перед выполнением сварки должна быть прокалена в течение 2...3 часов при температуре 230...250 °С. Для прокалки проволоки применяется прокалочная печь ПСПЭ 40/400М, которая применялась в базовой технологии.

Допускается проведение не более трех прокалок, после чего проволока признается негодной и утилизируется.

При подготовке кромок деталей перед сваркой может потребоваться механическая резка труб, для чего следует применить труборез 2Т-273 с пневматическим приводом, который позволяет выполнять резку труб и подготовку кромок под сварку. При резке труб необходимо соблюдать перпендикулярность торца к оси трубы, отклонение от которой должно составлять не более 1,5 мм. На рисунке 17 представлена требуемая геометрия кромок труб. Так как при сварке не предусмотрено применение подкладного кольца, выточку поверхности труб с внутренней стороны не выполняем.

Перед сборкой элементов следует выполнить зачистку их поверхности с внутренней стороны и внешней стороны. Внутренняя стенка зачищается до металлического блеска на ширину 20...30 мм. Наружная стенка зачищается до металлического блеска на ширину 30...40 мм. Зачистку поверхности труб выполняют с применением металлической щетки. При обнаружении на участке подготовленных кромок неровностей, которые могут препятствовать последующей сборке, эти неровности следует удалять с применением напильника или абразивного круга. Далее следует провести обезжиривание поверхности собираемых элементов.

Сборка элементов паропровода выполняется с применением приспособления, представленного в описании к изобретению [25]. Функциональная схема предлагаемого приспособления представлена на рисунке 30. Предлагаемое приспособление обеспечивает высокую точность сборки и позволяет отказаться от выполнения прихваток, что существенно повышает качество выполнения корневого слоя шва и увеличивает производительность сварочных работ при строительстве и ремонте паропровода.

Наружный центратор «образован секторами 1 и 2 с центрирующими приводными кулачками 3. Кулачки 3 закреплены на штоках силовых цилиндров 4. Цилиндры установлены на ребрах 5 секторов 1 и 2. На секторах 1, 2 в зоне стыков секторов 1, 2 выполнены выступы 6, 7, на торце одного из которых выполнен зуб, а на другом паз. В выступах 6 и 7 установлены

подвижные опоры 8 (в данном случае сферические) с лысками. На опоры надеваются стягивающие рамки 9. Рамки 9 имеют с одной стороны отверстия, в которые входят откидные болты 10, установленные на осях 11 в вилках 12, закрепленных на секторах 1, 2. С другой стороны рамки 9 имеют пазы под откидные болты 10, снабженные гайками 13. Наклонными поверхностями 14 рамки 9 контактируют с лысками опор 8» [25].

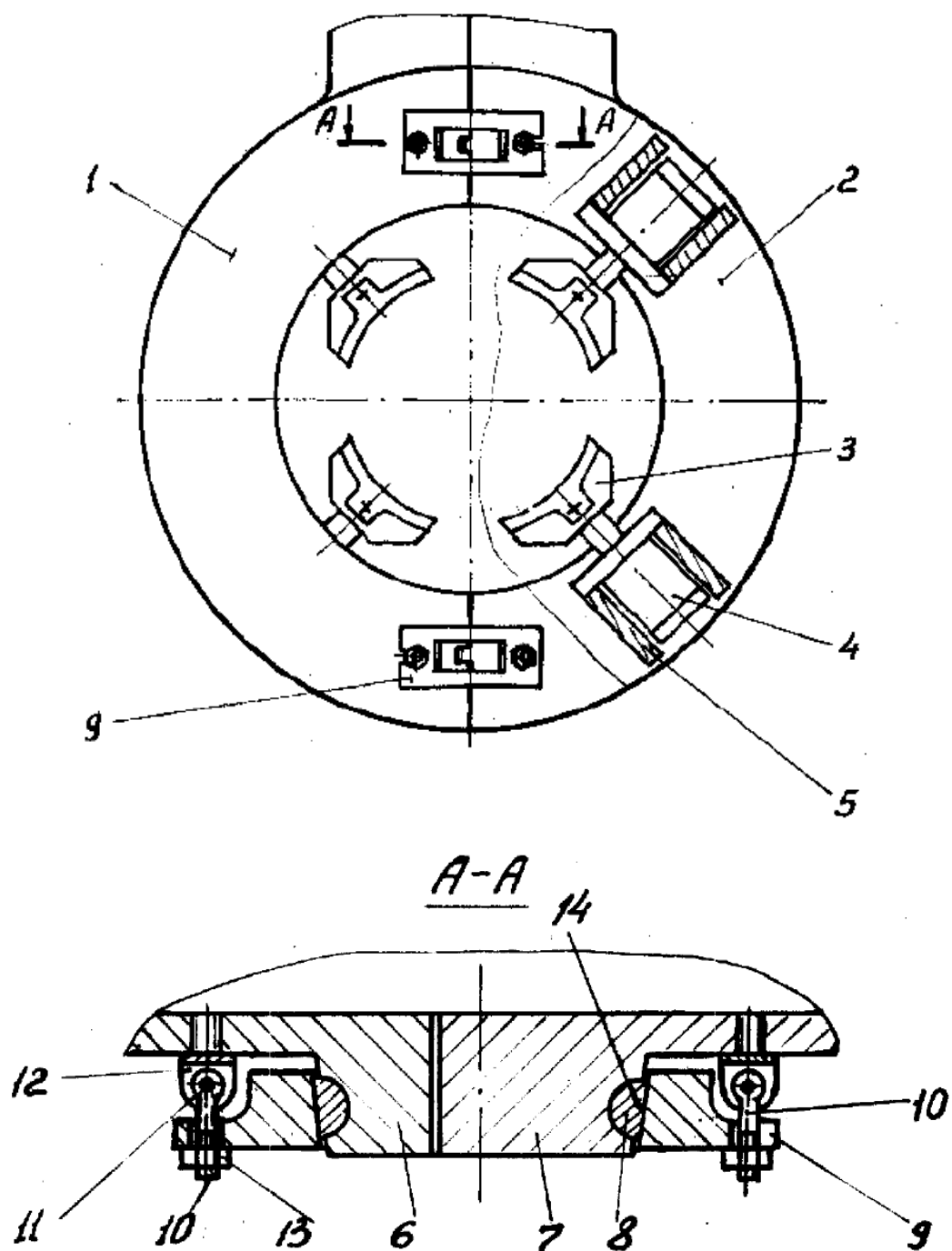


Рисунок 30 – Приспособление для сборки под сварку толстостенных труб

После выполнения сборки и проверки её точности выполняют предварительный подогрев деталей с применением пламени газовой горелки. Температура нагрева элементов составляет 200...250 °С. Контроль температуры нагрева выполняется с применением пирометра и термического карандаша. Контролировать температуру нагрева следует не менее чем в трех точках равномерно разнесенных по периметру стыка с обеих сторон шва на расстоянии 10...15 мм. После проведения предварительного подогрева выдержки элементов в нагретом состоянии не требуется.

После сборки следует установить заглушки и подать внутрь трубы защитный газ с расходом 8...10 литров в минуту. Для вытеснения объема воздуха изнутри следует дождаться выхода из баллона объема защитного газа, равного 2...3 объема внутренней полости тройника. Заглушки остаются до конца сварки корневого слоя. После этого заглушки можно снять, а подачу защитного газа в полость трубы прекратить.

При выполнении корневого слоя шва ток сварки составляет 100...140 ампер, сварку ведут на постоянном токе прямой полярности с применением присадочной проволоки диаметром 2 мм. Сварку следует вести с минимальной длиной дуги. Стыки в рассматриваемой конструкции считаются неповоротными. Если выполняется вертикальный стык (ось трубы располагается горизонтально), то сварку корневого слоя следует вести сверху-вниз, как показано на рисунке 31-а.. Если выполняется горизонтальный стык (ось трубы располагается вертикально), то сварку корневого слоя следует выполнять как это показано на рисунке 31-б. При выполнении сварку дугу следует зажигать только на наплавленном металле или кромках. Запрещается зажигание и гашение дуги на поверхности свариваемых элементов.

Сварку следует вести обратно-ступенчатым способом. Перед зажиганием дуги следует продуть место сварки в течение 15...20 секунд. После обрыва дуги продолжительность продува аргоном составляет 10...15 секунд. При выполнении корневого слоя шва прихватки можно зачищать или переплавлять, высота корневого слоя шва должна составлять 3...4 мм.

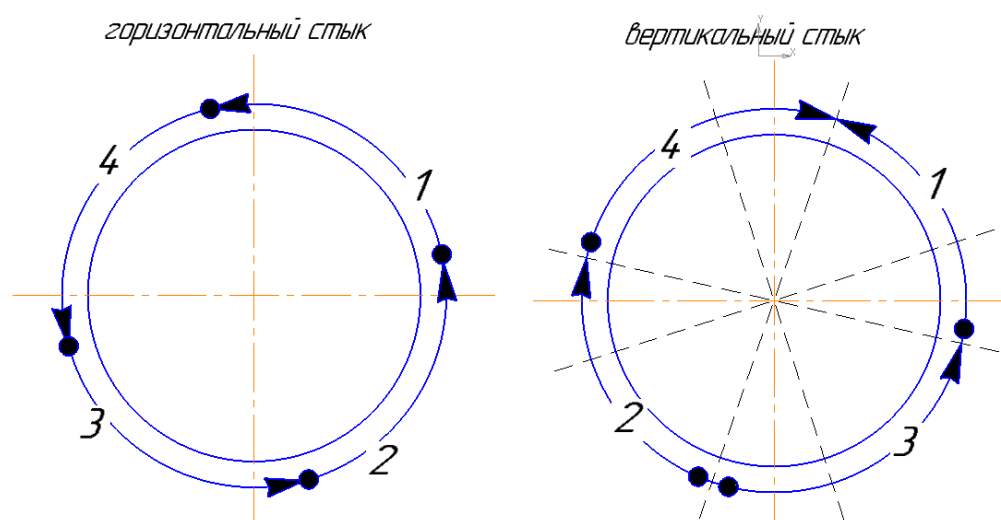


Рисунок 31 – Последовательность сварки корневого слоя шва

После выполнения корневого слоя шва проводят его зачистку и проверку качества. Далее сваривают первый заполняющий слой с применением аргонодуговой сварки неплавящимся электродом на параметрах режима, представленных в таблице 3. При выполнении сварки следует контролировать межслойную температуру с применением пирометра или термического карандаша, которая не должна выходить за пределы 250...300 °С. Перекрытие валиков в начале и конце должно быть в диапазоне 15...20 мм.

Далее проводят сварку заполняющих слоев шва и облицовочного слоя шва с применением порошковой проволоки, сварку ведут в атмосфере защитного газа. Применение импульсного режима горения дуги позволяет не изменять скорость подачи проволоки в зависимости о пространственного положения горелки относительно стыка, так как горящая дуга характеризуется высокой пространственной стабильностью. Высокая пространственная стабильность импульсной дуги также позволяет отказаться от выполнения подварочных слоев.

После выполнения, зачистки и контроля заполняющих слоев проводят сварку облицовочного слоя, который должен перекрывать основной металл на 1...3 мм и иметь плавный переход. Облицовочный слой может быть сварен за 2...3 прохода.

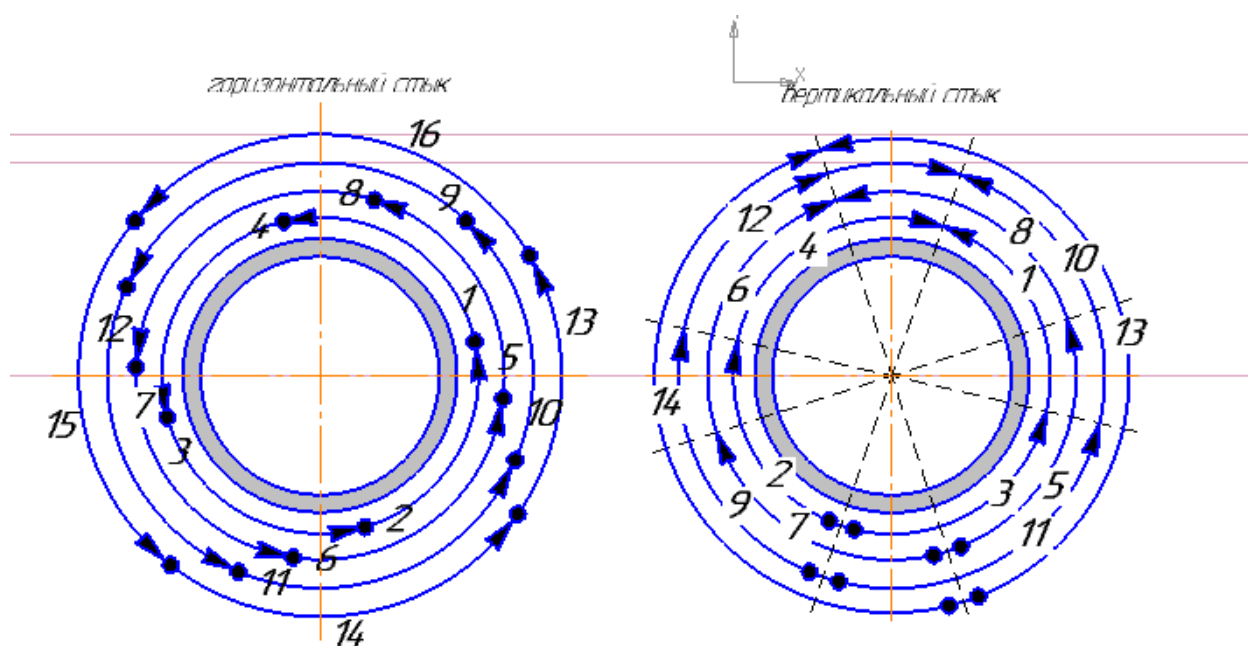


Рисунок 32 – Последовательность выполнения заполняющих и облицовочного слоев шва при реализации проектной технологии

Проведение термической обработки после сварки не требуется.

При контроле качества проводят визуально-измерительный контроль, ультразвуковой контроль, стилоскопирование и замер твердости. Визуально-измерительный контроль проводят на 100 % швов, предварительно очищают поверхность трубы на 20 мм в обе стороны от шва, удаляя набрызгивание металла, шлак и другие загрязнения. Визуальный контроль проводят с применением лупы, увеличение которой составляет 4...7 крат, что позволяет уточнять размеры обнаруживаемых дефектов. Поверхность сварного шва должна иметь равномерную чешуйчатость, при этом сопряжение наплавленного и основного металла не должно иметь резких переходов. Не допускается наличие прожогов, наплывов, трещин, выходящих на поверхность пор. При стилоскопировании проверяется содержание в металле сварного шва хрома, ванадия и молибдена. Если в ходе стилоскопирования получен неудовлетворительный результат, перед принятием решения о переделке стыка следует провести дополнительную проверку с применением спектрального анализа.

Выводы по второму разделу

При выполнении второго раздела настоящей выпускной квалификационной работы проведено обоснование выбора способа сварки для выполнения соединений при ремонтной сварке паропроводов. По базовой технологии выполнялась комбинированная сварка, при которой корневой слой шва и первый заполняющий проход выполняются аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом, а остальные заполняющие слои и облицовочный слой выполняется с применением ручной дуговой сварки. Проектная технология предусматривает выполнение корневого слоя шва аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом, а заполнение разделки и облицовочный слой выполняется с применением механизированной сварки порошковой проволокой в среде углекислого газа. Это позволили существенно повысить производительность сварки за счёт уменьшения доли сварки не плавящимся электродом и замены ручной дуговой сварки на сварку порошковой проволокой.

В проектной технологии предлагается применить сборочное приспособление для сварки толстостенных труб, позволяющее отказаться от простановки прихваток, что дополнительно повышает производительность сварки и качество сварного шва.

Также в проектной технологии предлагается повысить эффективность сварки за счёт применения импульсного управления переносом электродного металла. Это позволило повысить пространственную стабильность сварочной дуги и отказаться от выполнения подварочного прохода. Также применение предлагаемой схемы импульсного управления сваркой обеспечивает измельчение структуры металла сварного шва и интенсивное перемешивание сварочной ванны, за счёт чего обеспечивается отсутствие пор и равнопрочность. При этом возможно исключение термической обработки после сварки.

На основании предлагаемых решений была составлена проектная технология сварки при ремонте паропровода, назначены параметры режима и сформулированы условия выполнения операций.

Таким образом, мероприятия, представленные в настоящем разделе выпускной квалификационной работы, положительно сказываются на производительности, качестве и трудоемкости выполняемых работ. Сформулированные в первом разделе задачи полностью решены, однако вывод о целесообразности применения предлагаемых решений при построении технологических процессов современного производства можно будет сделать на основании выполнения двух оценочных разделов.

В первом оценочном разделе, следует выполнить идентификацию негативных производственных факторов и предложить меры защиты от них. Также следует рассмотреть вопросы обеспечения пожарной безопасности и экологической безопасности производства [4], [7].

Во втором оценочном разделе следует провести сравнение экономических показателей базового и проектного вариантов технологии. На основании последующего сравнительного анализа рассчитанных экономических показателей производства следует сделать заключение об эффективности внедрения предлагаемых решений [16], [24].

Далее в заключении следует доказать достижение поставленной цели и сформулировать направления дальнейших исследований.

3 Промышленная безопасность производственного участка

3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи

В исполнительском разделе выпускной квалификационной работы составлен проектный технологический процесс ремонтной сварки паропроводов. Применение предлагаемых решений при строительстве и ремонте паропроводов позволяет повысить эффективность сварочных предприятий, однако для принятия решения о внедрении предлагаемых решений необходимо провести оценочную экспертизу, в ходе которой следует рассмотреть вопросы обеспечения промышленной, пожарной и экологической безопасности производственного участка, реализующего проектную технологию. Предварительно следует рассмотреть вопросы промышленной безопасности, связанные с идентификацией негативных производственных факторов и составлением перечня средств по их нейтрализации. Укрупненная характеристика проектного технологического процесса сварки ремонтной сварки паропровода представлена в таблице 5. Проектный технологический процесс в упрощенном виде может быть представлен как набор из пяти операций, в ходе выполнения каждой операции возникает комплекс опасных и вредных производственных факторов. Представленная в таблице информация позволит судить о выполняемых операциях, персонале, применяемом оборудовании и материалах, что позволяет провести идентификацию опасных и вредных производственных факторов, которыми характеризуется рассматриваемый производственный участок, на котором предлагается реализовать проектную технологию. Для выполнения операций проектного технологического процесса привлекаются слесарь-сборщик, сварщик на автоматических и полуавтоматических машинах, термист, инженер-дефектоскопист. Если фактор не ухудшает состояние персонала, то он признается нейтральным и в дальнейшем не учитывается.

Таблица 5 – Укрупненная характеристика проектного технологического процесса ремонтной сварки паропроводов

Операция	Персонал	Оборудование
Контроль труб и сварочных материалов	Инженер-дефектоскопист	- набор цветовой дефектоскопии - набор визуального и измерительного контроля - печь для прокалики
Подготовка кромок	Слесарь-сборщик	- труборез - фаскорез - шлифовальная машина - дисковая проволочная щетка - набор визуального и измерительного контроля
Сборка и предварительный подогрев	Слесарь-сборщик, термист	- сборочное приспособление - универсальный шаблон сварщика - шлифовальная машина - газопламенные горелки - газовая аппаратура
Сварка	Сварщик на полуавтоматических и автоматических машинах	- источник питания - устройство электронного управления дугой - шлифовальная машина - механизм подачи проволоки - газовая аппаратура
Контроль качества	Инженер-дефектоскопист	- набор цветовой дефектоскопии - набор визуального и измерительного контроля - дефектоскоп ультразвуковой - дефектоскоп радиографический - твердомер

На основании представленной в таблице информации становится возможным сформулировать производственные факторы, влияние которых может оказать негативное воздействие на персонал предприятия. Если негативный фактор может стать причиной получения персоналом травмы или причиной смертельного случая, то такой фактор следует отнести к группе опасных факторов. Если в результате действия рассматриваемого фактора у персонала может возникнуть или развиваться профессиональное заболевание, то такой фактор следует отнести к группе вредных факторов.

3.2 Идентификация негативных производственных факторов

Далее следует сформулировать перечень действующих негативных факторов согласно требованиям ГОСТ 12.0.003-2015 по каждой рассматриваемой операции. При выполнении операция проектного технологического процесса возможно возникновение негативных производственных факторов, которые отдельно по рассматриваемым операциям технологического процесса представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Негативные производственные факторы при реализации операций проектного технологического процесса ремонтной сварки паропровода

Наименование операции	Опасный или вредный производственный фактор
Контроль труб и сварочных материалов	- «острые кромки и заусенцы и шероховатости на поверхности - химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения
Подготовка кромок	- острые кромки и заусенцы и шероховатости на поверхности - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения
Сборка и предварительный подогрев	- острые кромки и заусенцы и шероховатости на поверхности - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения - повышенная температура поверхностей
Сварка	- чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания - повышенный уровень шума - поражение электрическим током - инфракрасное излучение - ультрафиолетовое излучение - химические вещества в аэрозольном состоянии - повышенная температура поверхностей
Контроль качества	- повышенный уровень ультразвуковых колебаний - острые кромки и заусенцы и шероховатости на поверхности - повышенный уровень рентгеновского излучения» [7]

Операции сварки и наплавки предусматривают наличие дуги, что приводит к повышенному уровню опасных и вредных факторов, возникающих на рассматриваемом производственном участке. Также следует принимать во внимание наличие на участке оборудования с опасным напряжением и током.

3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов

Ранее была выполнена идентификация негативных производственных факторов согласно ГОСТ 12.0.003-2015. Далее следует провести оценку эффективности применения стандартных средств и методик, которые представлены в таблице 7.

В таблице рассматривается двенадцать негативных факторов, действие которых на персонал предприятия должно быть устранено. Для защиты персонала от действия этих факторов могут быть применены как стандартные, так и специальные средства, обеспечивающие безопасность производственного процесса.

Следует учитывать кумулятивное действие вредных факторов, заключающееся в накоплении негативного действия в течении времени и острого их проявления. Также следует принимать во внимание, что действующие совместно факторы могут усиливать друг друга, что повышает их опасность и вредоносность.

В арсенале средств, призванных нейтрализовать действие негативных факторов, числятся средства технического характера, организационные мероприятия и средства личной защиты. Значительная роль отводится организационным мероприятиям, от своевременности и полноты проведения которых в значительной степени зависит безопасность труда. Как показывает практика, именно нарушение трудовой дисциплины становится причиной большинства несчастных случаев на производстве. Также следует принимать во внимание необходимость поддержания порядка на рабочем месте, что позволяет лучше организовать производственный процесс и обеспечить его безопасность по отношению к участникам. Также следует постоянно проверять комплектность и исправность средств индивидуальной защиты, состояние которых должно контролировать как руководство предприятия, так и сам персонал. Для обслуживания технических средств безопасности труда должны привлекаться квалифицированные работники.

Таблица 7 – Средства и методики для устранения профессиональных рисков

Негативный фактор	Технические средства	Индивидуальные средства
острые кромки и заусенцы и шероховатости и поверхности заготовок	- «оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
движущиеся части машин и механизмов	устройства защитного отключения привода станков	Специальная одежда, перчатки
отсутствие или недостатков естественного освещения	- контроль уровня освещенности рабочего места - дополнительная подсветка	индивидуальная подсветка
отсутствие или недостатков искусственного освещения	- контроль уровня освещенности рабочего места - дополнительная подсветка	индивидуальная подсветка
химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	индивидуальные средства защиты дыхательных путей
опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током	- организация и проведение периодического инструктажа работников - контроль изоляции и заземления - защитное заземление, защитное отключение	защитная одежда, диэлектрические коврики
инфракрасное излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски
ультрафиолетовое излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски
повышенная температура поверхностей	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	специальная одежда, перчатки, защитные маски
химические вещества в аэрозольном состоянии	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	защитные маски
повышенный уровень ультразвуковых колебаний	- ограничение проникновения персонала в опасную зону	защита расстоянием и уменьшением времени воздействия
повышенный уровень рентгеновского излучения	- ограничение проникновения персонала в опасную зону - ограничение времени действия	защита расстоянием и специальной одеждой» [7]

Представленные средства обеспечивают эффективную защиту.

3.4 Пожарная безопасность производственного участка

Проведение сварочных операций вызывает повышение опасности возникновения пожара. При этом следует учитывать, что ремонтная сварка может проводиться в помещениях, которые изначально не были предназначены для обеспечения пожарной безопасности при проведении сварочных работ. Горение электрической дуги сопровождается интенсивным тепловым излучением, интенсивным ультрафиолетовым излучением, высокотемпературным действием на поверхности, разбрасыванием искр и брызг расплавленного металла. Также следует принимать во внимание, что питание сварочной дуги требует подвода электрической энергии высокой мощности, при повреждении электрического оборудования возможно образование возгорания и развития пожара на рассматриваемом производственном участке. Наличие на участке электрического оборудования усложняет протекание пожара и его тушение. В таблице 8 выполнена идентификация пожара, возникновение которого следует предотвратить.

Таблица 8 – Идентификация пожара на производственном участке

«Наименование участка	Участок проведения ремонтной сварки паропровода
Наименование оборудования	Источник питания сварочной дуги, полуавтомат сварочный, газовая аппаратура, труборез, шлифовальная машина, набор цветовой дефектоскопии, дефектоскоп ультразвуковой, дефектоскоп радиографический, сборочное приспособление, устройство управления сварочной дугой, механизм подачи
Классификация по виду горящего вещества	Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Основные опасные факторы пожара	Пламя, повышенная температура воздуха, токсические продукты горения, уменьшение концентрации кислорода в воздухе, снижение видимости из-за задымления, искры
Вторичные опасные факторы пожара» [4]	Поражение персонала электрическим током, падение на персонал элементов конструкции здания и оборудования

При возникновении на рассматриваемом участке пожара, неминуемо возникают его опасные факторы. К основным (первичным) факторам относят

разлетающиеся при горении искры, застилающее обзор и мешающее ориентироваться в пространстве задымление, отравляющие людей токсические продукты горения, приводящее к удушению уменьшение содержания в воздухе кислорода, волны горячего воздуха и само пламя. К вторичным факторам пожара относят возможность падения на людей элементов оборудования и элементов конструкции здания при разрушении, поражение персонала и сотрудников МЧС электрическим током. На основании результатов проведенного анализа возникающий на рассматриваемом производственном участке пожар может быть отнесен к категории «Е», так как ещё одним поражающим фактором является электрический ток, поражение которым может произойти при тушении пожара. В таблице 9 представлены средства, обеспечивающие устранение опасных факторов такого пожара, которые следует быть готовым применить на рассматриваемом производственном участке.

Таблица 9 – Средства устранения факторов пожара

«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» [7]	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели

Запрещается складирование мусора, могущего стать потенциальным топливом (ветошь, картон, бумага, элементы упаковки, куски пенопласта). Запрещается хранить на участке значительных количеств возгорающихся жидкостей. Обязателен инструктаж по вопросам пожарной безопасности.

3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка

Реализация технологических процессов сопровождается антропогенным действием на окружающую среду со стороны промышленного предприятия. В настоящее время одним из требований к построению современного производства является не только обеспечение безопасности персонала, но и безопасности окружающей среды, при этом в соответствии с мировой экологической повесткой требования к производству в этом направлении будут усиливаться. Рассматриваемый процесс ремонтной сварки может представлять опасность для элементов природы – гидросферы, литосферы и атмосферы. В таблице 10 представлены мероприятия и средства, обеспечивающие защиту природных компонентов от негативных экологических факторов рассматриваемого производства.

Таблица 8 – Мероприятия и средства по защите природных компонентов от негативных экологических факторов рассматриваемой технологии

Участок	Участок ремонтной сварки паропроводов
Защита атмосферы	Требуется дооснащение вентиляции рассматриваемого производственного участка системой фильтрации и утилизации собираемых компонентов. Запрещается сжигание промышленного мусора, полученного в ходе функционирования рассматриваемого производственного участка. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм.
Защита гидросферы	Запрещается слив в канализацию и водоемы машинного масла и других жидких отходов, возникающих при функционировании производственного участка,. Следует соблюдать периодичность проведения инструктажа персонала по соблюдению экологических норм. Очистка и повторное использование технической воды, позволяющие уменьшить расход водных ресурсов. Запрещается использование для технических нужд питьевой воды.
Защита литосферы	Организация на производственном участке селективного сбора, разделения и утилизации промышленного мусора. Запрещается закапывание и несанкционированное выбрасывание промышленного мусора. Следует соблюдать периодичность проведения инструктажа персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Рециклинг промышленных отходов, позволяющий значительно уменьшить негативную нагрузку со стороны предприятия на литосферу. Запрещается наземный слив масла и отработавших технологических жидкостей.

Выводы по экологическому разделу

Настоящий раздел посвящен рассмотрению вопросов промышленной, пожарной и экологической безопасности при реализации проектной технологии ремонтной сварки паропроводов на энергетических предприятиях. При составлении и анализе укрупненного технологического процесса выделены пять операций и для каждой операции сформулированы негативные производственные факторы, защиту от действия которых на персонал предприятия предлагается проводить с применением стандартных технических средств и организационных мероприятий, оценка эффективности которых проведена и позволяет отказаться от проектирования специальных средств защиты. Пожарная безопасность на рассматриваемом участке проведения ремонтной сварки обеспечивается представленными в настоящем разделе стандартными средствами. Значительная роль отводится мероприятиям предупредительного характера, позволяющим за счёт повышения культуры производства значительно уменьшить опасность образования пожара и возникновения на рассматриваемом производственном участке несчастного случая. При анализе проектной технологии с точки зрения негативного действия на окружающую среду предложены мероприятия, обеспечивающие снижение антропогенного действия рассматриваемого производственного участка на составляющие природы – атмосферу, литосферу и гидросферу. В процессе функционирования сварочного участка необходимо проводить селективный сбор промышленных отходов и рециклинг. Предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе технические решения не представляют существенной угрозы работникам предприятия и окружающей среде. Все возникающие при реализации проектной технологии негативные воздействия могут быть нейтрализованы с применением стандартных средств и мероприятий. Следовательно, проектный технологический процесс может быть реализован на производственном участке.

4 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений

4.1. Исходные данные для экономического расчёта

Ранее при выполнении разделов выпускной квалификационной работы составлена проектная технология ремонтной сварки паропроводов на энергетически установках. Применение предлагаемых решений позволяет получить технологический эффект при сборке и сварке, который заключается в повышении производительности и качества сварочных работ. Для обоснования целесообразности внедрения предлагаемых решений в производство необходимо провести ряд экономических расчётов, направленных на определение экономических показателей предприятия. Поскольку проектная технология предусматривает применение модернизированного оборудования, стоимость которого выше, чем у оборудования, применяемого при реализации базового технологического процесса, экономическая эффективность предлагаемых решений не очевидна и должна быть доказана. Для последующего экономического анализа исходные данные по рассматриваемым технологиям представлены в таблице 9. Применение при реализации проектной технологии предлагаемых решений по сравнению с базовой технологией позволяет получить комплексный положительный технологический эффект, выражающийся в одновременном повышении производительности выполняемых работ и их качества. За счёт повышения производительности ожидается снижение размеров фонда заработной платы, а повышение качества позволяет экономить на сварочных материалах, электрической энергии и фонде заработной платы, так как существенно снижается количество брака и работ по его исправлению. С учётом специфики рассматриваемого производства экономические расчёты проводим исходя из режима работы производственного участка в одну смену.

Таблица 9 – Данные для расчета экономических показателей производства

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Принимаемое значение по варианту технологии	
			базовый	проектный
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	1	1
Разряд работников	P_p	-	V	V
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	300	300
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.	850 тыс.	1700 тыс.
Норма амортизации оборудования	K_a	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	30	40
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	0,7
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	S	м ²	100	100
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» [16]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

Дальнейшие экономические показатели рассчитываются на основании представленных в настоящей таблице исходных данных. Алгоритм оценки эффективности предусматривает отдельное определение временных показателей рассматриваемого производства, отдельный расчёт составляющих технологической себестоимости, цеховых и заводских расходов, капитальных вложений.

4.2 Фонд времени работы оборудования

Начальным этапом для расчета экономических показателей производства является определение его временных параметров, к которым, в первую очередь, следует отнести «годовой фонд времени работы оборудования F_n и эффективный фонд времени работы оборудования F_o , связанные друг с другом через коэффициент рабочего времени B . Годовой фонд времени работы оборудования F_n в дальнейшем определяет годовую программу и влияет на последующие расчеты.

Рассматриваемое в настоящей выпускной квалификационной работе производство предусматривает работу в одну смену, таким образом, для расчетов принимается количество смен $K_{см}=1$. Общее число рабочих дней в одном календарном году принимается равным $D_p=277$. Нормальная продолжительность рабочей смены для проведения последующих расчетов принимается равной $T_{см}=8$ часов. В предпраздничные дни уменьшение продолжительности рабочей смены составляет $T_{п}=1$ час. Количество предпраздничных дней в году для выполнения расчетов принимается равным $D_{п}=7$ дней. На основании вышеизложенного может быть рассчитано значение годового фонда времени:

$$F_n = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см} = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209 \text{ часов.} \quad (1)$$

Эффективный фонд времени» [16] работы оборудования позволяет учесть потери рабочего времени через коэффициент B , значение которого для рассматриваемого случая построения технологического процесса принимается $B=0,07$. На основании вышеизложенного

$$F_o = F_n(1-B) = 2209 \cdot (1 - 0,07) = 2054 \text{ часов.} \quad (2)$$

Расчет показателей экономической эффективности в дальнейшем выполняем с учетом рассчитанного выше значения эффективного фонда времени $F_o = 2054$ часа.

4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства

Расчёт капитальных вложений и экономической эффективности внедрения в производство предлагаемых решений требует для своего проведения задания годовой программы производства Π_{Γ} . Для его определения предварительно следует задаться значением штучного времени $t_{шт}$ для базового и проектного вариантов технологии, которые могут упрощенно рассчитывать по составляющим: «машинное время $t_{маш}$, значение которого задается по результатам анализа особенностей базового и проектного вариантов технологического процесса; вспомогательное время $t_{всп}$, которое задается через машинное время и составляет 10 % от него; время на обслуживание рабочего места $t_{обсл}$, которое задается через машинное время и составляет 5 % от него; времени на личный отдых $t_{отд}$, которое задается через машинное время и составляет 5 % от него; подготовительно-заключительное время $t_{пз}$, которое задается через машинное время и составляет 1 % от него. Таким образом, расчёт штучного времени по упрощенной схеме» [16] выполняется как

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

Расчёт по формуле (3) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 2,25 \cdot (100\% + 10\% + 50\% + 50\% + 1\%) = 3$ часа. Расчёт по формуле (3) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 1,4 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 1,7$ часа.

Далее рассчитывается годовая программа как отношение эффективного фонда времени оборудования $F_{\text{э}}$ и штучного времени $t_{шт}$ как

$$\Pi_{\Gamma} = F_{\text{э}} / t_{шт} . \quad (4)$$

Расчёт по формуле (4) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $\Pi_{\Gamma} = 2054/3 = 685$ ремонтных стыков труб в год. Расчёт по формуле (4) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $\Pi_{\Gamma} = 2054/1,7 = 1208$ ремонтных стыков в год. С учётом потребностей рассматриваемого производства для значения годовой программы принимается $\Pi_{\Gamma} = 500$ ремонтных стыков в год. Далее следует выполнить расчёт количества оборудования $n_{\text{расч}}$ для проектного и базового вариантов технологического процесса, для чего «следует применить ранее рассчитанное значение эффективного фонда времени $F_{\text{э}}$, годовой программы Π_{Γ} и штучного времени $t_{\text{шт}}$ с учётом коэффициента выполнения нормы $K_{\text{вн}}$, значение которого в рассматриваемом варианте производства принимается $K_{\text{вн}} = 1,03$ » [16]:

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

Расчёт по формуле (5) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования $n_{\text{расч.}} = 3 \cdot 500 / (2054 \cdot 1,03) = 0,7$. Расчёт по формуле (5) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования $n_{\text{расч.}} = 1,7 \cdot 500 / (2054 \cdot 1,03) = 0,4$. Следует принять ближайшее большее натуральное значение, которое для проектного и базового вариантов составляет 1 и 1 соответственно. Коэффициент загрузки оборудования $K_{\text{з}}$, который рассчитывается как отношение расчётного и принимаемого количества оборудования по вариантам технологии:

$$K_{\text{з}} = n_{\text{расч}} / n. \quad (6)$$

Расчёт по формуле (6) для базового и проектного вариантов позволяет получить $K_{\text{з}} = 0,7/1 = 0,7$ и $K_{\text{з}} = 0,4/1 = 0,4$ соответственно, что объясняется повышением производительности труда при реализации проектного варианта технологического процесса.

4.4 Заводская себестоимость

Для определения размеров технологической себестоимости $C_{\text{тех}}$ проведения работ согласно рассматриваемым вариантам технологического процесса необходимо выполнить отдельный расчёт составляющих: «затрат на материалы M , фонда заработной платы ФЗП, отчислений на социальные нужды $O_{\text{сс}}$, затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$ и затрат на площади $Z_{\text{пл}}$. Расчёт расходов на сварочные материалы проводится с учётом их цены $C_{\text{м}}$, нормы расхода $H_{\text{р}}$ и коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{\text{тз}}$, значение которого для рассматриваемого производства согласно таблице исходных данных составляет $K_{\text{тз}} = 1,05$ » [16]:

$$M = C_{\text{м}} \cdot H_{\text{р}} \cdot K_{\text{т-з}} . \quad (7)$$

Расчёт по формуле (7) для базового варианта технологии позволяет получить $M = 600 \cdot 2,8 \cdot 1,05 = 1764$ руб. Расчёт по формуле (7) для проектного варианта технологии позволяет получить величину затрат на материалы равную $M_{\text{баз.}} = 190 \cdot 3,2 \cdot 1,05 + 50 \cdot 3 \cdot 9 \cdot 1,05 = 56,70 + 41,75 = 1056$ руб.

«Фонд заработной платы ФЗП предприятия характеризует расходы на основную заработную плату $Z_{\text{осн}}$ и дополнительную заработную плату $Z_{\text{доп}}$, которые рассчитываются с учетом часовой тарифной ставки $C_{\text{ч}}$, коэффициента доплат $K_{\text{д}}$ и коэффициента дополнительных затрат $K_{\text{доп}}$. Для рассматриваемого производства по таблице исходных данных принимается $C_{\text{ч}} = 200$ руб., $K_{\text{д}} = 1,88$ и $K_{\text{доп}} = 0,12$. Расчёт величины $Z_{\text{осн}}$ » [16]:

$$Z_{\text{осн}} = t_{\text{шт}} \cdot C_{\text{ч}} \cdot K_{\text{д}}. \quad (8)$$

Применение (8) для базового варианта позволяет получить величину $Z_{\text{осн}} = 3 \cdot 300 \cdot 1,88 = 1692$ руб. Применение (8) для проектного варианта позволяет получить величину $Z_{\text{осн.}} = 1,7 \cdot 300 \cdot 1,88 = 960$ руб.

Расчёт величины $Z_{\text{доп}}$ предусматривает применение следующей математической зависимости:

$$З_{доп} = З_{осн} \cdot К_{доп}. \quad (9)$$

Применение (9) для базового варианта позволяет получить величину $З_{доп} = 1692 \cdot 0,12 = 203$ руб. Применение (9) для проектного варианта позволяет получить величину $З_{доп} = 960 \cdot 0,12 = 115$ руб.

Расчёт величины ФЗП:

$$ФЗП = З_{осн} + З_{доп}. \quad (10)$$

Применение (10) для базового варианта позволяет получить величину $ФЗП = 1692 + 203 = 1895$ руб.. Применение (10) для проектного варианта позволяет получить величину $ФЗП = 960 + 115 = 1075$ руб.

Уменьшение значения ФЗП для проектного варианта по сравнению с базовым вариантом технологии происходит по причине повышения производительности труда, а не снижения часовой тарифной ставки, таким образом, работники предприятия с учётом снижения трудоемкости процесса не теряют в заработной плате.

«Размер отчислений на социальные нужды O_{cc} определяется с учетом ранее определенных значений ФЗП для рассматриваемых вариантов и коэффициента отчислений на социальные нужды $K_{сн}$, значение которого для рассматриваемого» [16] производства из таблицы исходных значений принимается $K_{сн}=0,34$. Расчёт величины O_{cc} :

$$O_{сн} = ФЗП \cdot K_{сн}. \quad (11)$$

Применение (11) для базового варианта позволяет получить величину $O_{сн.} = 1895 \cdot 0,34 = 644$ руб. Применение (11) для проектного варианта позволяет получить величину $O_{сн.} = 1075 \cdot 0,34 = 366$ руб.

Для того, чтобы рассчитать размер затрат на оборудование $З_{об}$, необходимо предварительно определить составляющие: амортизационные отчисления $A_{об}$ и затраты на электрическую энергию $P_{э}$.

При расчете величины $A_{об}$ применяются ранее определенные значения F_3 и $t_{маш}$, а также принятые для рассматриваемого производства норма амортизации H_a и стоимость оборудования $Ц_{об}$, значения которых берутся из таблицы исходных данных. Расчёт величины $A_{об}$:

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

Применение (12) для базового варианта позволяет получить величину $A_{об} = 850000 \cdot 21,5 \cdot 3 / 2054 / 100 = 267$ руб. Применение (12) для проектного варианта даёт $A_{об} = 1700000 \cdot 21,5 \cdot 1,7 / 2054 / 100 = 303$ руб. Увеличение амортизационных отчислений в проектном варианте технологии по сравнению с базовым вариантом технологии объясняется применением более сложного технологического оборудования больше стоимости.

Для расчёта величины $P_{эз}$ выполняется применяется цена электрической энергии $Ц_{эз}$, установленная мощность применяемого оборудования $M_{уст}$, машинное время $t_{маш}$ и коэффициент полезного действия. Эти значения были рассчитаны ранее или принимаются из таблицы исходных данных. Расчёт величины $P_{эз}$:

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

Применение (13) для базового варианта позволяет получить величину $P_{эз} = 30 \cdot 3 \cdot 3,4 / 0,7 = 437$ руб. Применение (13) для проектного варианта позволяет получить величину $P_{эз} = 40 \cdot 1,7 \cdot 3,4 / 0,85 = 272$ руб.

Величина затрат на оборудование $З_{об}$ определяется как сумма $A_{об}$ и $P_{эз}$:

$$З_{об} = A_{об} + P_{эз}. \quad (14)$$

Применение (14) для базового варианта позволяет получить величину затрат на оборудование $З_{об.} = 267 + 437 = 704$ руб. Применение (14) для проектного варианта позволяет получить величину $З_{об} = 303 + 272 = 575$ руб.

Полученные значения составляющих позволяют рассчитать полное значение «технологической себестоимости $C_{\text{тех}}$ выполняется как сумма затрат на материалы M , фонда заработной платы $\Phi ЗП$, отчислений на социальные нужды $O_{\text{сс}}$, затрат на оборудование $З_{\text{об}}$ и затрат на площади $З_{\text{пл}}$ » [16]:

$$C_{\text{тех}} = M + \Phi ЗП + O_{\text{сс}} + З_{\text{об}} + З_{\text{пл}}. \quad (15)$$

Применение (15) для базового варианта позволяет получить величину $C_{\text{тех}} = 1764 + 1895 + 644 + 704 + 340 = 5347$ руб. Применение (15) для проектного варианта позволяет получить значение технологической себестоимости $C_{\text{тех}} = 1056 + 1075 + 366 + 575 + 193 = 3265$ руб. Снижение технологической себестоимости в проектном варианте технологии обеспечивается за счёт уменьшения размеров фонда заработной платы, затрат на материалы и затрат на оборудование, что объясняется применением более производительного оборудования с расширенными технологическими возможностями.

Для расчётного определения «цеховой себестоимости $C_{\text{цех}}$ необходимо применить ранее рассчитанное значение технологической себестоимости $C_{\text{тех}}$ и основной заработной платы $З_{\text{осн}}$, а также коэффициент цеховых расходов $K_{\text{цех}}$, значение которого для рассматриваемого производства принимается из таблицы исходных данных $K_{\text{цех}}=1,5$. Расчёт величины $C_{\text{цех}}$:

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

Применение (16) для базового варианта позволяет получить величину $C_{\text{цех}} = 5347 + 1,5 \cdot 1692 = 5347 + 2538 = 7885$ руб. Применение (16) для проектного варианта позволяет получить $C_{\text{цех}} = 3265 + 1,5 \cdot 960 = 3265 + 1440 = 4705$ руб. Для расчётного определения заводской себестоимости $C_{\text{зав}}$ необходимо применить ранее рассчитанные значения цеховой себестоимости $C_{\text{цех}}$ и основной заработной платы $З_{\text{осн}}$, а также коэффициент заводских расходов $K_{\text{зав}}$, значение которого для рассматриваемого производства

принимается из таблицы исходных значений $K_{зав}=1,15$. Расчёт величины $C_{зав}$ » [16]:

$$C_{зав} = C_{цех} + Z_{осн} \cdot K_{зав}. \quad (17)$$

Применение (17) для базового варианта позволяет получить значение $C_{зав} = 7885 + 1,15 \cdot 1692 = 7885 + 1946 = 40108$ руб. Применение (17) для проектного варианта дает $C_{зав} = 4705 + 1,15 \cdot 960 = 4705 + 1104 = 5809$ руб.

Для анализа которых на рисунке 33 представлена диаграмма, демонстрирующая структуру технологической себестоимости по базовому и проектному вариантам технологического процесса, эти же данные в цифровом виде представлены в калькуляционной таблице 10. На рисунке 34 представлена структура заводской себестоимости.

Таблица 10– Калькуляция заводской себестоимости

Показатель	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант	Проектный вариант
1 «Затраты на материалы	М	1764	1056
2 Фонд заработной платы	ФЗП	1895	1075
3 Отчисления на соц. нужды	Осн	644	366
4 Затраты на оборудование	Зоб	704	575
5 Затраты на площади	Зпл	340	193
6 Технологическая себестоимость	Стех	5347	3265
7 Цеховые расходы	Рцех	2538	1440
8 Цеховая себестоимость	Сцех	7885	4705
9 Заводские расходы	Рзав	1946	1104
10 Заводская себестоимость» [16]	$C_{зав}$	9831	5809

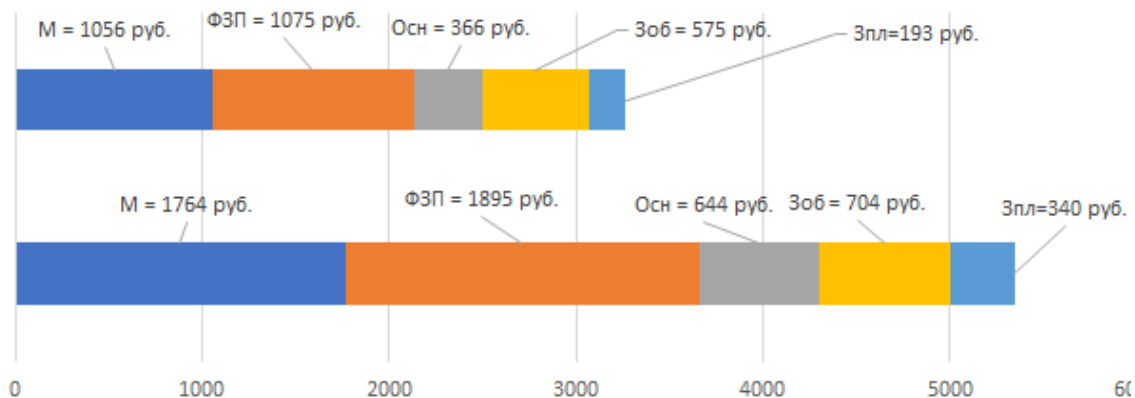


Рисунок 33 – Состав технологической себестоимости

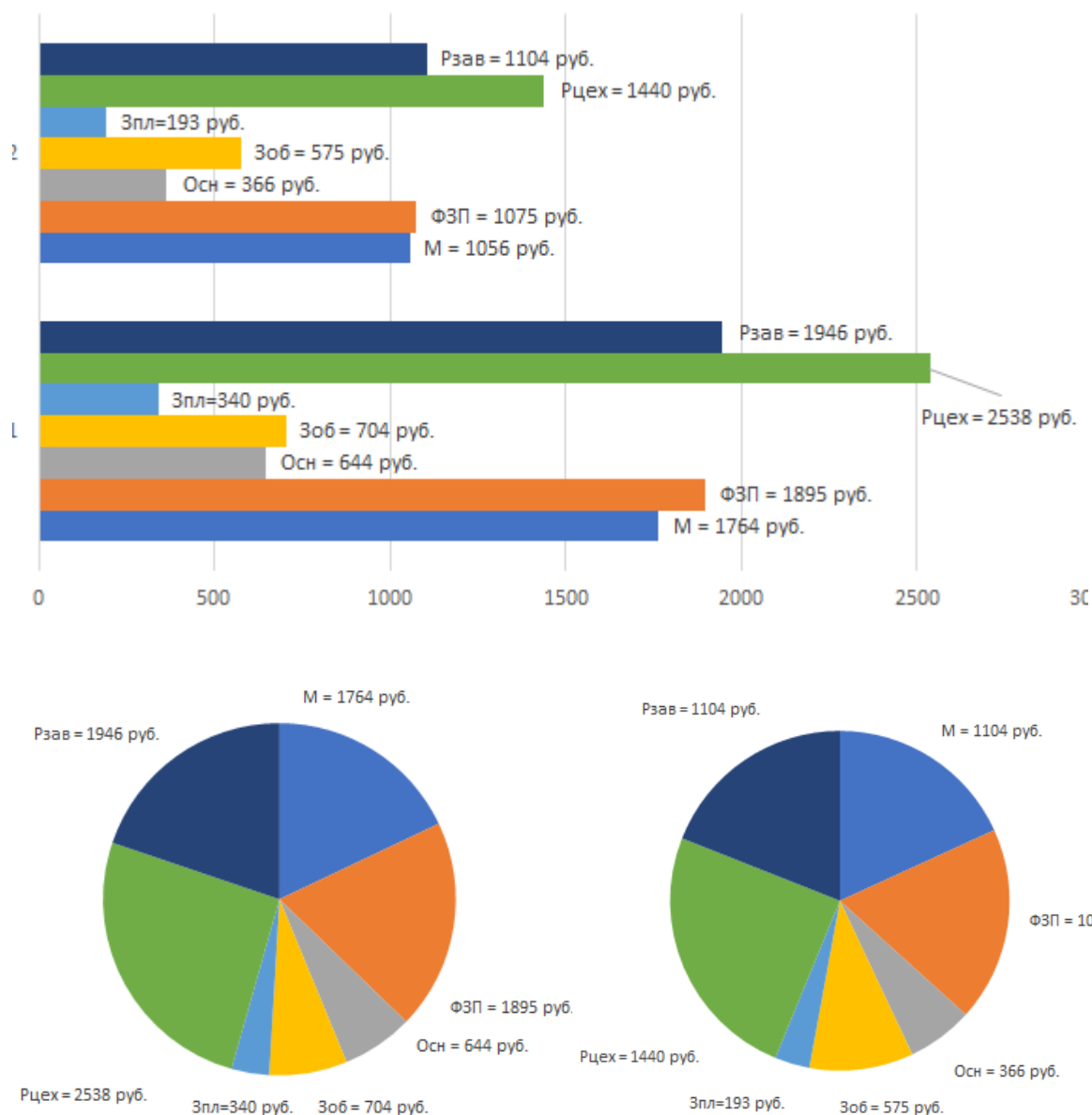


Рисунок 34 – Структура заводской себестоимости

Снижение заводской себестоимости в проектом варианте технологии обеспечивается за счёт уменьшения величины технологической себестоимости и величины цеховых и заводских расходов.

Высокая эффективность предлагаемых решений доказывается уменьшением величины заводской себестоимости в проектом варианте по сравнению с базовым вариантом. Но для расчётного определения показателей экономической эффективности требуется рассчитать капитальные затраты, которые будут учтены при расчётном определении экономической эффективности проектной технологии по сравнению с базовой технологией.

4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам

Первоначально следует определиться с «величиной остаточной стоимости оборудования $\Pi_{об.б.}$, использование которого выполнялось при реализации базовой технологии. При продолжительности эксплуатации $T_c=2$ года и цене оборудования $\Pi_{перв}= 850$ тыс. руб. с учетом нормы амортизационных отчислений $H_a=21,5 \%$ » [16]:

$$\Pi_{об.б.} = \Pi_{перв.} - (\Pi_{перв.} \cdot T_{сл} \cdot H_a / 100). \quad (18)$$

Применение (18) для базового варианта позволяет получить величину $\Pi_{об.б.} = 850000 - (850000 \cdot 2 \cdot 21,5 / 100) = 484500$ руб.

Величина общих капитальных затрат $K_{общ.б.}$ в базовом варианте технологии, рассчитывается по ранее полученному коэффициенту загрузки K_z и остаточной стоимости $\Pi_{об.б.}$:

$$K_{общ. б.} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{з.б.} = 1 \cdot 484500 \cdot 0,7 = 339150 \text{ рублей.} \quad (19)$$

«Капитальные затраты на оборудование при реализации проектного технологического процесса $K_{об. пр.}$ рассчитываются с учётом цены оборудования по проектному варианту $\Pi_{об.пр.}$, коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{тз}$ и коэффициента загрузки оборудования K_z , расчётное значение которого составляет $K_z=0,4$. Из таблицы исходных данных принимается $\Pi_{об.пр.}=1900$ тыс. рублей, $K_{тз}=1,05$. Капитальные затраты по на оборудование по проектному варианту составят

$$K_{об.пр.} = \Pi_{об. пр.} \cdot K_{тз} \cdot K_{зп} = 1700000 \cdot 1,05 \cdot 0,4 = 714000 \text{ руб.} \quad (20)$$

Далее рассчитывают расходы на демонтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на демонтаж $K_{дем}=0,05$ и цены оборудования $\Pi_{об.б.}= 850$ тыс. рублей определяют как

$$P_{дем} = \Pi_{об. б.} \cdot K_{д} = 1 \cdot 850000 \cdot 0,05 = 42500 \text{ руб.} \quad (21)$$

Далее рассчитывают расходы на монтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на монтаж $K_{\text{мон}}=0,05$ и цены оборудования $\Pi_{\text{об.пр.}}=1700$ тыс. рублей определяют как

$$P_{\text{монт}} = \Pi_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{м}} = 1700000 \cdot 0,05 = 85000 \text{ рублей.} \quad (22)$$

Далее рассчитываем величину сопутствующих расходов как сумму расходов на демонтаж $P_{\text{дем}}$ и расходов на монтаж $P_{\text{мон}}$:

$$K_{\text{соп}} = P_{\text{дем}} + P_{\text{монт}} = 42500 + 85000 = 127500 \text{ рублей.} \quad (23)$$

Величину капитальных затрат по проектной технологии $K_{\text{общ.пр.}}$ рассчитывается как сумма сопутствующих расходов $K_{\text{соп}}$ и капитальных затрат на оборудование $K_{\text{об.пр.}}$:

$$K_{\text{общ. пр.}} = K_{\text{об. пр.}} + K_{\text{соп.}} = 714000 + 127500 = 841500 \text{ рублей.} \quad (24)$$

Размер дополнительных капитальных затрат $K_{\text{доп}}$ вычисляется с учётом ранее определенных капитальных затрат по базовой технологии $K_{\text{общ. б.}}$ и капитальных затрат по проектной технологии $K_{\text{общ. пр.}}$:

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общпр}} - K_{\text{общб}} = 841500 - 339150 = 502350 \text{ рублей.} \quad (25)$$

Размер удельных капитальных затрат $K_{\text{уд}}$ рассчитывается по капитальным вложениям $K_{\text{доп}}$ с учётом годовой программы $\Pi_{\text{Г}}$:

$$K_{\text{уд}} = K_{\text{общ}} / \Pi_{\text{Г}}. \quad (26)$$

Для базового варианта технологического процесса величина удельных капитальных» [16] затрат составляет $K_{\text{уд}} = 339150/500 = 678$ рублей за один ремонтный стык. Для проектного варианта технологического процесса величина удельных капитальных затрат составляет $K_{\text{уд}} = 841500/500 = 1683$ рублей за один ремонтный стык. На основании проведенных расчётов могут быть определены показатели эффективности предлагаемых решений.

4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей

Доказательство целесообразности внедрения предлагаемых технологических решений в современное производство выполняется по результатам анализа показателей экономической эффективности. Снижение трудоемкости $\Delta t_{шт}$ оценивается по изменению значения штучного времени $t_{шт}$:

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт\ б} - t_{шт\ пр}) \cdot 100 \% / t_{шт\ б} = (3 - 1,7) \cdot 100 \% / 3 = 43 \%. \quad (27)$$

Расчёт повышения производительности труда P_T :

$$P_T = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}) = 100 \cdot 43 / (100 - 43) = 75 \%. \quad (28)$$

Расчёт снижения технологической себестоимости:

$$\Delta C_{тех} = (C_{тех.б.} - C_{тех.пр.}) \cdot 100\% / C_{тех.б.} = (5347 - 3265) \cdot 100\% / 5347 = 39 \% \quad (29)$$

Условно-годовая экономия $\mathcal{E}_{уг}$ позволяет оценить величину экономического эффекта без учета капитальных вложений и рассчитывается с учётом разности заводской себестоимости $C_{зав}$ по вариантам технологии и годовой программы P_T :

$$\mathcal{E}_{уг} = (C_{зав.б.} - C_{зав.пр.}) \cdot P_T = (9831 - 5809) \cdot 500 = 2011000 \text{ рублей}. \quad (30)$$

Эффективность внедрения предлагаемых технологических решений характеризуется сроком окупаемости $T_{ок}$:

$$T_{ок} = K_{доп} / \mathcal{E}_{уг} = 502350 / 2011000 = 0,25 \text{ года}. \quad (31)$$

Расчёт годового экономического эффекта $\mathcal{E}_T$ с учетом коэффициента окупаемости затрат $E_H = 0,33$:

$$\mathcal{E}_T = \mathcal{E}_{уг} - E_H \cdot K_{доп} = 2011000 - 0,33 \cdot 502350 = 1845225 \text{ рублей}. \quad (32)$$

С использованием рассчитанных показателей эффективности можно судить о целесообразности внедрения предлагаемых решений.

Выводы по экономическому разделу

В настоящем разделе проведены расчётные исследования по определению эффективности проектной технологии ремонтной сварки паропроводов с применением предлагаемых технологических решений. Представлены исходные данные, характеризующие базовую и проектную технологию сварки. По результатам оценки особенностей протекания технологического процесса в базовом варианте и проектном варианте определены временные показатели технологии, на основании которых с использованием исходных данных выполнен расчёт составляющих заводской себестоимости сборки и сварки по рассматриваемым вариантам технологии. Установлено, что внедрение предлагаемых технологических решений позволяет уменьшить размер фонда заработной платы и отчислений на социальные нужды за счёт повышения производительности труда. Также это привело к значительному уменьшению цеховых и заводских расходов, что положительно сказалось на уменьшении заводской себестоимости проведения сварочных работ. Далее установлен размер капитальных вложений по базовому варианту и проектному варианту построения технологического процесса, с учётом которых рассчитаны показатели эффективности предлагаемых к внедрению решений. За счёт применения более прогрессивного оборудования и технологий при внедрении предлагаемых решений в производство удастся уменьшить трудоемкость выполнения работ на 43 %, повысить производительность процесса на 75 %. За счёт уменьшения размера основных составляющих технологической себестоимости её величина уменьшается на 39 %. При капитальных вложениях 502 тыс. рублей срок окупаемости составляет 0,25 года, а экономический эффект составляет 1,845 млн. рублей.

На основании вышеизложенного следует признать эффективность внедрения предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технологических решений.

Заключение

Базовая технология предусматривает применение комбинированного способа сварки, при котором прихватки корневой слой шва выполняются аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом, также с применением аргонодуговой сварки выполняется второй слой (первый заполняющий слой). Далее с применением ручной дуговой сварки выполняется заполнение разделки ещё двумя слоями, далее выполняется облицовочный слой. Такая технология имеет ряд недостатков. Первым недостатком является применение сварки неплавящимся электродом, которая характеризуется низкой производительностью и требует привлечения сварщиков высокой квалификации. Вторым недостатком является применение ручной дуговой сварки при выполнении заполняющих слоев и облицовочного слоя, которая характеризуется тяжелыми условиями труда и значительным количеством дефектов, наличие которых в зоне сварного шва может послужить причиной разрушения сварного соединения при длительной эксплуатации в условиях температурных и динамических нагрузок.

Проектная технология предусматривает выполнение корневого слоя шва аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом, а заполнение разделки и облицовочный слой выполняется с применением механизированной сварки порошковой проволокой в среде углекислого газа. Это позволили существенно повысить производительность сварки за счёт уменьшения доли сварки неплавящимся электродом и замены ручной дуговой сварки на сварку порошковой проволокой.

В проектной технологии предлагается применить сборочное приспособление для сварки толстостенных труб, позволяющее отказаться от простановки прихваток, что дополнительно повышает производительность сварки и качество сварного шва. Также в проектной технологии предлагается повысить эффективность сварки за счёт применения импульсного управления переносом электродного металла. Это позволило повысить пространственную

стабильность сварочной дуги и отказаться от выполнения подварочного прохода. Также применение предлагаемой схемы импульсного управления сваркой обеспечивает измельчение структуры металла сварного шва и интенсивное перемешивание сварочной ванны, за счёт чего обеспечивается отсутствие пор и равнопрочность. При этом возможно исключение термической обработки после сварки.

На основании предлагаемых решений была составлена проектная технология сварки при ремонте паропровода, назначены параметры режима и сформулированы условия выполнения операций.

На основании анализа особенностей выполнения операций проектного технологического процесса удалось идентифицировать производственные факторы, негативное влияние которых на персонал не позволяет отнести их к нейтральным факторам и заставляет рассматривать вопрос их нейтрализации с применением стандартных решений. предложены мероприятия по защите составляющих природы – атмосферы, литосферы и гидросферы от негативного воздействия со стороны производственного участка. Особое внимание следует уделить селективному сбору промышленных отходов и недопустимости несанкционированного их выбрасывания, что может привести к загрязнению гидросферы и литосферы.

За счёт применения более прогрессивного оборудования и технологий при внедрении предлагаемых решений в производство удастся уменьшить трудоемкость выполнения работ на 43 %, повысить производительность процесса на 75 %. За счёт уменьшения размера основных составляющих технологической себестоимости её величина уменьшается на 39 %. При капитальных вложениях 502 тыс. рублей срок окупаемости составляет 0,25 года, а экономический эффект составляет 1,845 млн. рублей. Выполнение оценочного экономического раздела позволило заключить, что внедрение в производство предлагаемых решений позволяет повысить экономические показатели предприятия. Таким образом, поставленная цель может считаться достигнутой.

Список используемой литературы и используемых источников

1. А.с. 682336 СССР МПК В23К9/10 Устройство для сварки / Ушаков С.В., Дедюх Р. И. Заявл. 31.05.78; Оpubл. 30.08.79 Бюл. № 32, 3 с.
2. А.с. 1118496 СССР МПК 23К9/10 Устройство для сварки / Князьков А. Ф., Сараев Ю. Н., Долгун Б. Г. Заявл. 12.01.83, опубл. 15.10.84, Бюл. № 38, 4 с.
3. А.с. 1779506 СССР МПК В23К9/09 Устройство для сварки / Князьков А. Ф., Швалев В.В., Долгун Б.Г. Заявл. 18.01.91; Оpubл. 07.12.92 Бюл. № 45, 3 с.
4. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
5. Березин В. Л., Суворов А. Ф. Сварка трубопроводов и конструкций. М.: Недра, 1976, 359 с.
6. Вертакова Ю. В., Плотников В. А. Перспективы импортозамещения в высокотехнологичных отраслях промышленности // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 7-20.
7. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
8. Дмитрик В. В., Глушко А. В., Бартш С. Н. К улучшению качественных характеристик структуры сварных соединений паропроводов // Энергосбережение, энергетика, аудит. 2013. № 10. С. 56-61.
9. Дмитрик В. В., Лучка Н. В., Скляр О. В. К улучшению качественных характеристик металла шва сварных соединений паропроводов // Энергосбережение, энергетика, аудит. 2012. № 7. С. 53-59.
10. Дудко Д.А., Сидорук В.С., Зацерковный С.А. Технология ручной дуговой сварки покрытыми электродами с модуляцией параметров режима. //Автоматическая сварка. 1991. № 12. С. 59-60.
11. Зяблицева О.В., Галимова М.П. Основные проблемы коммерциализации результатов инновационной деятельности //

Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования: научно-практический журнал. 2016. № 6, С. 44 -51.

12. Коньк, А.И. Использование присадочной проволоки для улучшения структуры сварных соединений из теплоустойчивых перлитных сталей // Восточно-европейский журнал передовых технологий, 2005. № 1. С. 52-55.

13. Крампит А. Г., Крампит Н. Ю., Крампит М. А. Процесс сварки с импульсным питанием при производстве цилиндров шахтных крепежей // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № 5. С. 30-38.

14. Крампит А. Г., Крампит Н. Ю., Габитов Э. К. Модернизация сварочного оборудования – как решение приоритетной задачи по импортозамещению // Технический научно-производственный журнал. 2016. № 7. С. 18-23.

15. Крампит Н. Ю., Крампит А. Г. Схема воздействия импульсного питания сварочной дуги на структуру формирующегося сварного соединения // Вопросы материаловедения. 2023. № 2. С. 45-51.

16. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.

17. Лебедев Б. Д., Цыган Б. Г. Исследование структуры швов, выполненных автоматической сваркой с присадкой и без нее // Сварочное производство. 1978. № 2. С. 39–41.

18. Лисицын К. А., Смирнов А. Н. Исследование сварных соединений паропроводов, отработавших расчётный срок в условиях низкотемпературной ползучести // Технология машиностроения. № 2. С. 45-50.

19. Макеев А. А., Любимова Л. Л., Казанов А. М. Исследование термического сопротивления трубы пароперегревателя // Известия Томского политехнического университета. 2002. № 4. С. 161-163.

20. Маковецкая-Абрамова О.В., Хлопова А.В., Маковецкий В.А. Исследование концентрации напряжений при сварке паропроводов // Техно-технологические проблемы сервиса. 2014. № 2. С. 25-27.

21. Масанский О. А., Токмин А. М., Казаков В. С. Исследование влияния условия эксплуатации на деградацию структуры стали 12Х1МФ // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. 2019. № 4. С. 427-432.
22. Набоко Е. П., Чернышова Т. И. К вопросу об эксплуатации поверхностей нагрева парогенератора // Актуальные вопросы технических наук. 2014. № 5. С. 182-191.
23. Неёлов Ю. В. Перспективы импортозамещения в Российской Федерации, // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 4-7.
24. Павлова И. А., Павлов А. С. Техничко-экономический анализ при внедрении инновации на производственном предприятии // Экономический анализ: теория и практика. 2014. № 40. С. 14–21.
25. Патент № 2102213 РФ, МПК В23К37/053. Наружный центратор / Капустин В. Е., Двуреченский А. Г., Варавин И. И.; Заявл. 30.04.1996; Опубл. 20.01.1998, Бюл. № 17. 6 с.
26. Патент 2219032 РФ, МКИ В23К35/365 Состав электродного покрытия/ М.М. Лозовский, А.П. Волохов. 2003
27. Ризаева М. В. О реализации функций науки с промышленном секторе экономики в условиях санкций и ограничительных мер // Теория и практика общественного развития. 2022. № 6. С. 123-126
28. Сараев Ю. Н., Полетика И. М., Козлов А. В. Формирование структуры и свойств сварных соединений в условиях регулируемого тепловложения при импульсно-дуговой сварке // Физическая механика. 2005. № 8. С. 137-140.
29. Сараев Ю. Н. Полетика И. М., Козлов А. В. Формирование структуры и свойств сварных соединений при адаптивной импульсной сварке соединений покрытыми электродами ответственных конструкций, работающих в условиях низкочастотного термоциклирования // Сварочное производство. 2004. ; 1. С. 22-27.

30. Смирнов А.Н., Герике Б.Л., Муравьев В.В. Диагностирование технических устройств опасных производственных объектов. Новосибирск: Наука, 2003. 244 с.

31. Смирнов И.В. Сварка специальных сталей и сплавов. Изд-во Лань. 2023. 268 с.

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