

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 Сварка технологического трубопровода атомной станции

Обучающийся

А.С. Воронин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., профессор Г.М. Короткова

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

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярова

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

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

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

Тольятти 2023

Аннотация

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности сварочных технологий при строительстве технологических трубопроводов атомных станций.

Базовая технология сварки предусматривает применение ручной дуговой сварки с применением подкладного кольца.

Выполнено обоснование выбора способа сварки. При этом рассмотрены альтернативные способы сварки, дана их экспертная оценка по критериям технологичности, экономичности и долговечности сварных соединений. Сварку корневого слоя шва предлагается вести с применением ручной дуговой сварки, эффективность которой будет повышена за счёт применения импульсного питания сварочной дуги. Заполнение разделки предлагается вести порошковой проволокой в среде защитных газов, эффективность которой будет повышена за счёт применения импульсного питания сварочной дуги.

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

Производительность труда повышается на 133 %. Уменьшение технологической себестоимости составило 28 %. При этом за счёт повышения производительности труда и снижения издержек удалось получить годовой экономический эффект в размере 1,46 млн. рублей.

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

Abstract

The title of the graduation work «Welding of technological pipeline of a nuclear power plant».

The progressive degradation of thermal power plants, which is observed on the territory of modern Western and Eastern Europe, including Ukraine and Russia, makes it increasingly necessary to maintain the efficiency of the nuclear sector, which has properly preserved its efficiency. The role and place of nuclear energy in maintaining the independence and defense of the state makes it necessary to increase the efficiency of technologies for servicing and repairing nuclear power plants.

The aim of the work is increasing the productivity and quality of welding work during the construction and repair of technological pipelines of nuclear power plants.

The substantiation of the choice of the welding method is made. At the same time, alternative welding methods are considered, their expert evaluation is given according to the criteria of manufacturability, economy and durability of welded joints. Welding of the root layer of the seam is proposed to be carried out using manual arc welding, the efficiency of which will be increased through the use of pulsed power supply of the welding arc. It is proposed to fill the groove with flux-cored wire in a shielding gas environment, the efficiency of which will be increased through the use of pulsed power supply of the welding arc.

Labor productivity increases by 133%. The reduction in technological cost amounted to 28%. At the same time, by increasing labor productivity and reducing costs, it was possible to obtain an annual economic effect in the amount of 1.46 million rubles.

Содержание

Введение	6
1 Современное состояние сварки технологических трубопроводов на объектах атомной энергетики.	9
1.1 Описание трубопровода и условия его работы.	9
1.2 Анализ материала трубопровода.	11
1.3 Описание операций базового технологического процесса сварки стыков трубопровода.	15
1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы	23
2 Построение проектной технологии сборки и сварки стыка.	25
2.1 Обоснование выбора способа сварки.	25
2.2 Подготовка труб.	28
2.3 Сборка труб.	29
2.4 Прихватка и сварка корневого слоя шва.	32
2.5 Заполнение разделки	36
3 Обеспечение безопасности и экологичности предлагаемых технических решений.	39
3.1 Конструктивно-технологическая характеристика рассматриваемого объекта.	39
3.2 Идентификация профессиональных и производственных рисков.	41
3.3 Методики и технические средства для устранения профессиональных рисков.	42
3.4 Пожарная безопасность рассматриваемого технологического объекта.	44
3.5 Вопросы обеспечения экологической безопасности.	45
4 Экономическое обоснование предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений.	47
4. Анализ исходной информации по базовой и проектной	

технологиям.	47
4.2 Оценка фонда времени работы оборудования.	49
4.3 Оценка штучного времени при выполнении операций проектного и базового вариантов технологии.	50
4.4 Расчёт заводской себестоимости при осуществлении операций технологического процесса по рассматриваемым вариантам.	52
4.5 Капитальные затраты при реализации проектного и базового вариантов технологии.	56
4.6 Показатели экономической эффективности.	58
Заключение	60
Список используемой литературы и используемых источников.	62

Введение

В настоящий момент глобальной проблемой человечества следует признать недостаток энергии для продолжения развития и поддержания достигнутого уровня потребления [28]. Основной энергией, которая потребляется для нужд промышленности и обеспечения работы гражданской инфраструктуры, является энергия, выработанная на атомных, тепловых и гидравлических электростанциях. Альтернативные источники энергии не получили достаточного развития, чтобы как-то конкурировать с традиционными способами получения энергии.

Основу ядерного энергетического комплекса бывшего Советского союза составляют энергоблоки с реакторами ВВЭР-100 и ВВЭР-440. Прогрессирующая деградация тепловых электростанций, которая наблюдается на территории современной Западной и Восточной Европы, включая Украину и Россию, делает всё более необходимым поддержание работоспособности атомного сектора, который в должной мере сохранил свою работоспособность. Роль и место ядерной энергетики в поддержании независимости и обороноспособности государства заставляет повышать эффективность технологий обслуживания и ремонта атомных станций.

Базовым элементом энергетического блока атомной электростанции является её технологический трубопровод [7]. Протяжённость трубопроводов на атомной станции может достигать нескольких десятков километров, при этом, в зависимости от условия работы, трубопроводы выполняются из различных сталей. Эти трубопроводы работают в условиях значительных остаточных напряжений, воздействия температур и коррозионного воздействия, они выделены в отдельную группу устройств. При строительстве и ремонте технологических трубопроводов атомных станций широкое распространение получили дуговые способы сварки. При этом ручная дуговая сварка покрытыми электродами и аргонодуговая сварка неплавящимся электродом продолжают занимать лидирующие позиции. В

первую очередь это объясняется тем, что при этих способах сварки обеспечивается высокое качество проведения работ в условиях монтажа [24].

В тоже время следует принимать во внимание, что ручные способы сварки не позволяют обеспечить строгое соблюдение заданных параметров режима и техники сварки в условиях массового производства. Также эти способы не обеспечивают требуемую точность поддержания режимов при выполнении высоко ответственных конструкций.

Однако применение автоматических способов сварки встречает ряд трудностей. В первую очередь, следует указать, что автоматическая сварка не обладает такой же гибкостью процесса, какой обладает ручная дуговая сварка и ручная аргонодуговая сварка неплавящимся электродом. При автоматической сварке корневых швов на трубопроводах охлаждения атомных станций порядка 30 % сваренных швов имеют недопустимые дефекты [24].

Следует принимать во внимание стеснённые условия, в которых приходится выполнять сварочные работы при строительстве и ремонте трубопроводов на атомных станциях. Это существенно усложняет сварку и заставляет предъявлять повышенные требования по качеству сварки, так как переварка при исправлении дефектов сопряжена с расходом существенных трудовых и материальных ресурсов [4], [22]. При выполнении стыков трубопроводов на АЭС затрачивается порядка 40 % всех трудовых ресурсов на монтаж оборудования атомной станции [36]. Приблизительно 60 % всех стыков приходится на трубопроводы из аустенитных сталей [22], [35]. При этом общее количество стыков труб, которые следует сварить при монтаже одного энергоблока, составляет порядка 120 тысяч [18].

Следует отметить серьёзность проблемы поддержания надёжной эксплуатации трубопроводов и оборудования на атомных электростанциях. Их старение может опережать темпы технического перевооружения [20], [39]. Независимо от качества проектирования и исполнения трубопровода АЭС, в процессе его длительной эксплуатации происходит накопление

значительного числа дефектов, которые зарождаются и по мере работы трубопровода в условиях силового и температурного нагружения развиваются, что в конечном итоге может привести к разрушению трубопровода.

Долгосрочная безопасная эксплуатация оборудования атомных станций возможна при условии диагностики их состояния и проведения своевременного ремонта.

При оценке безопасности эксплуатации долговременно работающей атомной электростанции центральное место занимают технологические трубопроводы, что объясняется рядом причин.

Первой причиной является значительное влияние состояния трубопровода на безопасность атомной станции.

Второй причиной следует указать то, что трубопроводы являются наиболее многочисленной и металлоёмкой группой в конструкции энергоблока.

Третьей причиной является значительный запас упругой энергии, который накапливается в трубопроводах в процессе работы атомной станции, что может стать причиной возникновения различных аварий.

Четвёртой причиной следует назвать значительное потребление трудовых и материальных ресурсов при ремонте и замене трубопроводов [20].

На основании вышеизложенного следует признать актуальной целью выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества выполнения сварочных работ при строительстве и ремонте технологических трубопроводов атомных станций.

Достижение поставленной цели должно быть основано на использовании современных технологических решений инженеров-сварщиков, работающих в области сварки на объектах атомной энергетики.

1 Современное состояние сварки технологических трубопроводов на объектах атомной энергетики

1.1 Описание трубопровода и условия его работы

Выбор марки стали для изготовления элементов трубопровода атомных станций, если транспортируемая среда неагрессивная, зависит от температуры эксплуатации. «При температурах эксплуатации до 450 °С нашли применение стали 10 и 20. При работе в интервале температур 450...570 °С применяются легированные хромом, молибденом и ванадием перлитные стали (12X1МФ и 15X1М1Ф). Для температур до 620 °С нашли применение нержавеющие мартенситно-ферритные стали, например, ЭИ-756 . В атомной энергетике до недавнего времени была распространена сталь 08X18Н10Т, 10X18Н10Т и 12X18Н10Т. Но, как показала практика длительного использования в условиях высоких температур, эти стали недостаточно надёжны из-за протекающего в них процесса старения» [32].

При эксплуатации трубопроводов в них возникают и развиваются такие дефекты, как кавитационный износ, выпучины, разрывы, трещины и коррозия [1], [5], [23].

В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается сварка при строительстве и ремонте паропровода свежего пара атомной электростанции. Паропровод свежего пара является системой второго контура АЭС, он служит для подачи свежего пара от парогенераторов к цилиндру высокого давления турбины. На рисунке 1 представлена схема трубопровода свежего пара, по которому происходит подача пара на вспомогательную турбину Т-100-130 мощностью 105 МВт.

Для подачи свежего пара служит нитка диаметром 377 мм и толщиной стенки трубы 50 мм. Для того, чтобы уменьшить сопротивление паропровода, его выполняют с минимальным количеством изгибов.

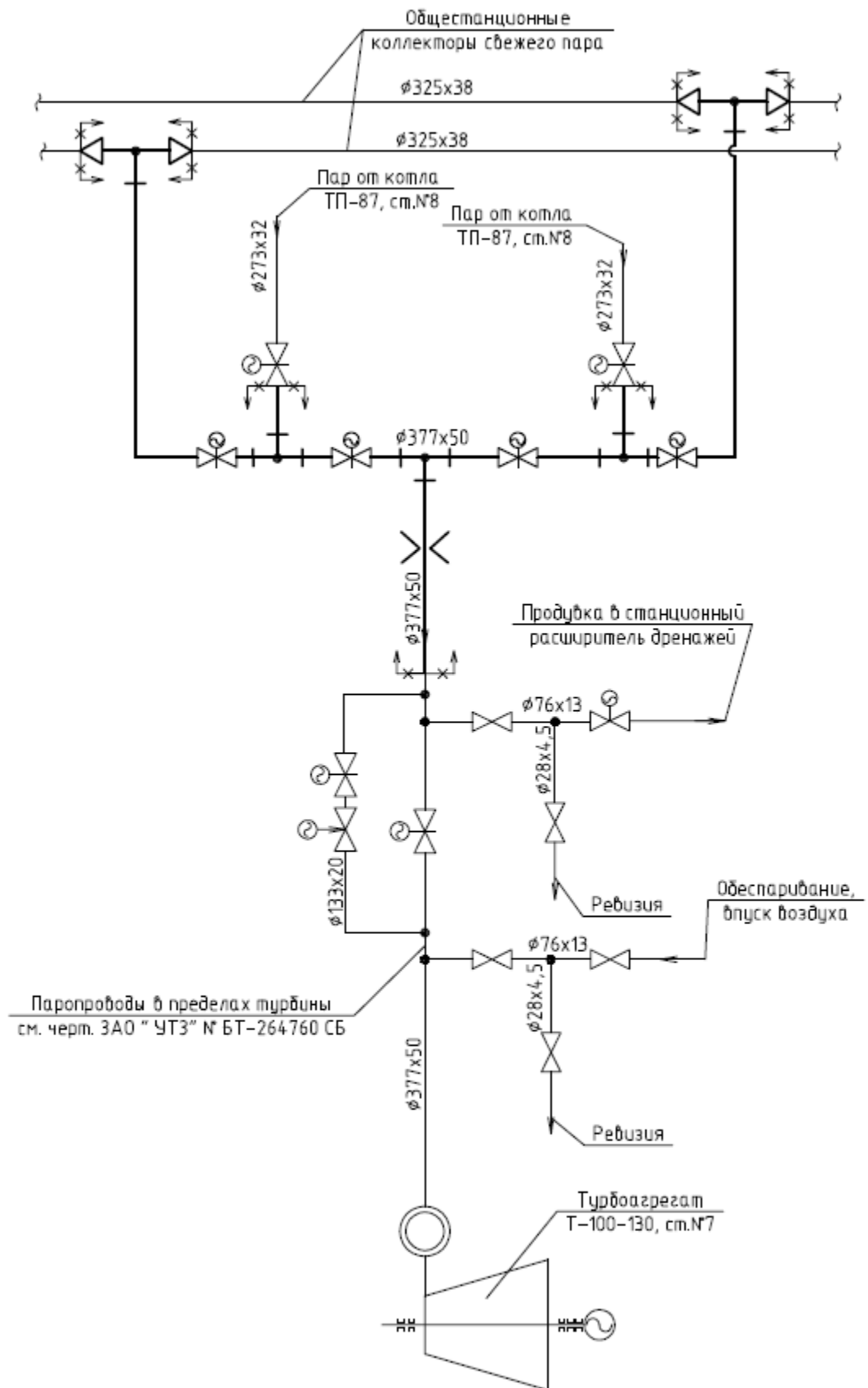


Рисунок 1 – Схема паропровода свежего пара

Элементы паропровода атомной станции работают в условиях следующих воздействий: давление рабочей среды, температура рабочей среды, вес трубы, напряжения самокомпенсации.

Давление среды внутри паропровода приводит к образованию в нём растягивающих напряжений. Силовые нагрузки на паропровод приводят к образованию напряжений изгиба. Тепловые нагрузки приводят к возникновению в паропроводе скручивающих, изгибающих и сжимающих напряжений.

Ползучесть металла приводит в результате длительной работы к уменьшению толщины стенки и увеличению диаметра трубы. Вода и водяной пар в условиях действия радиации разлагаются с образованием компонентов, обладающих коррозионной активностью. Поскольку температура кипения воды достаточно низкая, для повышения эффективности передачи тепла по паропроводу приходится повышать давление в контуре. Перемещающаяся по паропроводу среда создает гидравлические удары, эрозию металла и вибрации, интенсивность воздействия которых на стенку трубы определяется не только температурой и давлением, но и скоростью движения среды по трубопроводу.

Температура свежего пара составляет 555 °С, давление в системе составляет 130 атм. Номинальная мощность вспомогательной турбины, схема питания паром которой рассматривается в настоящей выпускной квалификационной работе, составляет 105 МВт.

1.2 Анализ материала трубопровода

На основании работы [9], [38] проблема свариваемости при выполнении конструкций для атомной энергетики может быть представлена в комплексном виде. На рисунке 2 справа показаны факторы технологического процесса. При этом определяющим является фактор влияния свойств основного металла.

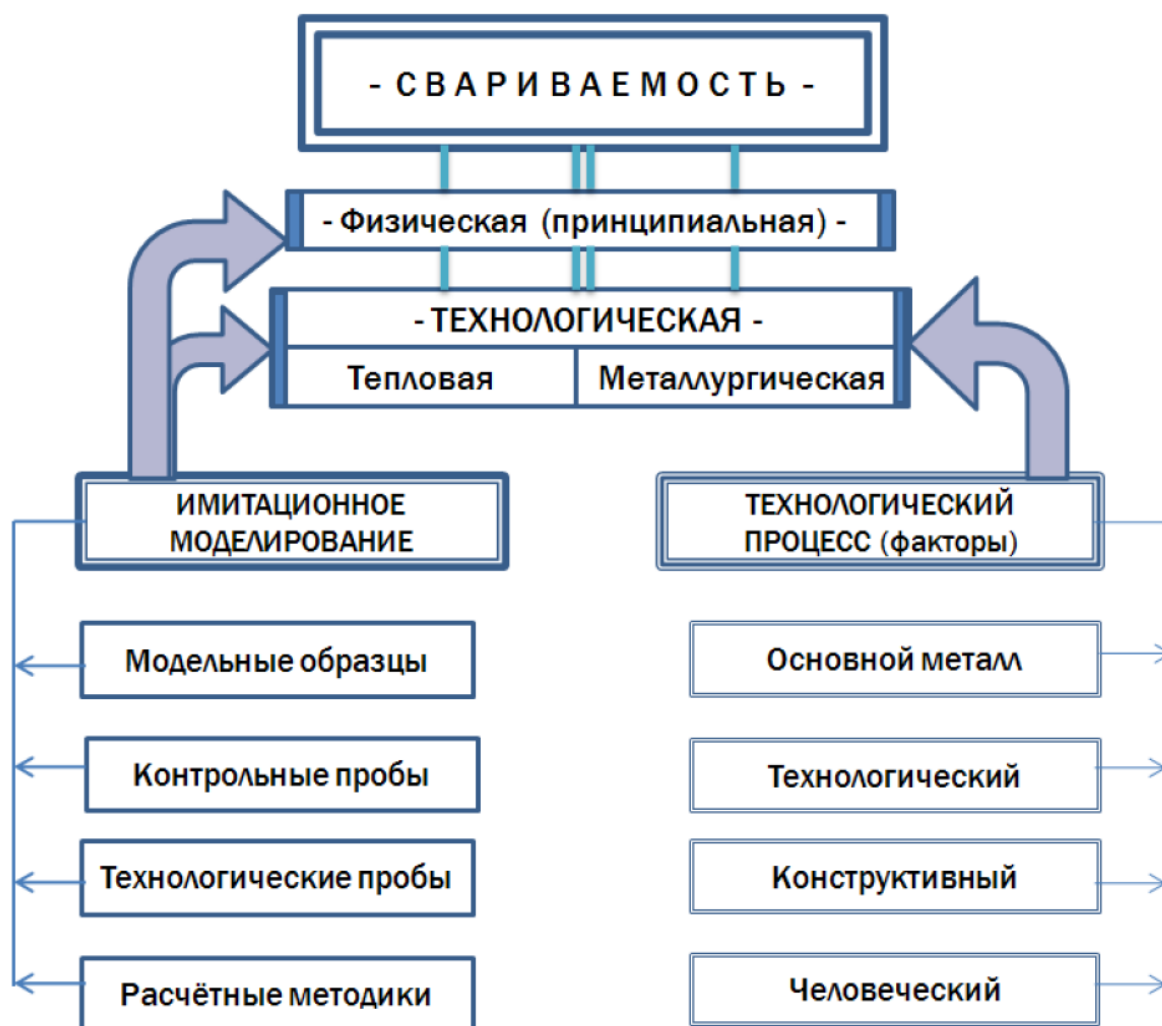


Рисунок 2 – Информационные потоки, позволяющие формализовать понятие «свариваемость» при выполнении металлических конструкций для атомной энергетики [9]

Технологический фактор также влияет на свариваемость, так как учитываются особенности подготовки кромок деталей, сборки под сварку, правильность назначения параметров режима сварки, выбор сварочных материалов, метрологическое обеспечение сварочного процесса, технику сварки.

Конструктивный фактор зависит от таких особенностей сварной конструкции, как жёсткость, пространственное положение сварных швов, толщина свариваемого металла и т.д. В значительной мере на свариваемость оказывает влияние наличие концентраторов напряжений.

Человеческий фактор также оказывает существенное влияние на свариваемость, так как продолжительность сварки при выполнении сварных швов на объектах атомной энергетики может быть весьма значительной и составлять несколько десятков часов. В этом случае человеческий фактор начинает значительной влиять на качество сварки, так как многократно повышается вероятность несанкционированного вмешательства.

Для изготовления трубопровода свежего пара применяется сталь 15X1M1Ф, которая относится к низколегированным жаропрочным сталям и нашла применение для изделий, которые работают в условиях высокого давления и температуре эксплуатации до 585 °С [8], [32], [37].

Содержание химических элементов в стали 15X1M1Ф представлено в таблице 1.

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

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

За счёт содержания в стали хрома обеспечивается её высокая жаростойкость, которая проявляется в сопротивлению процессу окисления при повышенных температурах. При температурах эксплуатации до 450 °С хром способен предотвращать графитизацию. Также хром предотвращает графитизацию при выполнении сварочных работ.

Совместное содержание в стали молибдена и хрома позволяет повысить длительную прочность и сопротивление ползучести. Также молибден при сварке стали образует упрочняющий интерметаллид Fe₂Mo.

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

При сварке стали 15X1M1Ф приходится устранять сопровождающие трудности, к которым относят [31]: разупрочнение околошовной зоны, охрупчивание и образование холодных трещин.

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

Охрупчивание стали 15X1M1Ф при сварке происходит по причине образования в ней закалочных структур: мартенсит, тростит и бейнит, что происходит при высокой скорости охлаждения.

Разупрочнение стали 15X1M1Ф происходит в околошовной зоне в результате высокотемпературного отпуска и неполной перекристаллизации. Отрицательное действие разупрочнения проявляется при длительной работе в условиях повышенных температур. Происходит снижение длительной прочности сварного соединения, величина которого зависит от структуры стали и термического цикла при сварке. Повышение погонной энергии при сварке вызывает увеличение степени разупрочнения. Образующаяся при

этом мягкая прослойка становится причиной локальных разрушений при эксплуатации, что особенно ярко проявляется при изгибающих нагрузках.

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

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

1.3 Описание операций базового технологического процесса сварки стыков трубопровода

До начала сборки мастером проверяется наличие клейм, маркировки, а также сертификатов завода-изготовителя, подтверждающих соответствие блоков, труб и деталей их назначению на всех поступающих на монтажную площадку блоках, трубах и деталях. При отсутствии клейм, маркировки или сертификатов блоки, трубы и детали к дальнейшей обработке не допускаются.

Не допускается кривизна труб величиной более 4 мм на один метр с суммарной величиной прогиба более 15 мм.

Схема проверки перпендикулярности торцев труб представлена на рисунке 3. Отклонение α должно быть не более 2 мм.

Для резки труб применяются труборезы. Для трубы диаметром 377 мм применяется труборез 2Т-377. Для трубы диаметром 273 мм применяется труборез 2Т-299М. Труборезы представлены на рисунке 4.

Подготовку кромок труб выполняют механическим способом. На рисунке 5 представлена форма разделки труб толщиной стенки 50 мм.

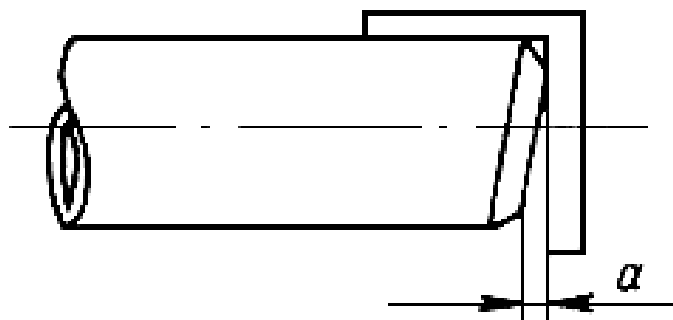


Рисунок 3 – Схема проверки перпендикулярности торцев труб при помощи угольника



Рисунок 4 – Труборезы для резки толстостенных труб

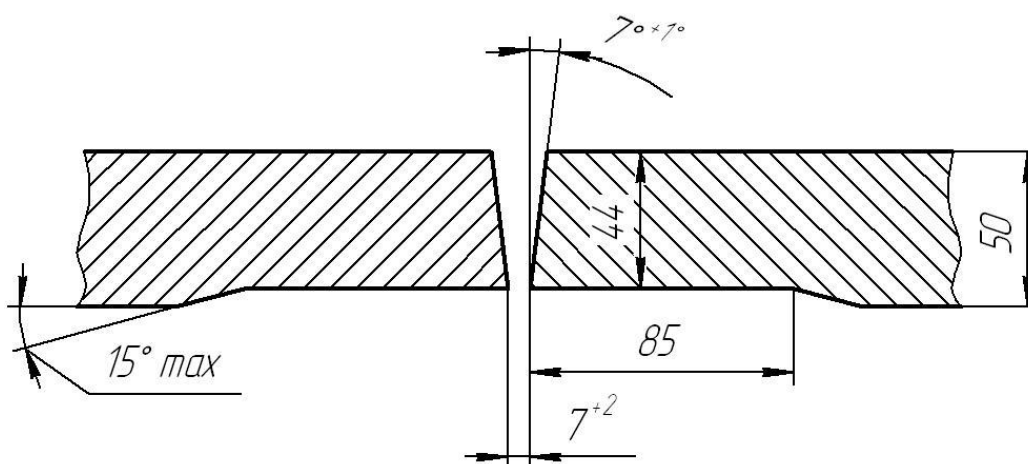


Рисунок 5 – Форма разделки труб диаметром 377 мм и толщиной стенки 50 мм

Обработку кромок труб выполняют механическими способами с применением фрезы и абразивного круга. Шероховатость поверхности не должна быть хуже, чем указанная на рисунке 6. При помощи напильника и абразивного круга следует устранить все неровности и выступы, которые могут помешать сборке. Также следует убрать все острые углы и переходы.

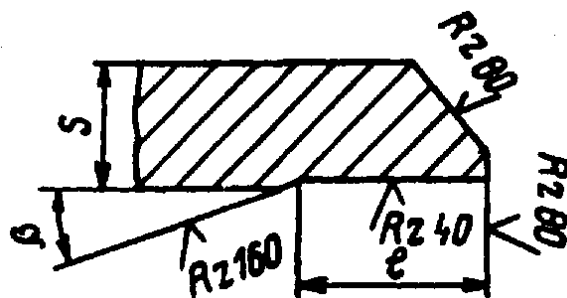


Рисунок 6 – Требования к шероховатости поверхности торцев труб

Перед сборкой стыка необходимо зачистить до металлического блеска и обезжирить поверхности труб на ширину 20 мм от кромки по внешней стороне трубы и на ширину 10 мм от кромки по внутренней стороне трубы.

Для сборки труб применяются специальные центровочные приспособления, которые обеспечивают требуемую точность сборки.

Следует подбирать трубы таким образом, чтобы внешние и внутренние диаметры стыкуемых труб были равны. Допускается выполнение стыка труб с различающимися внутренними диаметрами не более 2 мм. Зазор между подкладным кольцом и внутренней поверхностью труб должен быть не более 1 мм.

После сборки стыка выполняют проверку перелома оси при помощи металлической линейки длиной 400 мм. Схема проверки прямолинейности труб представлена на рисунке 7. Металлическую линейку следует прикладывать в трёх местах и измерять просвет, который должен быть не более 2 мм на длине 200 мм.

За качество проведения работ при сборке стыка отвечает производитель сварочных работ – бригадир или мастер. Перед выполнением прихватки качество сборки должен проверить сварщик.

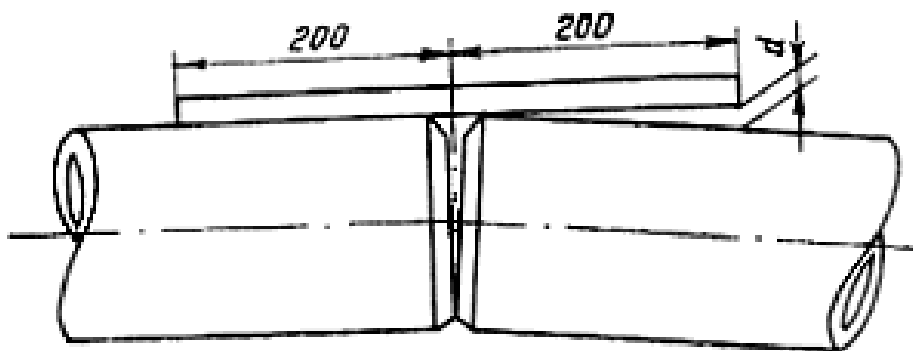


Рисунок 7 – Проверка прямолинейности стыка

В качестве подкладного кольца применяется кольцо толщиной 3...4 мм и шириной 20...25 мм, которое изготавливается из стали 12Х1МФ.

При сборке с применением подкладного кольца предусматривается определённая последовательность действий.

Сначала помещают подкладное кольцо в трубу, при этом зазор между внутренней стенкой трубы и кольцом не должен превышать 1 мм. Подкладное кольцо должно быть заведено в трубу на 1/3 ширины подкладного кольца.

При помощи устройств нагрева проводят разогрев подкладного кольца и конца трубы до 300...350 °С. Температуру подогрева контролируют с применением контактных термопар ТК-5. Для подогрева применяют газовое пламя и пушки, позволяющие равномерно распределить пламя по периметру трубы. Ширина нагреваемого участка трубы составляет 50...70 мм.

Выполняют прихватку подкладного кольца с наружной стороны трубы. Места установок прихваток должны быть расположены диаметрально противоположно, количество прихваток – две. Высота прихватки должна быть не более 3 мм, длина прихватки составляет 20...40 мм. Прихватки следует выполнять с полным проваром. При наложении основного шва прихватки следует переваривать.

Перед сваркой стыка выполняют предварительный подогрев до 300...350 °С. Температуру подогрева контролируют с применением контактных термопар ТК-5. Для подогрева применяют газовое пламя и

пушки, позволяющие равномерно распределить пламя по периметру трубы. Ширина нагреваемого участка трубы составляет 50...70 мм.

Далее выполняют приварку подкладного кольца ниточным швом, как показано на рисунке 8-а. Катет шва должен быть не более 4 мм. При выполнении шва следует переваривать прихватки.

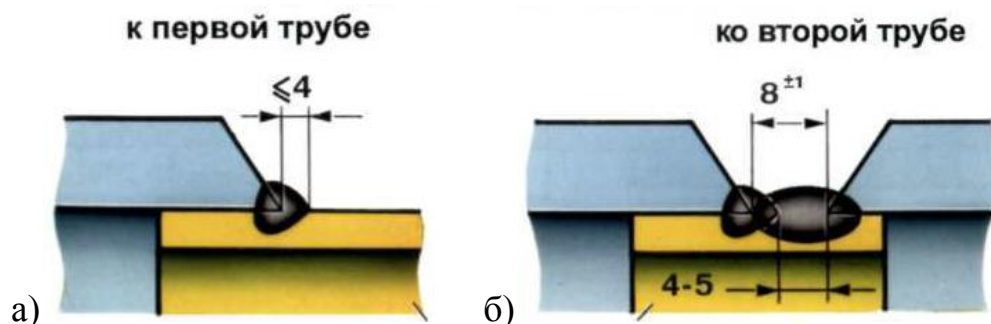


Рисунок 8 – Приварка подкладного кольца к первой (а) и второй (б) трубам

Выполняют зачистку шва от шлака и брызг.

Надвигают на кольцо вторую трубу. При этом между краем ниточного шва и концом второй трубы должно быть расстояние 4...5 мм.

Далее приваривают подкладное кольцо к второй трубе, как показано на рисунке 8-б.

Выполняют сварку стыка. Сварку ведут короткой дугой, длина которой не должна превышать диаметра электрода. При сварке следует как можно меньше раз обрывать дугу. При гашении дуги следует тщательно заправлять кратер, который должен быть на наплавленном металле на расстоянии 15...20 мм от края наплавленного металла. Наплавленный валик должен быть как можно более плоским, чтобы избежать зашлаковки.

В процессе сварки следует обеспечивать полный провар корня шва. После выполнения каждого валика необходимо очищать его поверхность от шлака и брызг, проводить визуальный контроль. Не допускается наличие трещин, скоплений пор, непроваров, наплывов. В случае обнаружения дефекта следует удалить его до здорового металла и переварить. Валики следует накладывать с перекрытием 12...18 мм.

«При выполнении вертикального стыка толщина валиков должна быть в диапазоне 5...8 мм при ширине шва не более 35 мм.

При выполнении горизонтального стыка высота валиков должна быть в диапазоне 4...6 мм при ширине шва 8...14 мм.

При выполнении сварки первых слоёв в вертикальном неповоротном стыке сварку ведут обратноступенчатым способом участками длиной 200...250 мм» [4]. При выполнении сварки последующих слоёв длина свариваемого участка составляет до половины окружности стыка. Порядок наложения слоёв при выполнении вертикального стыка представлен на рисунке 9-а.

При выполнении горизонтального стыка сварку ведут обратноступенчатым способом участками длиной 200...250 мм. Последующие слои могут быть сварены вкруговую. Порядок наложения слоёв при выполнении горизонтального стыка представлен на рисунке 9-б.

Сварку ведут с применением электродов ТМЛ-1У диаметром 2,5 мм и 3 мм на постоянном токе обратной полярности. При выполнении прихваточных швов и приварке подкладного кольца применяются электроды диаметром 2,5 мм. Ток сварки составляет 70...90 А при напряжении 17...19 В.

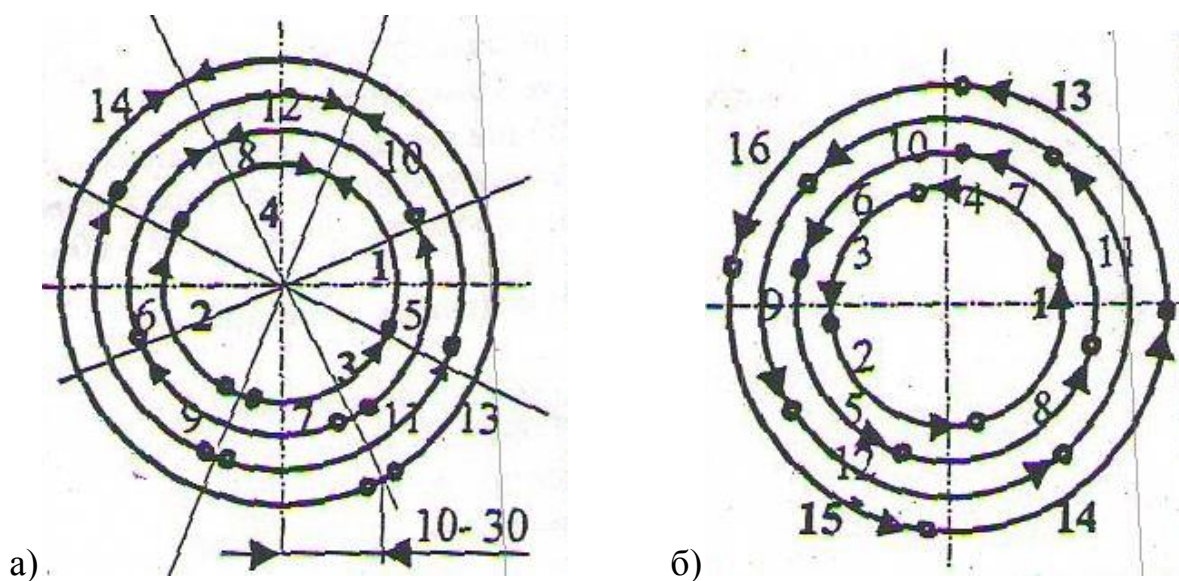


Рисунок 9 – Порядок наложения слоёв при сварке вертикального стыка (а) и сварке горизонтального стыка (б)

При заполнении разделки применяют электроды диаметром 3 мм. «Сила сварочного тока в нижнем положении составляет 90...110 А, в вертикальном и потолочном положении сила сварочного тока составляет 110...130 А. Напряжение на дуге составляет 18...23 В.

Для сварки применяется сварочный выпрямитель ВДУ-506.

После сварки выполняют термическую обработку стыка. Температура нагрева составляет 700...730 °С, длительность выдержки составляет 3 часа для толщины стенки 50 мм и 2 часа для толщины стенки 36 мм» [4]. Для нагрева применяется трансформатор ТДМ-501 и набор гибких индукторов.

После проведения термической обработки стык остывает до температуры 300 °С под слоем изоляции, далее остывание стыка происходит на открытом воздухе.

Визуальному контролю подвергается 100 % соединений.

Перед визуальным контролем сварные швы и прилегающая к ним поверхность основного металла шириной не менее 20 мм (по обе стороны шва) должны быть очищены от шлака, брызг расплавленного металла, окалины и других загрязнений.

«Визуальный контроль производится невооруженным глазом или с помощью лупы 4-7-кратного увеличения для участков, требующих уточнения характеристик обнаруженных дефектов, с применением, при необходимости, переносного источника света» [4].

По внешнему виду швы должны удовлетворять следующим требованиям:

- по форме и размерам швы должны соответствовать представленному на рисунке 10;
- швы должны иметь гладкую или равномерную чешуйчатую поверхность;
- металл шва должен иметь плавное сопряжение с основным металлом;
- швы не должны иметь недопустимых дефектов.

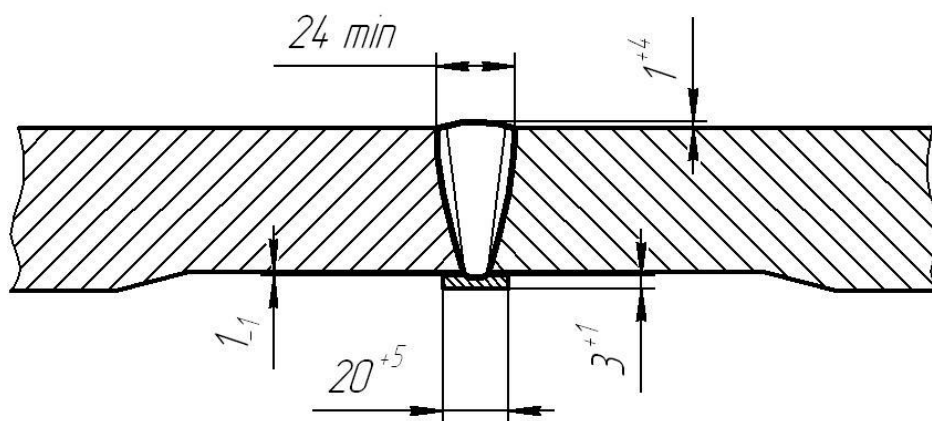


Рисунок 10 – Геометрия сварного соединения

Недопустимыми дефектами, выявленными при визуальном контроле сварных соединений, являются: трещины всех видов и направлений; непровары (несплавления) между основным металлом и швом, а также между валиками шва; наплывы (натеки) и брызги металла; незаваренные кратеры; свищи; прожоги; скопления включений.

Измерительный контроль сварных соединений (определение размеров швов, смещения кромок, переломов осей, углублений между валиками, чешуйчатости поверхности швов и др.) следует выполнять в местах, где допустимость этих показателей вызывает сомнения при визуальном контроле. Размеры и форма шва проверяются с помощью шаблонов, размеры дефекта – с помощью мерительных инструментов.

Следует отметить недостатки базовой технологии, которые предстоит устранить в настоящей выпускной квалификационной работе:

- низкая производительность ручной дуговой сварки и существенное влияние квалификации сварщика на качество сварного соединения;
- необходимость применения подкладного кольца, что повышает трудоёмкость сварочных работ и снижает эксплуатационные свойства сварного соединения.

1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

В настоящей работе поставлена цель – повышение производительности и качества выполнения сварочных работ при строительстве и ремонте технологических трубопроводов атомных станций.

Базовая технология сварки предусматривает применение ручной дуговой сварки с применением подкладного кольца.

В настоящее время доля соединений, получаемых с применением ручной дуговой сварки, неуклонно снижается, а сама ручная дуговая сварка уступает место более производительным и перспективным процессам [19]. Это объясняется большим количеством недостатков, устранение которых при существующем уровне развития техники и технологий неосуществимо.

С учётом растущего количества монтируемых атомных энергоблоков и наблюдаемого недостатка квалифицированных сварщиков-ручников следует признать, что вопрос обеспечения производительности и качества сварки главного циркуляционного трубопровода начинает превращаться в проблему. Радикальное решение этой проблемы лежит в плоскости применения новых перспективных способов сварки, заменяющих ручную дуговую сварку со всеми её недостатками.

Недостатки базовой технологии, указанные выше, заставляют искать способы повышения эффективности сварочных технологий.

Исходя из этого могут быть сформулированы задачи выпускной квалификационной работы, решение которых обеспечит достижение поставленной цели.

Первой задачей является обоснование выбора способа сварки. При этом следует рассмотреть альтернативные способы сварки, дать им экспертную оценку по критериям технологичности, экономичности и долговечности сварных соединений. Далее необходимо предложить способ сварки, который будет использован для построения проектной технологии.

Второй задачей является повышение эффективности выбранного способа сварки применительно к рассматриваемой конструкции. При этом следует основной упор следует делать на отечественные разработки, что позволит обеспечить независимость российской промышленности от иностранных технологий и оборудования [14], [21].

Третьей задачей является построение проектной технологии ремонтной сварки. При этом следует дать перечень технологических операций, которые будут выполняться при осуществлении процесса. Также необходимо сформулировать требования к выполнению каждой операции и назначить параметры режима обработки, выбрать необходимое технологическое оборудование.

Четвёртой задачей, которая будет решаться в оценочном блоке, является оценка экологичности предложенных в работе решений и на предмет обеспечения безопасности труда. Следует составить перечень опасных и вредных производственных факторов, предложить мероприятия и технические средства для их уменьшения или устранения, дать рекомендации по снижению экологических рисков [2], [6].

Пятой задачей является оценка возможного экономического эффекта при внедрении предлагаемых решений в производство. Для этого следует рассчитать себестоимость производства при использовании базовой и проектной технологии, рассчитать и сравнить экономические показатели и сделать вывод об экономической эффективности предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений [15], [16].

2 Построение проектной технологии сборки и сварки стыка

2.1 Обоснование выбора способа сварки

В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается вопрос повышения эффективности сварки трубопровода из стали и толщиной стенки 50 мм и 36 мм. Применительно к рассматриваемому материалу и толщине могут быть рассмотрены такие способы сварки:

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

Самым универсальным способом следует признать ручную дуговую сварку с применением электродов специального назначения. Этот способ сварки продолжает играть существенную роль при выполнении конструкций различного назначения. Широкое применение ручной дуговой сварки объясняется высокой универсальностью способа и гибкостью технологического процесса.

Повышение эффективности ручной дуговой сварки толстостенных трубопроводов может быть получено за счёт применения электродов со специальным покрытием [26]. Состав покрытия обеспечивает повышенную текучесть шлака и расплавленного металла, что позволяет повысить качество выполнения корневого слоя шва без применения подкладного кольца.

Для повышения эффективности ручной дуговой сварки стыков труб большой толщины стенки может быть применена специальная техника сварки с поперечными колебаниями [3]. При такой технике наблюдается

повышенная утомляемость сварщика, но качество сварного шва существенно повышается за счёт импульсного характера теплового воздействия на металл.

Применение импульсно-дуговой сварки [10] позволяет существенно расширить технологические возможности ручной дуговой сварки, что особенно проявляется при выполнении корневого слоя шва и при сварке в узкую разделку.

При применении механизированной и автоматической сварки проволокой сплошного сечения в защитных газах плотность тока, а значит, и производительность, могут быть увеличены по сравнению с ручной дуговой сваркой. При сварке в углекислом газе расплавленный металл обладает повышенной вязкостью, что упрощает удержание сварочной ванны при выполнении сварки.

Недостатками сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения следует признать интенсивное разбрызгивание. Также повышенная вязкость расплавленного металла может стать причиной образования горячих трещин. Кроме того, низкая текучесть расплавленного металла может стать причиной образования дефектов при выполнении корневого слоя шва. Повышение технологических свойств сварки возможно за счёт импульсного управления [29] или применении дополнительной присадочной проволоки [13], [17].

На рисунке 11 представлена схема сварки с применением дополнительной присадочной проволоки. При сварке деталей (показаны на схеме позициями 1 и 2) после выполнения корневого шва (показан на схеме позицией 6) и подварочного шва (показан на схеме позицией 7) на поверхность корневого шва укладывают сварочную проволоку (показана на схеме позицией 3). Сварочной дугой 5 расплавляют кромки, присадочную проволоку и поверхность корневого шва. Применение дополнительной присадочной проволоки позволяет повысить производительность сварки и существенно снизить термическое влияние на основной металл. При этом выбор оптимальных параметров режима сварки позволяет отказаться от термической обработки после сварки.

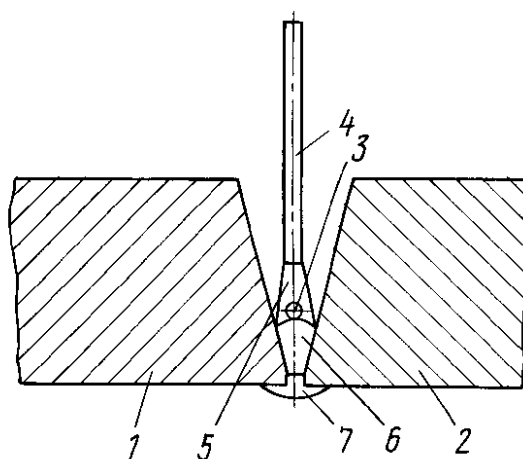


Рисунок 11 – Схема выполнения сварки с дополнительной присадочной проволокой

Сварка порошковыми проволоками может быть выполнена с использованием того же оборудования, что и сварка проволокой сплошного сечения. При этом удаётся реализовать преимущества сварки порошковыми проволоками. При сварке порошковыми проволоками удаётся получить сочетание положительных качеств ручной дуговой сварки и механизированной сварки в защитных газах [30], [33].

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

Применение порошковых проволок при сварке толстостенных ответственных конструкций перспективно по причине возможности дополнительного легирования металла сварного шва и находит всё большее применение при строительстве объектов атомной энергетики [12].

Существенное повышение производительности и качества сварки порошковой проволокой достигается при использовании сварки в защитных газах [34]. При этом в качестве защитного газа может быть использован углекислый газ, аргон или их смесь.

На основании вышеизложенного следует признать перспективным применение комбинированного способа сварки стыка труб при построении проектной технологии.

Сварку корневого слоя шва предлагается вести с применением ручной дуговой сварки, эффективность которой будет повышена за счёт применения импульсного питания сварочной дуги.

Заполнение разделки предлагается вести порошковой проволокой в среде защитных газов, эффективность которой будет повышена за счёт применения импульсного питания сварочной дуги.

Таким образом, станет возможным изменить форму разделки труб и отказаться от подкладного кольца.

2.2 Подготовка труб

До начала сборки мастером проверяется наличие клейм, маркировки, а также сертификатов завода-изготовителя, подтверждающих соответствие блоков, труб и деталей их назначению на всех поступающих на монтажную площадку блоках, трубах и деталях. При отсутствии клейм, маркировки или сертификатов блоки, трубы и детали к дальнейшей обработке не допускаются.

Не допускается кривизна труб величиной более 4 мм на один метр с суммарной величиной прогиба более 15 мм. Схема проверки перпендикулярности торцов труб представлена на рисунке 12. Отклонение e должно быть не более 3 мм.

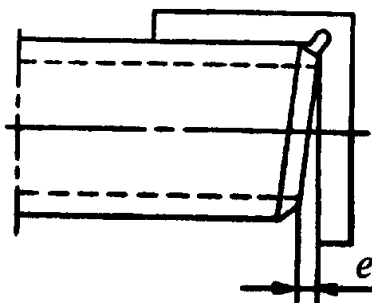


Рисунок 12 – Схема проверки перпендикулярности торцов труб

Для резки труб применяются труборезы. Для трубы диаметром 377 мм применяется труборез 2т-377. Для трубы диаметром 273 мм применяется труборез 2Т-299М.

На рисунке 13 представлена предлагаемая форма разделки кромок труб.

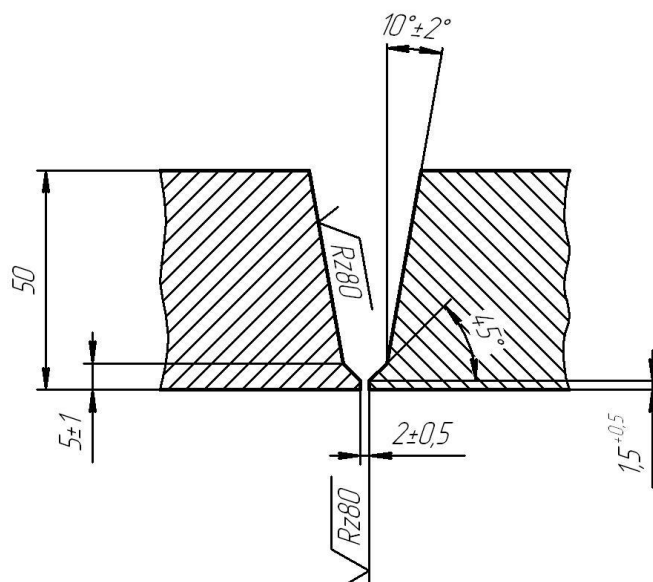


Рисунок 13 – Предлагаемая форма разделки кромок труб

При помощи напильника и абразивного круга следует устранить все неровности и выступы, которые могут помешать сборке. Также следует убрать все острые углы и переходы.

2.3 Сборка труб

Перед сборкой стыка необходимо зачистить до металлического блеска и обезжирить поверхности труб на ширину 20 мм от кромки по внешней стороне трубы и на ширину 10 мм от кромки по внутренней стороне трубы.

Следует подбирать трубы таким образом, чтобы внешние и внутренние диаметры стыкуемых труб были равны. Допускается выполнение стыка труб с различающимися внутренними диаметрами не более 2 мм. Зазор между подкладным кольцом и внутренней поверхностью труб должен быть не более 1 мм.

Для сборки труб применяется приспособление, предложенное отечественными инженерами-сварщиками [25]. Функциональная схема центратора представлена на рисунке 14.

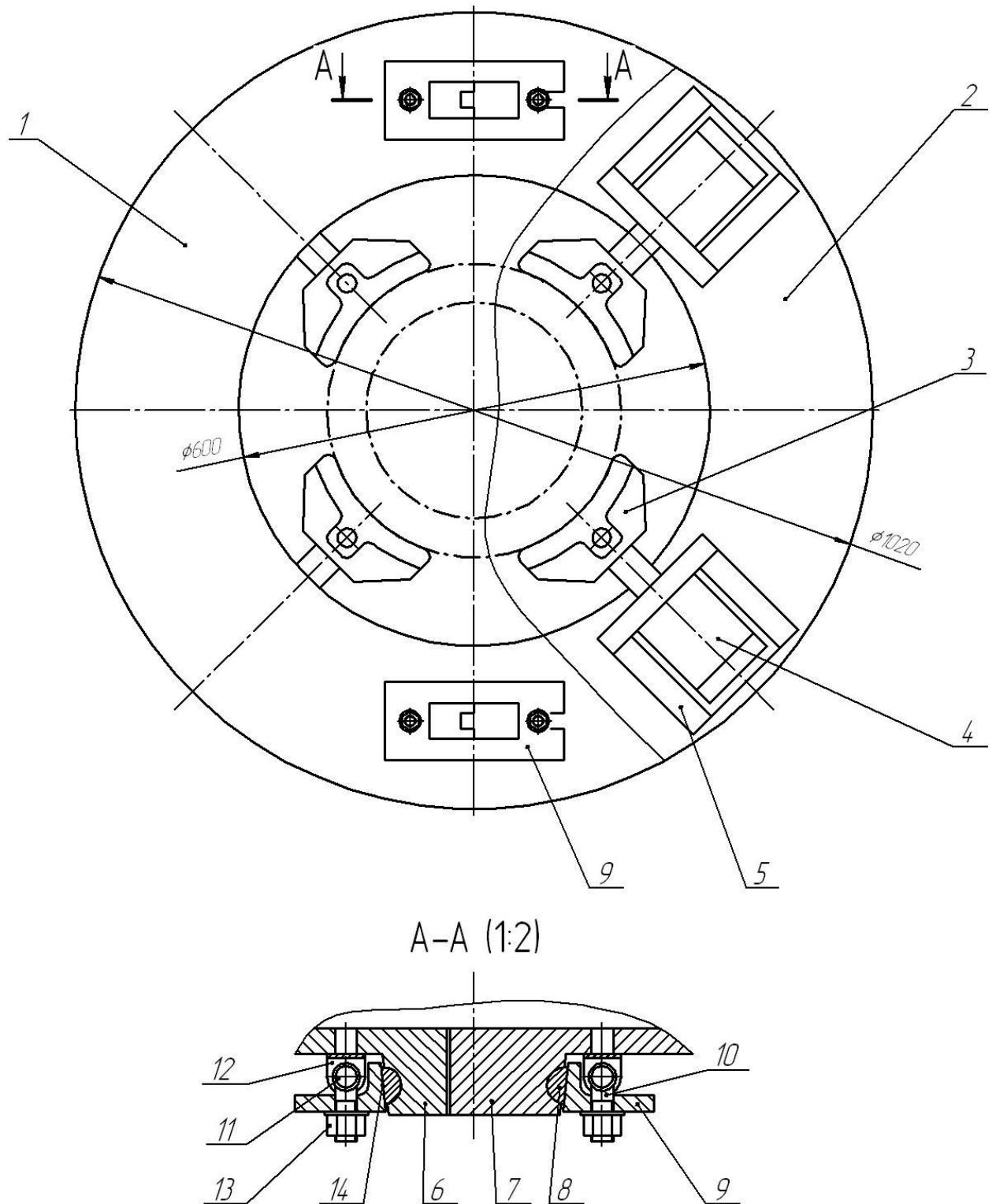


Рисунок 14 – Схема предлагаемого приспособления для сборки стыка труб

Предлагаемая конструкция центратора позволяет повысить производительность и точность сборочных операций. В основе конструкции лежат два сектора (обозначены на рисунке позициями 1 и 2), которые снабжены центрирующими приводными кулачками (обозначены на рисунке позицией 3). «Крепление кулачков 3 выполняется на штоках силовых цилиндров (обозначены на рисунке позицией 4). Установка цилиндров 4 выполняется на секторах 1 и 2, для чего на них выполнены ребра (обозначены позицией 5). В зоне стыка секторов 1 и 2 выполнены выступы (обозначены на рисунке позициями 6 и 7). На торце одного выступа выполнен паз, а на торце другого выступа выполнен зуб. В выступах 6 и 7 выполнены располагаются подвижные опоры (обозначены на рисунке позицией 8), которые имеют лыски. На опоры одеваются стягивающие рамки (обозначены на рисунке позицией 9).

На рамках 9 с одной стороны выполнены отверстия, в которые входят откидные болты (обозначены на рисунке позицией 10). Болты 10 установлены на осях и вилках (обозначены на рисунке позициями 11 и 12), которые крепятся на секторах 1 и 2. С обратной стороны на рамках 9 выполнены пазы под откидные болты 10, которые снабжены гайками (обозначены на рисунке позицией 13). Контакт рамки 9 с лысками опор 8 происходит по контактными поверхностям (обозначены на рисунке позицией 14)» [25].

После сборки стыка выполняют проверку перелома оси при помощи металлической линейки длиной 400 мм. Металлическую линейку следует прикладывать в трёх местах и измерять просвет, который должен быть не более 2 мм на длине 200 мм.

За качество проведения работ при сборке стыка отвечает производитель сварочных работ – бригадир или мастер. Перед выполнением прихватки качество сборки должен проверить сварщик.

2.4 Прихватка и сварка корневого слоя шва

Перед выполнением прихваток и сварки проводят предварительный подогрев до 300...350 °С. Температуру подогрева контролируют с применением контактных термопар ТК-5. Для подогрева применяем набор кабелей для индукционного нагрева производства «Унитех», который представлен на рисунке 15. На рисунке 16 представлена схема подключения кабелей. В качестве источника питания применяется трансформатор ТДМ-501, представленный на рисунке 17.



Рисунок 15 – Набор кабелей для проведения индукционного нагрева стыка труб: малоиндукционный токоподводящий кабель, водоохлаждаемый индукционный токоподвод и водоохлаждаемый гибкий индукционный кабель

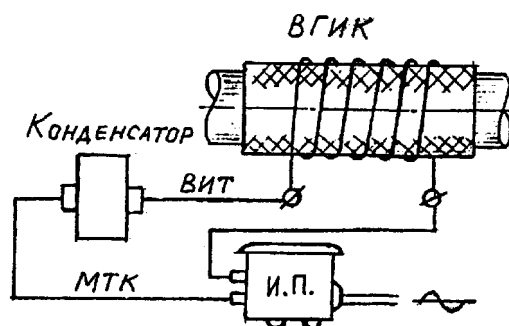


Рисунок 16 – Схема подключения кабелей при проведении нагрева стыка трубопровода



Рисунок 17 – Сварочный трансформатор ТДМ-501

Места установок прихваток должны быть расположены равномерно по периметру стыка труб, количество прихваток – четыре. Высота прихватки должна быть 5...6 мм, длина прихватки составляет 30...40 мм. Прихватки следует выполнять с полным проваром. При наложении основного шва прихватки следует переваривать. Не рекомендуется выполнять прихватки на потолочном участке стыка.

Проводят визуальный контроль качества выполнения прихваток. Требования к прихваткам аналогичны требованию сварного шва.

Далее выполняют сварку корневого слоя шва.

Прихватки и корневой слой шва выполняют ручной дуговой сваркой электродами ТМЛ-1У (марка Э-09Х1МФ) диаметром 3 мм. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности. Сила сварочного тока: 100...130 А, напряжение на дуге 18...23 В. В качестве источника питания применяется сварочный выпрямитель ВДУ-506.

При выполнении корневого слоя шва на горизонтальном стыке сварку ведут обратноступенчатым способом, как показано на рисунке 18-а. Длина каждого участка составляет 200...250 мм.

При выполнении корневого слоя шва на вертикальном стыке сварку ведут в направлении снизу вверх, как показано на рисунке 18-б. При этом в потолочной части стыка сварку следует начинать на 10...30 мм в сторону от крайней нижней точки.

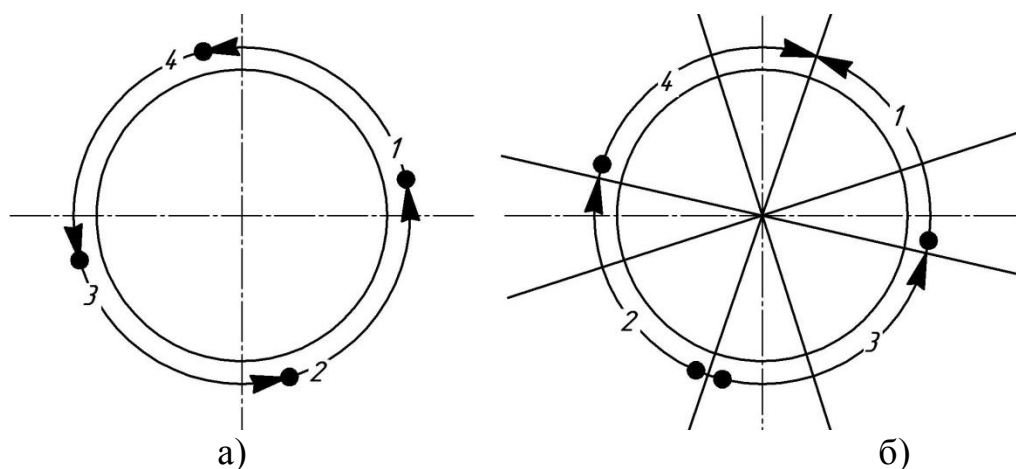


Рисунок 18 – Порядок сварки участков корневого слоя шва при сварке горизонтального (а) и вертикального (б) стыка труб

Освобождение жимков центратора можно проводить только после выполнения всего корневого слоя шва. Далее следует тщательно зачистить сварной шов до чистого металла с применением абразивного круга.

Проводят визуальный контроль качества сварки корневого шва. В случае обнаружения трещин, скоплений пор, непроваров, незаваренных кратеров и наплывов дефектное место удаляют механическим способом и заваривают снова.

Для повышения эффективности ручной дуговой сварки предлагается применить импульсное управление сварочной дугой согласно разработкам отечественных исследователей-сварщиков [27].

Питание сварочной дуги происходит от источника постоянного тока, в качестве которого используется выпрямитель ВДУ-506, который представлен на рисунке 19.



Рисунок 19 – Сварочный выпрямитель ВДУ-506

Питание дуги выполняется импульсам постоянного тока длительностью $t_{и.осн}$. В промежутке между импульсами длительностью $t_{п.осн}$ горит дежурная дуга, на которую дополнительно накладываются импульсы постоянной частоты и длительности. Осциллограмма тока представлена на рисунке 20.

Частота дополнительных импульсов составляет не менее 50 Гц при длительности $t_{и.всп}$ в диапазоне 0,5...2 мс. Такие параметры импульса обеспечивают гарантированный переход капли расплавленного металла в металл сварочной ванны.

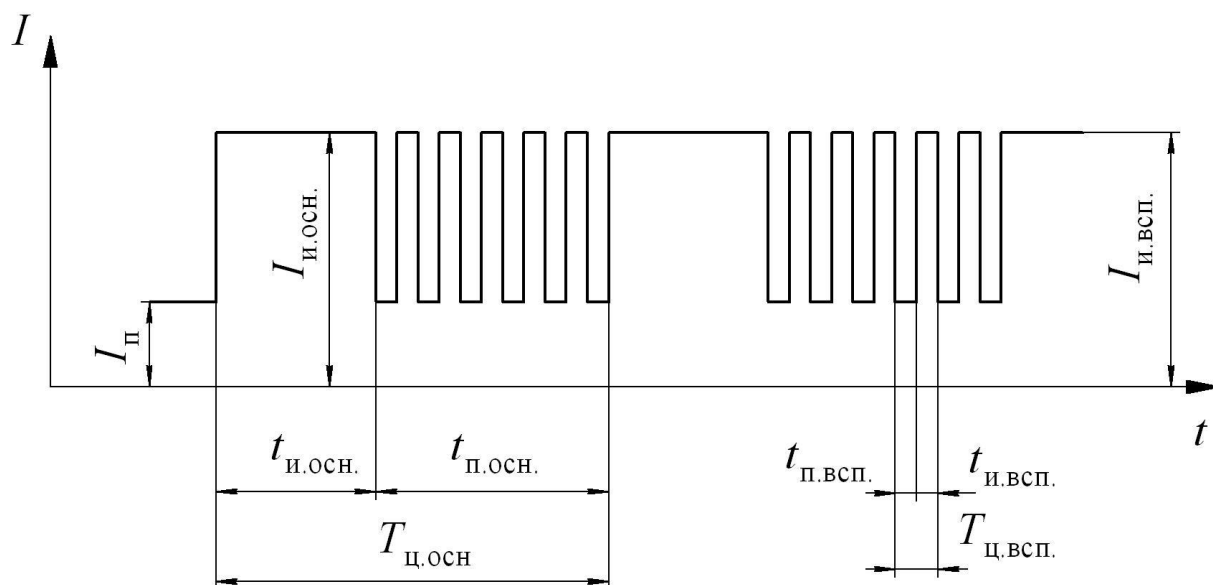


Рисунок 20 – Осциллограмма тока при импульсной сварке согласно [27]

Для выполнения прихваток и корневого слоя шва устанавливают длительность основного импульса $t_{и.осн}=0,25$ с, длительность основной паузы $t_{п.осн}=0,3$ с. Частота вспомогательных импульсов составляет 55 Гц. Непрерывный ток в паузе составляет $I_{п}=15$ А. Длительность вспомогательных импульсов составляет $t_{и.всп}=1,3$ мс.

После того, как сварочная дуга возбуждена, сварщик равномерно вдоль стыка ведёт сварочный электрод. В течение горения сварочной дуги в основном импульсе происходит расплавление электродного металла и переход в сварочную ванну от одной до нескольких капель, при этом во время перехода действует режим короткого замыкания. При переходе капли расплавленного металла в сварочную ванну за время основной паузы устойчивость процесса не нарушается, так как энергии вспомогательного импульса достаточно для обеспечения этого перехода. При таком режиме обеспечивается стабильный процесс перехода расплавленного электродного металла в сварочную ванну, формируется сварной шов с мелкой чешуйчатостью, увеличивается проплавливающая способность сварочной дуги. Это позволяет обеспечить высокое качество сварки корневого слоя шва и отказаться от использования подкладного кольца.

2.5 Заполнение разделки

Для сварки предлагается применить порошковая проволока ППС-ТМВ15 диаметром 1,6 мм, которая доказала свою эффективность при строительстве и ремонте паропроводов из сталей 15ХМ, 12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 20ХМЛ, работа которых проходит в условиях нагрева выше 570 °С. Содержание химических элементов в наплавленном металле представлено в таблице 2. Перед сваркой следует прокалить проволоку в течение 2 часов при температуре 240 °С, после этого проволока должна быть использована в течение 5 суток. В противном случае необходимо выполнить повторную прокалику.

Таблица 2 – Содержание химических элементов в наплавленном металле при использовании проволоки ППС-ТМВ15 (%)

С	Mn	Si	Cr	Mo	V	S	P
≤0,1	0,5-1,0	0,06-0,3	0,7-1,2	0,4-0,7	0,15-0,3	≤0,03	≤0,03

При сварке устанавливают силу тока 200...250 А, напряжение на дуге 20...28 В. Вылет проволоки в начале сварки составляет 12...15 мм, после зажигания дуги вылет проволоки увеличивают до 25...30 мм. Расход газа оставляет 15...16 литров в минуту.

В качестве защитного газа применяется углекислый газ.

Питание сварочной дуги обеспечивается сварочным выпрямителем ВДУ-506, который представлен на рисунке 19. Подачу проволоки выполняем полуавтоматом ПДГО-510, который представлен на рисунке 21. Также в состав поста для сварки входит система подачи защитного газа, катушка с проволокой, держатель со шлангом.

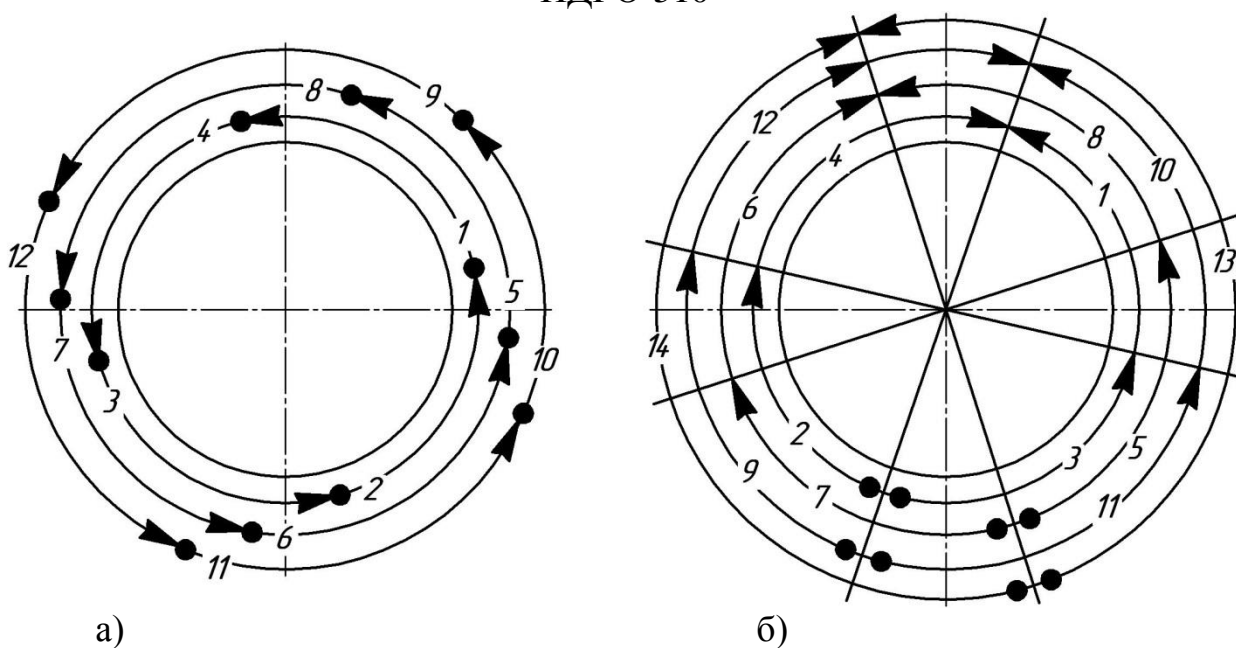
Схема выполнения сварки горизонтального стука представлена на рисунке 22-а. Первые три слоя выполняются обратноступенчатым способом при длине участков 20...250 мм. Остальные слои сваривают вкруговую.

Сварку вертикальных стыков следует вести снизу вверх. Первые три слоя следует сваривать обратноступенчатым способом. Последующие слои можно сваривать участками длиной до половины окружности стыка, как показано на рисунке 22-б.

На рисунке 23 показано положение горелки при сварке вертикального стыка. Как видно, в процессе выполнения сварки угол наклона электрода постоянно меняется в зависимости от положения на трубе.



Рисунок 21 – Сварочный источник питания ВДУ-506 вместе с полуавтоматом ПДГО-510



а) б)
Рисунок 22 – Последовательность заполнения раздели при сварке неповоротного горизонтального (а) и вертикального (б) стыков

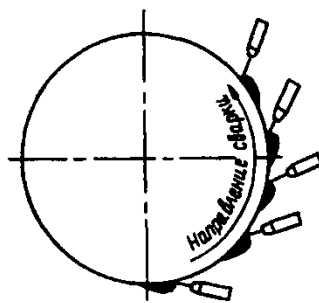


Рисунок 23 – Положение горелки при сварке вертикального стыка

В процессе сварки заполняющих слоев следует следить за межслойной температурой. Она должна находиться в диапазоне 300...350 °С.

Процесс дуговой сварки следует начинать и заканчивать на расстоянии не менее 100 мм от продольного шва трубы или детали.

Место начала и окончания процесса сварки каждого слоя (замок шва) должно располагаться на расстоянии не менее 20 мм от замков предыдущего слоя шва.

Выполнить сварку порошковой проволокой облицовочного слоя шва за два-три прохода. При выполнении облицовки в два-три валика каждый последующий проход (валик) должен перекрывать предыдущий не менее, чем на 1/3 его ширины. Глубина межваликовой канавки должна составлять не более 1,0 мм, что определяется разностью между высотой валика в его верхней точке и высотой шва в месте расположения соседней канавки при установке шаблона на тело трубы. Усиление шва по периметру межваликовой канавки должно составлять не менее 1,0 мм;

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

Дальнейшее выполнение выпускной квалификационной работы предусматривает разработку оценочного блока [11] в котором предстоит оценить экологичность предложенных в работе решений и дать оценку на предмет обеспечения безопасности труда [2], [6].

Также при выполнении оценочного блока предстоит оценить возможный экономический эффект при внедрении предлагаемых решений в производство [15], [16].

3 Обеспечение безопасности и экологичности предлагаемых технических решений

3.1 Конструктивно-технологическая характеристика рассматриваемого объекта

В ходе выполнения настоящей выпускной квалификационной работы решались вопросы, связанные с повышением эффективности сварочных технологий при строительстве технологических трубопроводов атомных станций. Сварку корневого слоя шва предлагается вести с применением ручной дуговой сварки, эффективность которой будет повышена за счёт применения импульсного питания сварочной дуги. Заполнение разделки предлагается вести порошковой проволокой в среде защитных газов, эффективность которой будет повышена за счёт применения импульсного питания сварочной дуги. Применение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технических решений повлекло за собой изменение технологического процесса сборки и сварки. В свою очередь это может привести к возникновению новых опасных производственных факторов. Защита от этих факторов должна быть выполнена в настоящем разделе выпускной квалификационной работы.

Особенности выполнения операций проектной технологии сборки и сварки представлены в таблице 3.

Первая операция проектного технологического процесса – входной контроль. Для её выполнения применяется набор визуально-измерительного контроля и измерительный инструмент. Вторая операция проектного технологического процесса – подготовка кромок, для её выполнения применяется труборез, шлифовальная машина. Третья операция проектного технологического процесса – сборка. Для её выполнения применяется центратор и измерительный инструмент. Четвёртая операция проектного технологического процесса – предварительный подогрев. Для её выполнения

применяется сварочный трансформатор, комплект индукционных кабелей. Пятой операцией проектного технологического процесса является прихватка. Для её выполнения применяется сварочный выпрямитель и формирователь импульсов. Шестая операция проектного технологического процесса – сварка корневого слоя. Для её выполнения применяется сварочный выпрямитель и формирователь импульсов. Седьмая операция проектного технологического процесса – сварка. Для её выполнения применяется сварочный выпрямитель, механизм подачи проволоки, шлифовальная машина, газовая аппаратура, формирователь сварочных импульсов. Восьмая операция проектного технологического процесса – контроль качества. Для её выполнения применяется набор визуально-измерительного контроля, аппарат рентгеновского контроля, твердомер.

Таблица 3 – Особенности выполнения операций проектного технологического процесса

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

Представленные в таблице 3 особенности выполнения операций технологического процесса позволят в дальнейшем идентифицировать опасные производственные факторы и предложить методы защиты от них.

3.2 Идентификация профессиональных и производственных рисков

Применяемое для выполнения проектного технологического процесса оборудование становится источником негативных производственных факторов, которые могут привести как к резкому ухудшению состояния персонала, так и нарушению здоровья.

В таблице 4 представлены результаты идентификации возникающих профессиональных рисков.

Таблица 4 – Выявление и анализ источников возникновения производственных рисков

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

Решение по выбору эффективных средств устранения выявленных опасных и вредных производственных факторов должно основываться на основании идентификации этих факторов. При этом следует учитывать не только опасное воздействие на персонал негативных факторов, но и их кумулятивный эффект при длительном воздействии. В результате действия опасного производственного возможно резкое нарушение физического состояния персонала. В результате действия вредного производственного фактора возрастает риск профессиональных заболеваний. В ходе оценки выделено семь негативных производственных факторов: острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования, движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования, повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны, повышенное значение напряжения в электрической цепи, повышенная температура поверхностей, инфракрасное излучение, ультрафиолетовое излучение.

3.3 Методики и технические средства для устранения профессиональных рисков

Технические средства и организационные мероприятия по защите от перечисленных негативных производственных факторов представлены в таблице 5. Следует принимать во внимание, что при выполнении сварочных и наплавочных работ содержание вредных веществ в цехе превышает действующие санитарные нормы в 7...10 раз, что подтверждается рядом отечественных и зарубежных исследователей. Поэтому при организации рабочих мест сварщика следует особое внимание уделять общей и местной вентиляции. Также работа сварочных машин сопряжена с риском получения удара электрическим током, так как первичное напряжение на сварочных установках составляет 220 В или 380 В (для случая питания сварочной установки от трёх фаз).

Таблица 5 – Предлагаемые методики и технические средства для обеспечения производственной безопасности

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

Представленные в таблице 5 технические средства и мероприятия позволяют устранить негативные производственные факторы и обеспечить требуемую безопасность персонала при выполнении проектного технологического процесса. Для индивидуальной защиты жизни и здоровья рабочих предлагается оснастить их средствами индивидуальной защиты. В качестве средств индивидуальной защиты используются: специальная одежда, перчатки, защитные очки, маски, резиновые коврики и средства защиты органов дыхания. Разработки специальных технических средств и организационных мероприятий для защиты персонала не требуется.

3.4 Пожарная безопасность рассматриваемого технологического объекта

Процессы сварки и наплавки сопровождаются повышенным риском возникновения пожаров. Для защиты предприятия от возможного возникновения пожара следует идентифицировать опасные факторы возможного пожара на рассматриваемом производственном участке, что показано в таблице 6.

Таблица 6 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Наименование участка	Участок, на котором осуществляется сборка и сварка
Наименование оборудования	кран-балка, стапель, набор измерительного инструмента, сварочный трансформатор, система формирования сварочных импульсов, механизм подачи проволоки, газовое оборудование, набор для проведения визуально-измерительного контроля, дефектоскоп
Классификация по виду горящего вещества	Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Наименование основных опасных факторов пожара	Резкое повышение температуры на участке и вокруг него; выделение при горении токсичных продуктов и угарного газа; выделение аэрозолей, снижающих видимость на участке и вокруг него.
Наименование вторичных опасных факторов пожара	Короткие замыкания на оборудовании, запитанном высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения

Возникающий на рассматриваемом предприятии пожар относится к классу «Е», который предполагает горение материалов и веществ при наличии опасного напряжения. Основными негативными факторами возможного пожара являются тепловой поток, разлетающиеся искры, повышенная температура воздуха, открытое пламя, токсические продукты термического разложения и горения, плохая видимость вследствие задымления, снижение концентрации кислорода в воздухе. Также следует указать на наличие сопутствующих отрицательных проявлений пожара, к которым относят нарушение целостности изоляции и порчу электрического

оборудования, отравление персонала используемыми при тушении химическими веществами, порчу оборудования используемыми при тушении химическими веществами. В таблице 7 приведены технические средства по устранению этих факторов.

Таблица 7 – Технические средства, обеспечивающие устранение опасных факторов при пожаре

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

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

3.5 Вопросы обеспечения экологической безопасности

При выполнении операций проектного технологического процесса возникает негативное антропогенное действие на окружающую среду. Следование мировой экологической повестки заставляет современное предприятие проводить мероприятия по обеспечению экологической безопасности производственных процессов. При этом следует обеспечить защиты основных элементов нашего ареала обитания: атмосферы, гидросферы и литосферы. Особое внимание следует уделить организации селективного сбора мусора, который в значительных количествах

накапливается на производственных участках. Раздельный сбор отходов позволяет выполнять эффективный рециклинг, что не только уменьшает нагрузку на окружающую среду, но и позволяет получать значительный экономический эффект за счёт экономии ресурсов.

Предлагаемые средства для защиты от антропогенного воздействия представлены в таблице 8 и включают в себя набор стандартных методик и технических средств.

Таблица 8 – Предложенные мероприятия по уменьшению антропогенного действия на окружающую среду при реализации проектной технологии

Наименование составляющего среды	Производственный участок сборки и сварки с установленным на нём технологическим оборудованием
Атмосфера	Установка в вентиляционную систему цеха специальных улавливающих фильтров, обеспечивающих задержку выделяющихся при сварке и работе оборудования вредных веществ
Гидросфера	Обеспечить отсутствие протечек масла из гидравлических систем применяемого оборудования. В случае обнаружения таких протечек своевременно их устранять
Литосфера	Размещение на территории предприятия специализированных емкостей для селективного сбора производственного мусора. Проведение инструктажа работников на предмет соблюдения мероприятий по сбору промышленного мусора и отходов.

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

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

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

4 Экономическое обоснование предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений

4.1 Анализ исходной информации по базовой и проектной технологиям

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности сварочных технологий при строительстве технологических трубопроводов атомных станций. Сварку корневого слоя шва предлагается вести с применением ручной дуговой сварки, эффективность которой будет повышена за счёт применения импульсного питания сварочной дуги. Заполнение разделки предлагается вести порошковой проволокой в среде защитных газов, эффективность которой будет повышена за счёт применения импульсного питания сварочной дуги. Первая операция проектного технологического процесса – входной контроль. Для её выполнения применяется набор визуально-измерительного контроля и измерительный инструмент. Вторая операция проектного технологического процесса – подготовка кромок, для её выполнения применяется труборез, шлифовальная машина. Третья операция проектного технологического процесса – сборка. Для её выполнения применяется центратор и измерительный инструмент. Четвёртая операция проектного технологического процесса – предварительный подогрев. Для её выполнения применяется сварочный трансформатор, комплект индукционных кабелей. Пятой операцией проектного технологического процесса является прихватка. Для её выполнения применяется сварочный выпрямитель и формирователь импульсов. Шестая операция проектного технологического процесса – сварка корневого слоя. Для её выполнения применяется сварочный выпрямитель и формирователь импульсов. Седьмая операция проектного технологического процесса – сварка. Для её выполнения применяется сварочный выпрямитель, механизм подачи

проволоки, шлифовальная машина, газовая аппаратура, формирователь сварочных импульсов. Восьмая операция проектного технологического процесса – контроль качества. Для её выполнения применяется набор визуально-измерительного контроля, аппарат рентгеновского контроля, твердомер. В таблице 9 представлены исходные данные для проведения экономических расчётов.

Таблица 9 – Исходные данные для проведения экономических расчётов по рассматриваемым вариантам технологии

Экономический показатель	Принятое в расчётной формуле буквенное обозначение показателя	Единица измерения экономическо го показателя	Значение экономического показателя применительно к базовой и проектной технологиям	
			Базовая технология	Проектная технология
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	2	2
Разряд работников	P_p	-	IV	IV
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	200	200
Коэффициент доплат	$K_{доп}$	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	K_d	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования	$Ц_{об}$	руб.	540 тыс.	1300 тыс.
Норма амортизации оборудования	K_a	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	4	8
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
Стоимость электрической энергии	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	3,4	3,4
Коэффициент полезного действия	$K_{пд}$	-	0,7	0,85
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	5	5
Площадь под оборудование	S	$м^2$	20	20
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эксп}$	(Р/ $м^2$)/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	Р/ $м^2$	30000	30000
Коэффициент эффективности капитальных вложений	E_n	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [15]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

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

4.2 Оценка фонда времени работы оборудования

Величина заработной платы и вспомогательных затрат рассчитываются с учётом фонда времени работы оборудования, который следует рассчитать по исходным данным, представленным выше. В проектном технологическом процессе и базовом технологическом процессе предусматривается выполнение операций в течение одинакового количества смен. Поэтому годовой фонд времени для проектного технологического процесса по отношению к годовому фонду времени базового технологического процесса не изменится.

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $F_H = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 2 = 4418$ часов. Значение эффективного фона рабочего времени следует вычислить с учётом задаваемых потерь рабочего времени $B=7\%$:

$$F_э = F_H(1-B/100). \quad (2)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $F_э = 4418 \cdot (1 - 7/100) = 4108$ часов.

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

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

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

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

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $\Pi_{r.баз.} = 4108/4,84 = 848$ стыков для базового технологического процесса и $\Pi_{r.пр.} = 4108/2,06 = 1994$ стыков для проектного технологического процесса. На основании анализа потребности отрасли в рассматриваемом оборудовании принимаем размер годовой программы для проектного варианта технологии и базового варианта технологии $\Pi_r = 400$ СТЫКОВ В ГОД.

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $n_{расч} = 4,84 \cdot 400 / (4108 \cdot 1,03) = 0,46$ для базового варианта технологического процесса; $n_{расч} = 2,06 \cdot 400 / (4108 \cdot 1,03) = 0,20$ для проектного варианта технологического процесса.

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

$$K_з = n_{расч} / n. \quad (6)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $K_з = 0,46/1 = 0,46$ для базового варианта технологического процесса и $K_з = 0,20/1 = 0,20$ для проектного варианта технологического процесса.

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

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

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

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

$$M = C_M \cdot H_p \cdot K_{ТЗ} . \quad (7)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $M=(600 \cdot 1,7 + 250) \cdot 1,05 = 1333$ рублей для операций базового технологического процесса; для операций проектного технологического процесса: $M=(250 \cdot 1,4 + 110 \cdot 12) \cdot 1,05 = 1670$ рублей.

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

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

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

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $Z_{доп} = 1742,40 \cdot 12 / 100 = 209,09$ рублей для операций

базового технологического процесса и $Z_{\text{доп}} = 774,56 \cdot 12/100 = 92,95$ рублей для операций проектного технологического процесса.

Величина фонда заработной платы ФЗП рассчитывается как сумма основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$ и дополнительной заработной платы $Z_{\text{доп}}$. Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $\text{ФЗП} = 1742,40 + 209,09 = 1951,49$ рублей для операций базового технологического процесса и $\text{ФЗП} = 774,56 + 92,95 = 867,51$ рублей для операций проектного технологического процесса.

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $O_{\text{сн}} = 1951,49 \cdot 30/100 = 663,51$ рублей для операций базового технологического процесса и $O_{\text{сн}} = 867,51 \cdot 30/100 = 294,95$ рублей для операций проектного технологического процесса.

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

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

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $A_{об.} = 540000 \cdot 21,5 \cdot 4 / 4108 / 100 = 113,3$ рублей по базовому варианту технологии, по проектному варианту технологии: $A_{об.} = 1300000 \cdot 21,5 \cdot 1,7 / 4108 / 100 = 116,3$ рублей.

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

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

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

После подстановки рассчитанных выше значений в формулу (11) вычисляем затраты на оборудование: $Z_{об.} = 113,3 + 40,00 = 153$ рублей по базовому технологическому процессу и $Z_{об.} = 116,3 + 28,00 = 144$ рублей по проектному технологическому процессу.

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $C_{тех} = 1333 + 1951 + 664 + 153 = 4101$ рублей для базового варианта технологического процесса, и для проектного технологического процесса $C_{тех} = 1670 + 868 + 295 + 144 = 2977$ рублей.

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $C_{\text{цех}}=4101+1,5 \cdot 1742,40 = 4101 + 2614 = 6715$ рублей для базового технологического процесса и для проектного технологического процесса $C_{\text{цех}}=2977+1,5 \cdot 774,56 = 2977 + 1162 = 4139$ рублей.

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $C_{\text{зав}} = 6715+1,15 \cdot 1742,40= 6715 + 2004 = 8719$ рублей для базового варианта технологии, и для проектного технологического процесса $C_{\text{зав}}=4139+1,15 \cdot 774,56=4139+891= 5030$ рублей.

В таблице 10 представлена калькуляция заводской стоимости.

Таблица 10 – Исходные данные и расчёт заводской стоимости при выполнении операций согласно базового технологического процесса и согласно проектного технологического процесса

Показатель	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант	Проектный вариант
1. «Затраты на материалы	<i>M</i>	1333	1670
2. Фонд заработной платы	<i>ФЗП</i>	1951	868
3. Отчисления на соц. нужды	<i>Осн</i>	664	295
4. Затраты на оборудование	<i>Зоб</i>	153	144
5. Технологическая себестоимость	<i>Стех</i>	4101	2977
6. Цеховые расходы	<i>Рцех</i>	2614	1162
7. Цеховая себестоимость	<i>Сцех</i>	6715	4139
8. Заводские расходы	<i>Рзав</i>	2004	891
9. Заводская себестоимость» [15]	<i>Сзав</i>	8719	5030

Дальнейшие работы направлены на определение величины капитальных вложений при реализации проектной технологии и реализации базовой технологии. Далее будут вычислены экономические показатели предлагаемых решений и сделан вывод об эффективности внедрения этих решений в производственный процесс.

4.5 Капитальные затраты при реализации проектного и базового вариантов технологии

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

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $\Pi_{\text{об. б.}} = 540000 - (540000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 191700$ рублей.

Капитальные затраты по базовой технологии могут быть рассчитаны как:

$$K_{\text{общ. б.}} = \Pi_{\text{об. б.}} \cdot K_{3.б.} \quad (18)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $K_{\text{общ. б.}} = 1 \cdot 191700 \cdot 0,46 = 88000$ рублей.

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

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

Величина капитальных затрат на оборудование для реализации проектного варианта технологического процесса рассчитывается с учётом коэффициента транспортно-заготовительных расходов, значение которого для настоящей выпускной квалификационной работы составило $K_{\text{тз}}=1,05$, цены оборудования $\Pi_{\text{об}}$ и коэффициента загрузки оборудования K_3 :

$$K_{\text{об. пр.}} = \Pi_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{тз}} \cdot K_{3.п.} \quad (20)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $K_{об.пр.} = 1300000 \cdot 1,05 \cdot 0,20 = 273000$ рублей.

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

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $P_{дем} = 540000 \cdot 0,05 = 27000$ рублей.

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $P_{монт} = 1300000 \cdot 0,05 = 65000$ рублей.

Величина сопутствующих расходов определяется как

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $P_{соп} = 27000 + 65000 = 92000$ рублей.

Далее с использованием подставленных в формулу (19) значений получили общие капитальные затраты $K_{общ. пр.} = 27000 + 92000 = 119000$ рублей.

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

$$K_{доп} = K_{общпр} - K_{общб}: \quad (24)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $K_{\text{доп}} = 119000 - 88000 = 31000$ рублей.

Величину удельных капитальных вложений определяем с учётом годовой программы Π_r :

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $K_{\text{уд}} = 88000/400 = 220$ рублей за единицу продукции по базовой технологии и $K_{\text{уд}} = 119000 /400 = 300$ рублей за единицу продукции по проектной технологии.

4.6 Показатели экономической эффективности

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

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $\Delta t_{\text{шт}} = (4,84 - 2,06) \cdot 100 \% / 4,84 = 57 \%$.

Повышение производительности Π_r рассчитывается как

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

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

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $\Delta C_{\text{тех}} = (4101 - 2977) \cdot 100\% / 4101 = 28 \%$.

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $\Pi_{\text{ож}} = (8719 - 5030) \cdot 400 = 1475600$ рублей.

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

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{доп}} / \Delta_{\text{уг}}. \quad (30)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $T_{\text{ок}} = 119000 / 1475600 = 0,2$ года.

Величина годового экономического эффекта $\Delta_{\text{г}}$ рассчитывается как

$$\Delta_{\text{г}} = \Delta_{\text{уг}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}}. \quad (31)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $\Delta_{\text{г}} = 1475600 - 0,33 \cdot 31000 = 1,46$ млн. рублей.

Таким образом, с учётом особенностей выполнения операций технологического процесса по проектному варианту и базовому варианту был выполнен расчёт основных экономических показателей производства.

Проведенные экономические расчёты позволяют судить о высокой эффективности предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решениях. Производительность труда повышается на 133 %. Уменьшение технологической себестоимости составило 28 %. При этом за счёт повышения производительности труда и снижения издержек удалось получить годовой экономический эффект в размере 1,46 млн. рублей. Средства, затраченные на внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений, будут окуплены за 0,2 года.

Заключение

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности сварочных технологий при строительстве технологических трубопроводов атомных станций.

Базовая технология сварки предусматривает применение ручной дуговой сварки с применением подкладного кольца.

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

С учётом растущего количества монтируемых атомных энергоблоков и наблюдаемого недостатка квалифицированных сварщиков-ручников следует признать, что вопрос обеспечения производительности и качества сварки главного циркуляционного трубопровода начинает превращаться в проблему. Радикальное решение этой проблемы лежит в плоскости применения новых перспективных способов сварки, заменяющих ручную дуговую сварку со всеми её недостатками.

Выполнено обоснование выбора способа сварки. При этом рассмотрены альтернативные способы сварки, дана их экспертная оценка по критериям технологичности, экономичности и долговечности сварных соединений. Сварку корневого слоя шва предлагается вести с применением ручной дуговой сварки, эффективность которой будет повышена за счёт применения импульсного питания сварочной дуги. Заполнение разделки предлагается вести порошковой проволокой в среде защитных газов, эффективность которой будет повышена за счёт применения импульсного питания сварочной дуги.

Выполнение операций проектного технологического процесса, который был представлен в исполнительском разделе настоящей выпускной

квалификационной работы, приводит к возникновению негативных производственных факторов и негативных экологических факторов. Выполненная идентификация этих негативных факторов позволила предложить стандартные методики и технические средства для защиты персонала и окружающей среды.

Проведенные экономические расчёты позволяют судить о высокой эффективности предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений. Производительность труда повышается на 133 %. Уменьшение технологической себестоимости составило 28 %. При этом за счёт повышения производительности труда и снижения издержек удалось получить годовой экономический эффект в размере 1,46 млн. рублей. Средства, затраченные на внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений, будут окуплены за 0,2 года.

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

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

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

Список используемой литературы и используемых источников

1. Аракадов Г. В. Ресурс и надёжность оборудования и трубопроводов АЭС : учебное пособие. Севастополь : СНУЯЭиП, 2012. 348 с.
2. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372с.
3. Березин В. Л., Суворов А. Ф. Сварка трубопроводов и конструкций. М. : Недра, 1976. 359 с.
4. Белкин С. А. Автоматическая аргодуговая сварка при монтаже трубопроводов АЭС // Энергетическое строительство.1985. № 11. С. 43–46.
5. Гетман А. Ф. Ресурс эксплуатации сосудов и трубопроводов АЭС. М. : Энергоатомиздат, 2000. 427 с.
6. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
7. Гриненко В. И., Роцин В. В., Хаванов В. А. К вопросу об автоматизации сварки монтажных стыков трубопроводов атомных электростанций // Технология машиностроения. 2008. № 8. С. 48–51.
8. Дмитрик В. В., Царюк А.К., Бугаец А.А. Оценка остаточного ресурса сварных соединений трубопроводов ТЭС // Автоматическая сварка. 2006. № 2. С. 7–11.
9. Доронин Ю. В.. Подрезов Н. Н. Необходимость формализации понятия свариваемости в производстве изделий АЭС // Глобальная ядерная безопасность. 2014. № 3. С. 26–30.
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. Климов А. С. Выпускная квалификационная работа бакалавра: учебно-метод. пособие по выполнению выпускной квалификационной работы бакалавра. Тольятти : ТГУ, 2021. 62 с.

12. Колоколов Е. И., Томилин С. А., Шишов В. В. Обеспечение конструктивной прочности сварных соединений реакторных установок посредством применения новых сварочных материалов и технологий // Глобальная ядерная безопасность. 2017. № 3. С. 77–99.

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

14. Крампит А. Г., Крампит Н. Ю., Габитов Э. К. Модернизация сварочного оборудования – как решение приоритетной задачи по импортозамещению // Технологии и материалы: технический научно-производственный журнал. 2016. № 6. С. 18–23.

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

16. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 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. Лобанов Л. М., Махлин Н. М., Смоляков В. К. Оборудование для подготовки торцов труб применительно к сварке неповоротных стыков трубопроводов АЭС // Автоматическая сварка. 2015. № 9. С. 38–47.

19. Мазур А. А., Маковецкая О. К., Пустовойт С. В. Экономико-статистический обзор мирового и регионального рынков сварочных материалов // Автоматическая сварка. 2019. № 9. С. 45–51.

20. Маловик К. Н., Мирошниченко А. Н. Совершенствование контроля остаточной дефектности трубопроводов АЭС // Вестник Белорусско-Российского университета. 2015. № 1. С. 79–85.

21. Мау В. А., Улюкаев А. В. Глобальный кризис и тенденции экономического развития // Вопросы экономики. 2014. № 11. С. 15–21.

22. Махлин Н. М., Коротынский А. Е., Богдановский В. А. Одно- и многопостовые системы для автоматической сварки неповоротных стыков трубопроводов атомных электростанций // Автоматическая сварка. 2011. № 11. С. 34–44.

23. Махутов Н. А., Системная концепция обеспечения прочности, ресурса и безопасности оборудования и трубопроводов АЭС. М. : МЭИ, 2004. 55 с.

24. Могилевский Д. В., Пирожков Р.В., Литвинова Т. А. Подбор параметров при автоматической сварке трубопроводов реакторов АЭС // Глобальная ядерная безопасность. 2014. № 3. С. 54–66.

25. Патент № 2102213 РФ, МПК В23К37/053. Наружный центратор / Капустин В. Е., Двуреченский А. Г., Варавин И. И.; Заявл. 30.04.1996; Оpubл. 20.01.1998, Бюл. № 17. 6 с.

26. Патент 2219032 РФ, МКИ В23К35/365. Состав электродного покрытия / Лозовский М. М., Волохов А. П. Заявл. 26.11.2001; Оpubл. 27.08.2003, Бюл. № 7. 4 с.

27. Патент № 2268809 РФ, МПК В23К9/095. Способ электродуговой сварки плавящимся электродом с импульсной модуляцией тока / Князьков А. Ф., Князьков С. А., Князьков В. Л. Заявл. 0.08.2004; опубл. 27.01.2006, Бюл. № 3. 10 с.

28. Патон Б. Е. Глобальная энергия, сварка и родственные технологии // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. 2011. № 1. С. 9–14.

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

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

31. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов : учебное пособие. Тольятти : ТГУ, 2007. 301 с.
32. Сорокин В. Г., Волосникова А. В., Вяткин С. А. Марочник сталей и сплавов. М. : Машиностроение, 1989. 640 с.
33. Шлепаков В. Н., Гаврилюк Ю. А., Котельчук А. С. Современное состояние разработки и применения порошковых проволок для сварки углеродистых и низколегированных сталей // Автоматическая сварка. 2010. № 3. С. 46–51.
34. Яковлев Д. С. Анализ различных типов сварочных проволок для сварки трубных сталей при толщинах стенки труб более 25 мм // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». 2012. Вып. 19. С. 157–159.
35. Dupont J. N., Kusko C. S., Technical note: martensite formation in austenitic/ferritic dissimilar alloy welds // Welding Journal. 2007. vol. 86. P. 51–54.
36. Shen Y. Z., Kim S.H., Han C.H. Vanadium nitride precipitate phase in a 9% chromium steel for nuclear power plant applications // Journal of Nuclear Materials. 2008. vol. 37. P. 403–412.
37. Viswanathan R., Henry J.F., Tanzosh J. U.S. program on materials technology for ultra-supercritical coal power plants // Journal of Material and Engineering. 2005. Vol. 14, P. 281–192.
38. Wang Zh., Zhang M., Li C. Achieving a high-strength dissimilar joint of T91 heat-resistant steel to 316L stainless steel via welding // International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials. 2023. vol. 30. P. 166–176.
39. Zinkle S. J., Was G. S. Materials challenges in nuclear energy // Acta Materials. 2013. № 3. P. 135–142.