

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

Институт машиностроения  
(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»  
(наименование)

15.03.01 «Машиностроение»  
(код и наименование направления подготовки / специальности)

«Современные технологические процессы изготовления деталей  
в машиностроении»  
(направленность (профиль) / специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технология сборки и сварки паропровода атомной станции

Обучающийся

Ю.С. Лазуткин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент К.В. Моторин

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

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярдова

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

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

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

Тольятти 2023

## Аннотация

Одним из основных элементов атомной электрической станции помимо реактора следует признать систему трубопроводов, масса металла которого на несколько порядков больше массы любого другого элемента. Технологические трубопроводы, большая часть из которых служит для передачи пара, имеют суммарную протяжённость несколько сотен километров. Они работают в тяжелейших условиях повышенных температур, силового нагружения и коррозионного воздействия. Цель настоящей выпускной квалификационной работы – повышение качества и производительности сварочных работ при строительстве и ремонте паропроводов атомных станций.

В ходе выполнения аналитического раздела проведен анализ конструкции паропровода и свойств его материала. Рассмотрена базовая технология сварки стыка, которая предусматривает применение ручной дуговой сварки и подкладного кольца.

В ходе выполнения исполнительского раздела настоящей выпускной квалификационной работы обоснован выбор способа сварки при построении проектной технологии сварки, составлена карта технологического процесса сварки стыка паропровода, выбрано оборудование и предложены мероприятия по повышению эффективности выбранного способа сварки, которые позволили отказаться от использования подкладного кольца.

Проведена оценка предлагаемых технических решений на предмет обеспечения экологической безопасности. Предложены организационные мероприятия по защите окружающей среды от возникающих при реализации проектной технологии негативных антропогенных факторов.

Внедрение прогрессивных технологий позволяет более эффективно расходовать трудовые, материальные и энергетические ресурсы предприятия, что позволяет снизить технологическую себестоимость на 28 %. Годовой экономический эффект составляет 0,146 млн. рублей.

## Содержание

Введение . . . . .	5
1 Современное состояние сварочных технологий при строительстве и ремонте паропроводов атомных станций. . . . .	8
1.1 Описание паропровода и условия его работы. . . . .	8
1.2 Сведения о материале паропровода. . . . .	11
1.3 Особенности базового технологического процесса сварки паропровода. . . . .	15
1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы. . . . .	23
2 Проектная технология сварки стыков паропровода. . . . .	25
2.1 Выбор способа сварки. . . . .	25
2.2 Описание сборочного приспособления. . . . .	28
2.3 Особенности выполнения операций сборки, прихватки и сварки корневого слоя шва. . . . .	30
2.4 Особенности заполнения разделки. . . . .	34
3 Экологическое обоснование выпускной квалификационной работы. . .	37
3.1 Описание рассматриваемого технического объекта. . . . .	37
3.2 Идентификация негативных производственных факторов. . . . .	38
3.3 Снижение профессиональных рисков. . . . .	40
3.4 Обеспечение пожарной безопасности. . . . .	41
3.5 Вопросы обеспечения экологической безопасности. . . . .	44
4 Экономическое обоснование предлагаемых решений. . . . .	46
4.1 Исходная информация для выполнения экономического обоснования. . . . .	46
4.2 Расчёт фонда времени. . . . .	48
4.3 Штучное время по базовому и проектному вариантам технологии. . . . .	48
4.4 Технологическая, цеховая и заводская себестоимости по вариантам технологии. . . . .	51

4.5 Расчёт капитальных затрат по проектной и базовой технологии. . .	55
4.6 Показатели эффективности предлагаемых решений. . . . .	57
Заключение . . . . .	60
Список используемой литературы и используемых источников. . . . .	61

## Введение

В настоящий момент мировая экологическая повестка, предусматривающая повсеместный отказ от традиционных способов получения электрической и тепловой энергии в пользу более экологичных способов, близка к своему исчерпанию [14]. В первую очередь, это происходит по причине недостатка энергии, который испытывает современное общество. Вырабатываемой современными средствами энергии становится недостаточно не только для поддержания темпов развития промышленности, но и для обеспечения современных нужд. В качестве решения вопроса поддержания уровня трат энергии и увеличения количества вырабатываемой энергии может выступать атомная энергетика [32], безопасность объектов которой существенно повышена за счёт применения современных средств строительства и контроля.

Одним из основных элементов атомной электрической станции помимо реактора следует признать систему трубопроводов, масса металла которого на несколько порядков больше массы любого другого элемента [9]. Технологические трубопроводы, большая часть из которых служит для передачи пара, имеют суммарную протяжённость несколько сотен километров. Они работают в тяжелейших условиях повышенных температур, силового нагружения и коррозионного воздействия.

Следует отметить критическое состояние большинства трубопроводов атомных и тепловых станций Российской Федерации, длительный срок службы которых привел к исчерпанию нормативного срока службы [33]. На значительном количестве установок паропроводы находились в эксплуатации начиная с момента постройки станции, в процессе длительной работы в них накоплено значительное количество повреждений. Также следует принимать во внимание, что повреждение паропроводов атомных станций возможно не только вследствие исчерпания ресурса работы металла

трубопровода, но и результате несовершенства технологии строительства, которая применялась на момент ввода трубопровода в эксплуатацию [5].

В ходе длительной эксплуатации в паропроводе атомной станции происходит накопление повреждений, превышение опасного уровня которых может стать причиной аварийного останова. По результатам обследований состояния паропроводов следует признать наиболее повреждаемыми элементами сварные швы, при этом на долю вварных штуцеров приходится 45 % от всех возникающих повреждений на паропроводах, а на долю стыковых соединений – 36 % [39]. На атомных станциях проводится периодический контроль состояния паропроводов, по результатам которого принимается решение о проведении ремонта или замене линейной части паропровода. Проведение таких работ отличается существенными трудовыми и финансовыми затратами, снижение которых за счёт расширения технологических возможностей существующих технологий сварки и поиска новых технологий.

Строительство и ремонт паропроводов атомных станций проводится с применением различных способов дуговой сварки: ручная луговая сварка, сварка неплавящимся электродом, механизированная сварка проволокой сплошного сечения и порошковой проволокой. В основном применение нашли ручные способы сварки, хотя следует отметить их низкую эффективность по сравнению с механизированными и автоматическими способами сварки [28], [42].

Применение ручных способов сварки, продиктованное особенностями развития технологий строительства паропроводов атомных станций, помимо своих явных преимуществ имеет ряд недостатков, наличие которых заставляет вести работы в направлении совершенствования технологии сварки. Во-первых, при ручных способах сварки затруднено соблюдение техники с сварки и параметров режима, обеспечивающих оптимальное протекание металлургических процессов при формировании сварного шва. Кроме того, ручная сварка ответственных конструкций требует привлечения

специалистов с высоким уровнем подготовки. В настоящее время в мире и в России наблюдается растущая нехватка квалифицированных исполнителей ответственных работ. Компенсация нехватки высококвалифицированных сварщиков может быть выполнена за счёт применения способов сварки, позволяющих частично компенсировать возникающие возмущения процесса. К таким способам следует отнести автоматизированные и механизированные способы сварки.

Как показала практика проведения сварочных работ на объектах атомной энергетики, порядка 40 % труда приходится на выполнение стыков трубопроводов, общее количество которых на одной станции превышает 100 тысяч [23], [26], [41].

Как показывает практика длительного использования объектов атомной энергетики, старение технологических трубопроводов в большинстве случаев значительно опережает темпы возведения новых атомных электростанций в замен выбывающих из эксплуатации по срокам использования [25], [32]. Таким образом, проблема повышения качества сварки стыков паропроводов атомных станций становится более острой из-за необходимости ввода в эксплуатацию новых объектов и проведении трудоёмкого ремонта на уже функционирующих объектах. На переварку сварке стыков паропроводов атомных станций приходится затрачивать значительное количество ресурсов из-за того, что приблизительно 30 % стыков имеет те или иные дефекты, подлежащие исправлению [28].

На основании вышеизложенного следует признать актуальной поставленную цель настоящей выпускной квалификационной работы – повышение качества и производительности сварочных работ при строительстве и ремонте паропроводов атомных станций.

Поставленную цель необходимо решать с применением технических средств, имеющихся в арсенала отечественного производителя, что позволяет повысить экономическую производственную независимость предприятий российской промышленности [7], [10], [18].

# 1 Современное состояние сварочных технологий при строительстве и ремонте паропроводов атомных станций

## 1.1 Описание паропровода и условия его работы

В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается вопрос повышения эффективности и расширения технологических возможностей сварки при строительстве и ремонте паропровода свежего пара на объектах атомной энергетики. На рисунке 1 представлена принципиальная схема работы атомной станции по выработке электрической энергии. Системой второго контура атомной станции служит паропровод свежего пара, который обеспечивает передачу электрической энергии от парогенератора атомной станции к цилиндру высокого давления турбины.

На рисунке 2 представлена схема паропровода свежего пара, обеспечивающего питание паром вспомогательной турбины Т-100-130, которая имеет мощность 105 МВт. В качестве труб для строительства паропровода использованы толстостенные трубы с толщиной стенки 50 мм и внутренним диаметром 377 мм. При проектировании паропровода предусмотрено минимальное количество изгибов, что позволяет уменьшить его сопротивление при протекании по нему пара.



Рисунок 1 – Принципиальная схема устройства атомной электрической станции



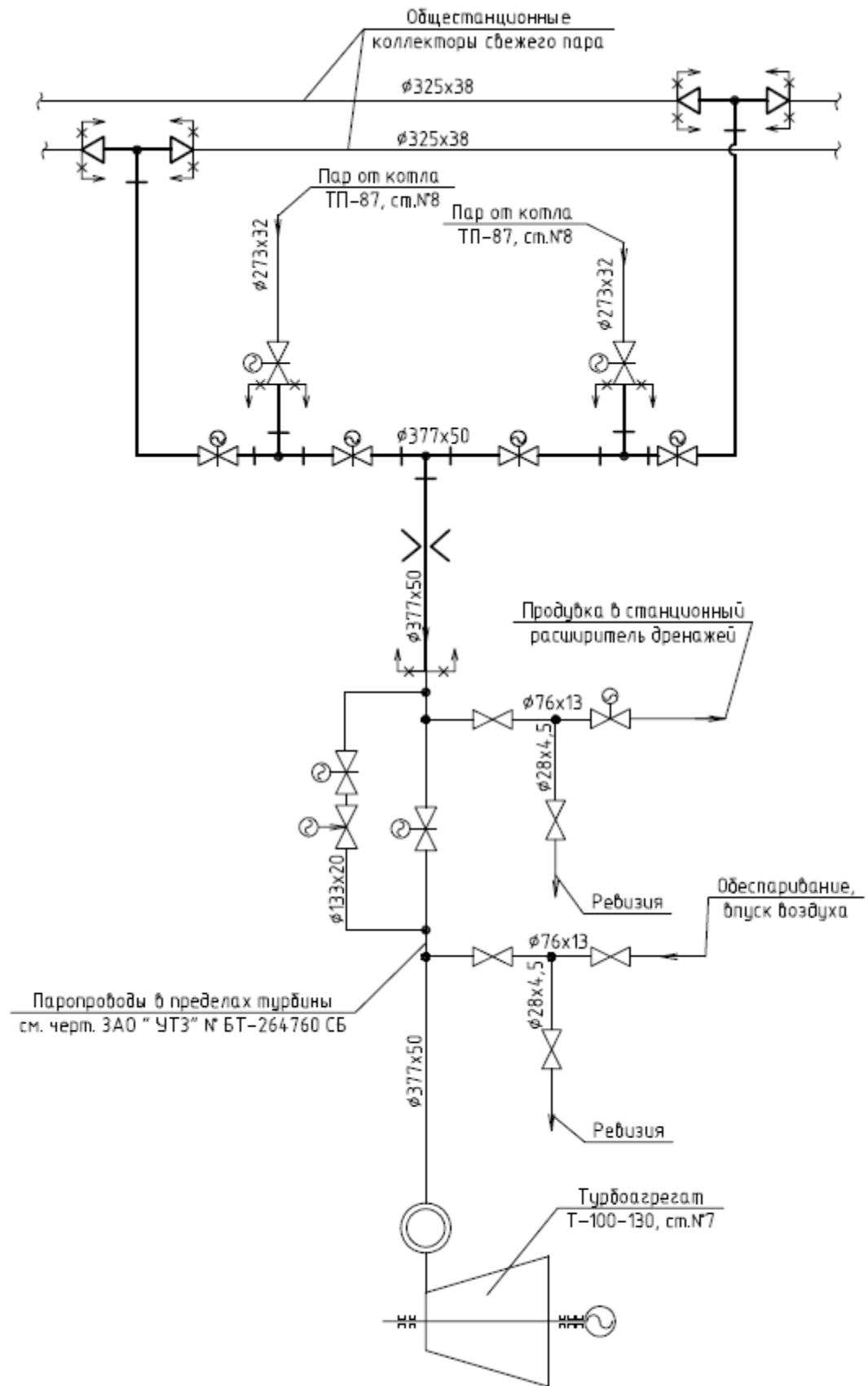


Рисунок 2 – Схема паропровода

Существенное влияние на выбор материала для изготовления труб при строительстве паропровода оказывает температура эксплуатации. При нагреве менее 450 °С для изготовления труб применяется сталь 10 и сталь 20. При температуре передаваемой среды до 620 °С ранее широко применялись аустенитные стали 08X18H10T, 10X18H10T и 12X18H10T. Как показала практики применения этих сталей при строительстве паропроводов на объектах атомной энергетики, перечисленные стали склонны к ускоренным процессам старения в условиях действия высоких температур. Хорошие показатели по долговременной прочности продемонстрировали стали, легированные молибденом, ванадием и хромом, имеющие перлитную структуру, к таким сталям относятся 12X1MФ и 15X1M1Ф.

При работе паропровода материал стенок его труб подвергается значительным воздействиям, длительное приложении которых вызывает образование, накопление и развитие дефектов: коррозия, трещины, выпучины, кавитационный износ [2], [6], [27].

Под действием давления внутри паропровода в его стенках возникают растягивающие напряжения. В результате тепловых нагрузок на паропровод в его стенках возникают изгибающие, сжимающие и скручивающие напряжения. В результате внешнего силового воздействия на паропровод в нём возникают напряжения изгиба. Источниками возникновения напряжений в материале паропроводы являются давление пара, которое составляет 130 атмосфер; вес трубопровода, который составляет порядка 500 кг на погонный метр; температура пара, которая составляет 555 °С; напряжения самокомпенсации, возникающие в стенках паропровода при его работе. Также следует принимать во внимание, что высокие давления и температура, а также действие радиационного излучения приводят к разложению водяного пара до компонентов, обладающих высокой коррозионной активностью. Также необходимо принимать во внимание опасность возникновения в паропроводе гидравлических ударов и его постоянную работы в условиях вибрации. Высокая скорость движения пара вызывает эрозию стенки.

## 1.2 Сведения о материале паропровода

Изготовление элементов паропровода, сварка которого рассматривается в настоящей выпускной квалификационной работе, выполняется из труб стали 15X1M1Ф, содержание химических элементов в которой представлено в таблице 1 [11], [19], [34], [36].

Таблица 1 – Химический состав стали 15X1M1Ф (основной металл и металл сварного шва)

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» [19]	0,01	0,27	1,13	1,04	0,61	0,16	0,024	0,022

Высокая жаростойкость стали 15X1M1Ф достигается за счёт её легирования хромом. При этом существенно повышается сопротивление окислению в условиях действия повышенных температур. Присутствие в стали хрома позволяет противостоять графитизации в процессе работы при повышенных температурах и при сварке труб.

Повышение сопротивляемости ползучести и увеличение длительной прочности достигается за счёт совокупного содержания молибдена и хрома в стали. Благодаря содержащемуся в стали молибдену происходит образование в ней упрочняющего интерметаллида  $Fe_2Mo$ .

Повышение прочности стали происходит так же за счёт введения в её состав ванадия, который образует карбиды ванадия. Также положительное влияние ванадия проявляется в способствовании равномерного распределения интерметаллидов по объёму наплавленного металла.

Выполнение сварочных работ при изготовлении и ремонте металлических конструкций из стали 15X1M1Ф встречает ряд затруднений, от успешного разрешения которых зависит эффективность сварочных

технологий [34]. К трудностям сварки следует отнести разупрочнение, холодные трещины и охрупчивание.

Холодные трещины при выполнении сварных конструкций из стали 15X1M1Ф образуются вследствие наличия неустойчивых структур, при этом наибольшая опасность образования холодных трещин наблюдается в околошовной зоне, температура нагрева которой в процессе сварки превышала 785 °С. Существенное увеличение вероятности образования холодных трещин при сварке паропроводов происходит вследствие высокой жесткости конструкции из-за значительной толщины стенки трубы. Снижение опасности возникновения холодных трещин достигается за счёт применения сопутствующего подогрева, который позволяет за счет уменьшения температурного градиента по объёму уменьшить уровень остаточных напряжений в конструкции. Положительное влияние сопутствующего подогрева проявляется также в сглаживании термического цикла, в результате чего снижается скорость охлаждения металла не происходит перерождение аустенита в мартенсит. Выдержка сварного соединения при температуре 150...200 °С сразу после выполнения сварки позволяет достигнуть более равномерного выравнивания остаточных напряжений и также способствует снижению опасности образования холодных трещин. Также следует отметить высокую роль в образовании холодных трещин растворенного водорода, поэтому при сварке следует применять материалы с минимальным содержанием водорода, выполнять качественную очистку и просушку места сварки и подготовку сварочных материалов.

Сталь 15X1M1Ф имеет склонность к охрупчиванию в процессе сварки, что проявляется в протекании в ней неблагоприятных металлургических процессов – образовании закалочных структур типа бейнит, тростит и мартенсит. Основной причиной охрупчивания является высокая скорость охлаждения в процессе выполнения сварного шва.

Причиной разупрочнения стали 15X1M1Ф при сварке является протекание неблагоприятных металлургических процессов – высокотемпературного отпуска при неполной перекристаллизации. В результате происходит образование мягкой прослойки, имеющей сниженные прочностные характеристики, отрицательное действие которой проявляется при длительной работе конструкции и может привести к аварийному разрушению. Особенно сильно проявляется разупрочнение при длительной работе конструкции в условиях повышенных нагрузок и температур. Степень разупрочнения стали повышается при увеличении погонной энергии сварки, поэтому при построении технологии изготовления сварной конструкции особое внимание следует уделить назначению оптимальных параметров режима и соблюдению техники сварки.

Снижение разупрочнения металла происходит при высокотемпературной термической обработке, в результате которой достигается полная перекристаллизация. Для повышения эффективности термической обработки следует применять специальные сварочные электроды, имеющие высокое содержание легирующих элементов и углерода, что способствует большей отзывчивости наплавленного металла к нагреву в ходе термической обработки.

Проблема свариваемости сталей при строительстве конструкций атомной энергетики имеет сложную природу, которая требует применения комплексных решений [12], [43]. На рисунке 3 представлена диаграмма факторов технологии, которые оказывают влияние на свариваемость, к которым следует отнести состав и структуру основного металла, особенности технологии сварки, проектирования сварной конструкции и человеческий фактор.

Влияние технологического фактора проявляется в особенностях подготовки кромок и поверхности деталей, точности выполнения сборочных операций, назначении оптимальных параметров режима сварки, применения адекватной техники сварки и правильности выбора сварочных материалов.

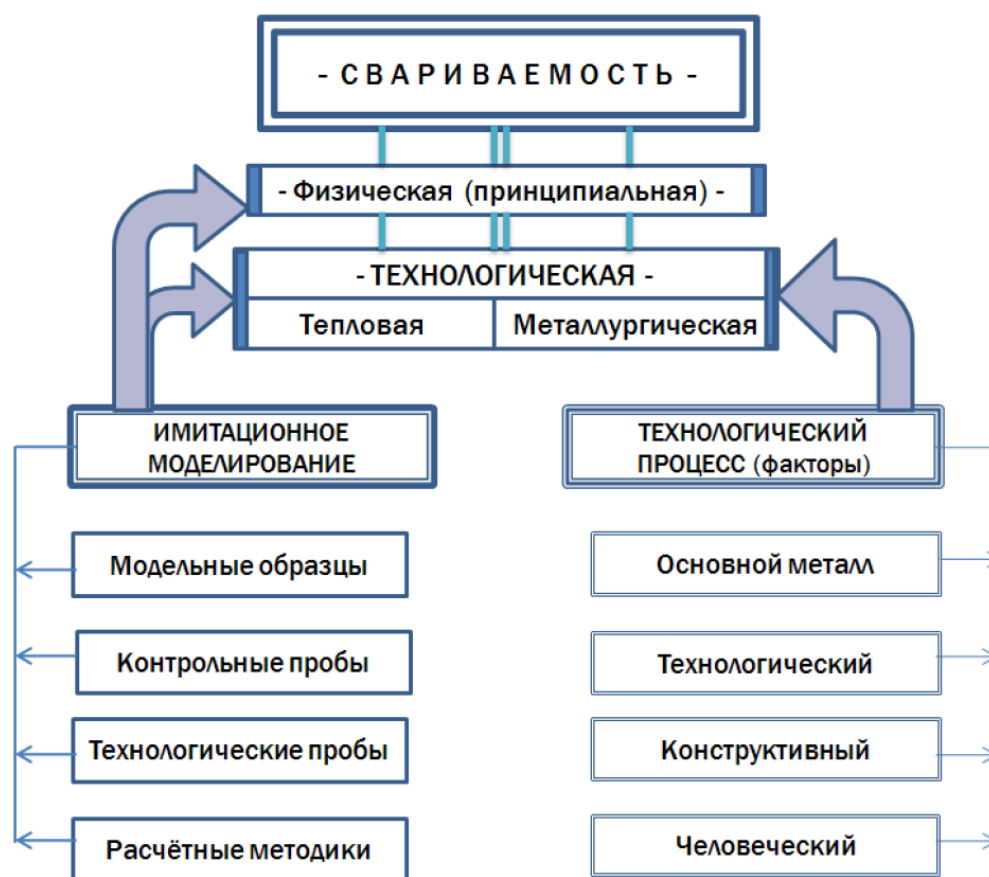


Рисунок 3 – Представление проблемы свариваемости как результата комплексного влияния различных факторов

Влияние конструктивного фактора проявляется в особенностях проектирования металлической конструкции, которые определяют её жёсткость, наличие концентраторов напряжения, толщины свариваемого металла, взаимное и пространственное положение сварных швов, особенности теплоотвода.

Влияние человеческого фактора при сварке на объектах атомной энергетики проявляется в значительной мере, что объясняется высокой продолжительностью процесса сварки, составляющей несколько часов. В результате многократно повторяющихся операций при выполнении многопроходной сварки ошибки сварщика могут накапливаться и приводить к формированию дефектного сварного соединения. Вероятность получения дефектного соединения при многопроходной сварке существенно выше, чем при сварке конструкций малой толщины.

### 1.3 Особенности базового технологического процесса сварки паропровода

Технологический процесс сборки и сварки паропровода предусматривает последовательное выполнение ряда операций, для каждой из которых задаются режимы и технологические требования в соответствии с действующей нормативной документацией.

Перед тем, как приступить к работам по сборке и сварке паропровода следует выполнить проверку заготовок, чтобы удостовериться в присутствии необходимой маркировки, клемм и сертификатов завода-изготовителя. Если заготовки не промаркированы должным образом и не имеют сопроводительных документов, допускать их последующей сборке и сварке запрещено. При помощи металлической линейки и штангенциркуля выполняют проверку труб на кривизну, которая допускается не более 4 мм на 1 метр долины, при этом суммарный прогиб по всей длине трубы не должен превышать 15 мм. Далее выполняют проверку перпендикулярности торцев труб, схема выполнения которой представлена на рисунке 4. Проверку проводят с применением металлического угольника и металлической линейки. Величина отклонения от перпендикулярности  $l$  должна быть не более 2 мм.

После входного контроля заготовок проводят резку труб. Для резки трубы диаметром 377 мм используют труборез 2Т-377, который представлен на рисунке 5.

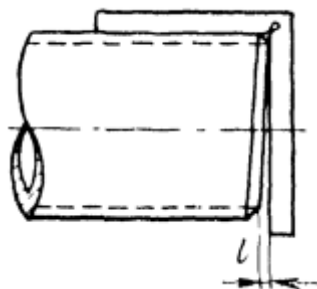


Рисунок 4 – Проверка перпендикулярности торцев труб перед сборкой паропровода



Рисунок 5 – Труборез 2Т-377

Применение трубореза 2Т-377 имеет механизм самоцентрирования и позволяет выполнять механизированную подготовку кромок по нескольким вариантам: торцевание (рисунок 6-а), обработка наружной фаски (рисунок 6-б), проточка наружного диаметра (рисунок 6-в), обработка внутренней фаски (рисунок 6-г), растачивание внутренней поверхности трубы (рисунок 6-д). В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается вопрос сборки и сварки стыка паропровода, при которой применяется разделка кромок, представленная на рисунке 7.

После реза выполняют обработку кромок механическим способом с применением абразивного инструмента и фрезы. На рисунке 8 представлены требования к шероховатости поверхности трубы после подготовки кромок. Устранение препятствующих сборке неровностей и шероховатостей проводится с применением напильника и абразивного круга.

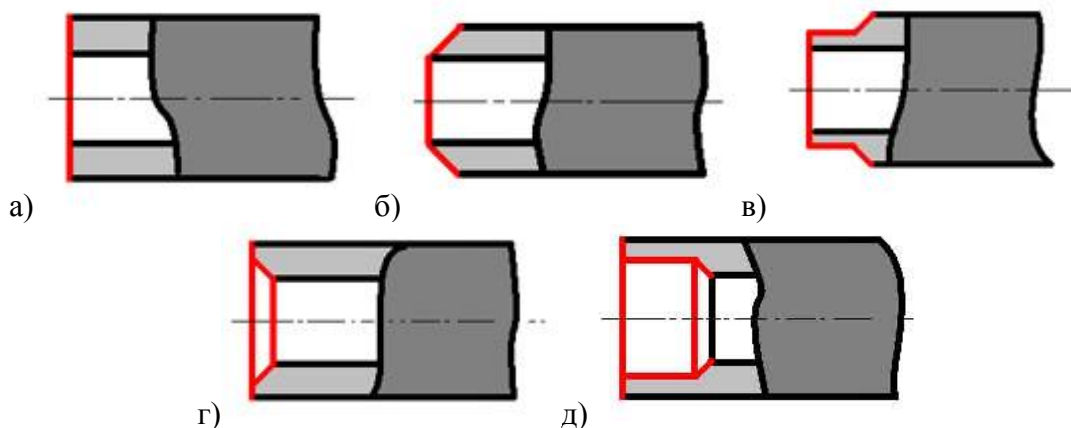


Рисунок 6 – Варианты разделки труб с применением трубореза 2Т-377



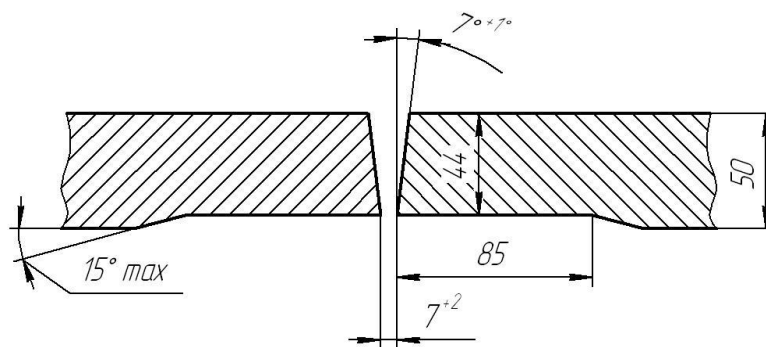


Рисунок 7 – Форма разделки труб

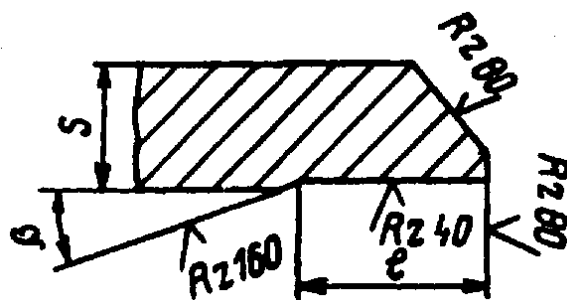


Рисунок 8 – Шероховатость трубных заготовок перед сборкой и сваркой паропровода

После резки и подготовки кромок непосредственно перед сборкой и сваркой следует выполнить очистку поверхности заготовок до металлического блеска. Очистку проводят на ширину 20 мм от кромки с внешней стороны и на ширину 10 мм от кромки с внутренней стороны трубы. После очистки поверхности обезжиривают.

Далее проводят сборку труб с применением специальных приспособлений, которые позволяют обеспечить необходимую точность сборки. При сборке следует стыковать трубы с одинаковыми внешним и внутренним диаметрами, при этом отклонение диаметров стыкуемых труб не должно превышать 2 мм. Величина зазора между подкладным кольцом и трубой должна быть не более 1 мм. Перелом осей при сборке контролируется при помощи металлической линейки длиной 400 мм, величина перелома должна быть не более 2 мм. На рисунке 9 представлена схема проверки перелома труб при сборке стыка паропровода. Ответственным за качество сборочных работ является бригадир или мастер, который проводил эти работы. Последующую проверку качества сборки проводит сварщик.

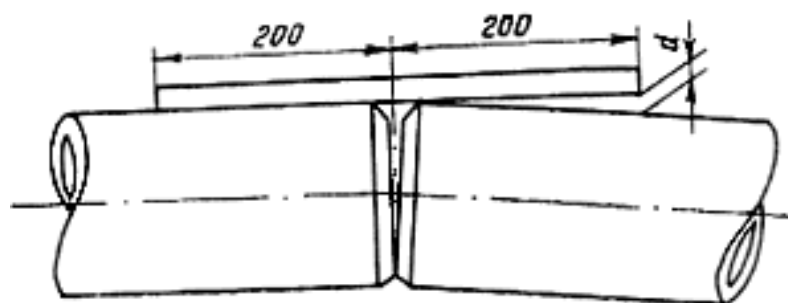


Рисунок 9 – Схема проверки перелома труб при сборке стыка паропровода

Сборку и сварку стыка паропровода проводят с применением остающегося подкладного кольца, которое имеет ширину 20...25 мм и выполнено из стали 12Х1МФ толщиной 3...4 мм.

При сборке труб паропровода с использованием подкладного кольца, само кольцо вводят внутрь трубы на одну треть ширины подкладного кольца. При этом следует контролировать величину зазора между внешней поверхностью кольца и внутренней поверхностью трубы, который должен быть не более 1 мм.

После установки подкладного кольца проводят его подогрев и подогрев конца трубы до температуры 300...350 °С с использованием пламени газовых горелки, обеспечивающих равномерный нагрев по периметру стыка. Температуру нагрева контролируют с применением контактных термопар ТК-5. Ширина участка нагрева составляет 50...70 мм в обе стороны от торца трубы.

После установки подкладного кольца и предварительного подогрева проводят прихватку кольца с наружной стороны трубы. Проставляют две прихватки, которые должны располагаться диаметрально противоположно. Высота прихватки составляет 3 мм, длина каждой прихватки 20...40 мм. В процессе наложения основного шва прихватки будут перевариваться. Прихватки следует выполнять с полным проваром.

После контроля геометрии стыка и качества выполнения прихваток выполняют кольцевой ниточный шов, особенности геометрии ниточного шва показаны на рисунке 10-а, прихватки переваривают, катет составляет 4 мм.

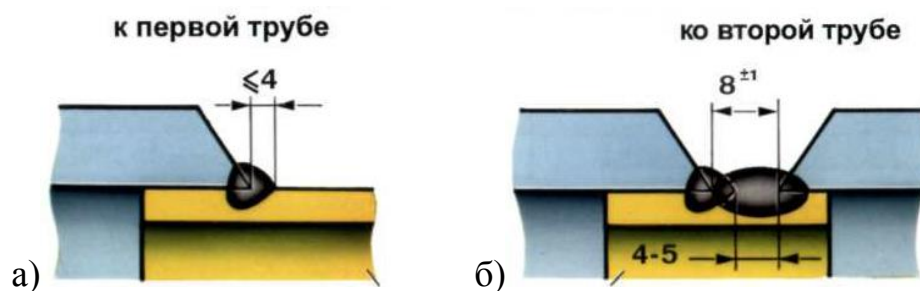


Рисунок 10 – Особенности выполнения сварных швов при приварке подкладного кольца

После выполнения ниточного шва, приваривающего подкладное кольцо к первой трубе, выполняют зачистку от брызг и шлака, проводят визуальный контроль качества. После этого на подкладное кольцо надвигают вторую трубу таким образом, чтобы расстояние от торца трубы до ниточного шва оставляло 4...5 мм. Далее выполняют приварку подкладного кольца ко второй трубе, как показано на рисунке 10-б. Проводят зачистку от брызг и шлака, проводят визуальный контроль качества.

После установки труб и приварки подкладного кольца проводят сварку стыка. Сварку ведут с соблюдением техники сварки, предусматривающей поддержание максимально короткой дуги, длина которой не превышает диаметра электрода. Сварка на короткой дуге позволяет уменьшить выгорание легирующих элементов. Необходимо стремиться к минимальному количеству обрывов дуги, гашение дуги следует выполнять на наплавленном металле в 15...20 мм от его края, при обрыве дуги следует выполнить тщательное заплавление кратера. Для того, чтобы избежать появления шлаковых включений в сварном шве, следует выполнять как можно более плоские валики. После выполнения каждого валика следует провести его очистку от шлака и брызг и выполнить визуальный контроль. При визуальном контроле недопустимыми дефектами являются непровары, трещины, наплывы и скпления пор. При наличии в сварном шве недопустимых дефектов проводят удаление дефекта до здорового металла с применением механических способов и переварку дефектного места. Перекрытие валиков составляет 12...18 мм.

Геометрия валиков сварного шва зависит от положения стыка труб паропровода. При сварке вертикального стыка толщина валиков составляет 5...8 мм. При сварке горизонтального стыка толщина валика составляет 4...6 мм.

При сварке вертикального стыка первые слои следует выполнять обратноступенчатым способом, длина участка составляет 200...250 мм. Последующие слои сваривают с длиной свариваемого участка, составляющей половину окружности стыка. На рисунке 11-а представлен порядок наложения слоев при выполнении вертикального стыка.

При сварке горизонтального стыка применяют обратноступенчатый способ, длина участка составляет 200...250 мм. На рисунке 11-б представлен порядок наложения слоев при выполнении горизонтального стыка паропровода.

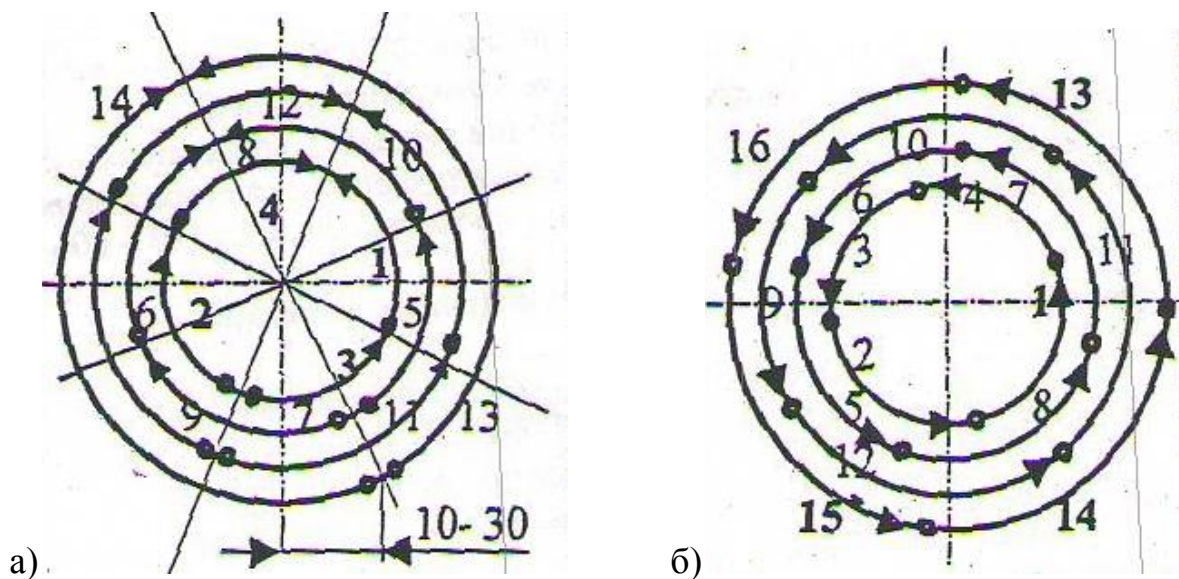


Рисунок 11 – Порядок наложения слоёв при сварке стыка паропровода: вертикальный стук (а), горизонтальный стук (б)

После сварки проводят термическую обработку стыка. Нагрев ведут до 700...730 °С, выдержка при термической обработке составляет 3 часа. Остывание стыка труб до температуры 300 °С выполняется под слоем изоляции, дальнейшее остывание до температуры окружающего воздуха проходит на открытом воздухе.

Для выполнения прихваток и сварки применяются электроды ТМЛ-1У диаметром 2,5 мм и 3 мм. Выполнение прихваток и приварку подкладного кольца проводят с применением электродов диаметром 2,5 мм, ток сварки составляет 70...90 А, напряжение на дуге составляет 17...19 В. При заполнении разделки применяют электроды диаметром 3 мм, ток сварки составляет 90...110 А (для нижнего положения), ток сварки составляет 110...130 А (для вертикального и потолочного положения), напряжение на дуге составляет 18...23 В.

В качестве источника сварочного тока применяется сварочный выпрямитель ВДУ-506, который представлен на рисунке 12-а. Для проведения термической обработки применяется набор гибких индукторов и сварочный трансформатор ТДМ-501, который представлен на рисунке 12-б.



а)



б)

Рисунок 12 – Применяемые при выполнении базовой технологии источники питания: сварочный выпрямитель ВДУ-506 (а) и сварочный трансформатор ТДМ-501 (б)

После сварки проводят контроль качества визуально-измерительный, проверку твёрдости и рентгеновский.

Перед проведением визуально-измерительного контроля качества следует выполнить очистку сварного шва и прилегающего к нему металла на ширину 20 мм в обе стороны. Необходимо удалить шлак, брызги расплавленного металла и другие загрязнения поверхности.

Для проведения визуального контроля применяется лупа с увеличением 4...7 крат, которая используется для детально осмотра заподозренных

участков и уточнения характеристик дефекта. Также в случае необходимости применяется переносной источник света. На рисунке 13 представлен внешний вид сварного соединения и требования к его геометрии.

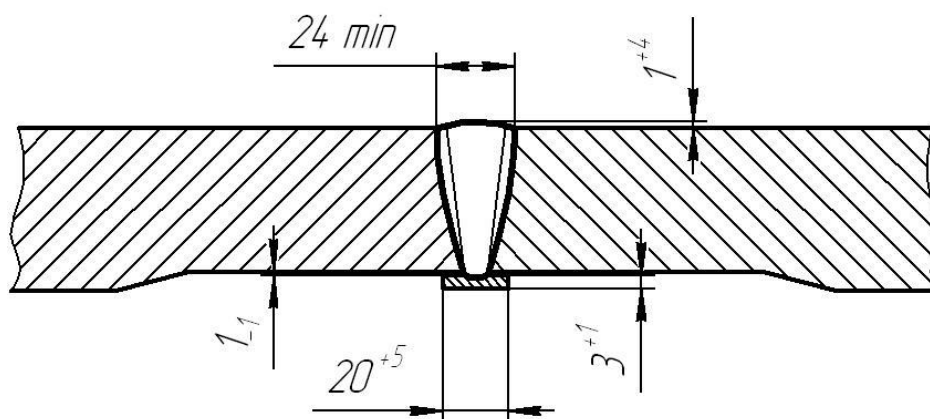


Рисунок 13 – Внешний вид сварного соединения и требования к его геометрии

К внешнему виду сварного шва предъявляется ряд требований. Форма и размеры сварного шва должны соответствовать рисунку 13. Наплавленный металл должен плавно переходить на основной металл без заломов и наплывов. Поверхность сварного шва должна быть гладкой или иметь равномерную мелкую чашуйчатость.

Недопустимыми дефектами при визуальном контроле являются непровары между основным металлом и наплавленным металлом, несплавления между валиками, незаваренные кратеры, брызги металла, наплывы, трещины, скопления шлаковых включений и выходящих на поверхность пор. Если в процессе проведения визуального контроля какой-то участок сварного шва вызвал подозрения, то проводят его измерительный контроль, в процессе которого уточняют геометрию сварного шва и размеры обнаруженных дефектов.

Главным недостатком базовой технологии сварки является низкая производительность процесса, которая обусловлена применением ручной дуговой сварки. Также следует указать на высокий уровень дефектности соединений. Применение подкладного кольца снижает эксплуатационные свойства паропровода и повышает риск возникновения на нём аварии.

## 1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности сварочных технологий при выполнении стыков паропроводов атомных станций. В ходе выполнения настоящего раздела проведен анализ конструкции паропровода и свойств его материала. Рассмотрена базовая технология сварки стыка, которая предусматривает применение ручной дуговой сварки и подкладного кольца. Эти особенности базовой технологии являются причиной её недостатков: низкая производительность процесса сварки, высокий уровень дефектности сварного соединения и снижение эксплуатационных свойств паропровода.

Следует отметить мировую тенденцию по снижению доли ручной дуговой сварки и рост доли механизированных и автоматических способов сварки [24]. Это объясняется большей производительностью и перспективностью применения механизированных и автоматических способов сварки по сравнению с ручными способами. Кроме того, проведение строительных и ремонтных работ на паропроводах атомной станции требует применения персонала с высокой степенью подготовленности, а требования к квалификации сварщика при применении ручных способов сварки намного выше, чем требования к квалификации сварщика при применении механизированных и автоматических способов сварки. На основании вышеизложенного следует признать необходимость замены ручной дуговой сварки, которая применяется по базовой технологии, на другие, более перспективные способы сварки.

При сварке по базовому варианту применяется остающееся подкладное кольцо. При таком способе выполнения соединений повышается сопротивление паропровода свободному потоку пара. Кроме того, остающееся подкладное кольцо становится концентратором напряжений и снижает долговечность сварного соединения. Для того, чтобы отказаться от использования подкладного кольца следует предложить необходимое

сборочное приспособление, которое обеспечит требуемую точность сборки и жёсткость закрепления труб при сварке..

На основании вышеизложенного можно сформулировать задачи настоящей выпускной квалификационной работы.

Первой задачей является обоснование выбора способа сварки. Необходимо выполнить анализ возможных способов сварки и путей повышения их эффективности с учётом особенностей свариваемого материала и использования конструкции. На основании экспертной оценки каждого способа следует обоснованно предложить заменяющий способ сварки.

Второй задачей является расширение технологических возможностей выбранного способа сварки с учётом особенностей сварной конструкции и свойств материала паропровода. Кроме того, решения по модернизации способа должны опираться на разработки отечественных авторов, что позволит повысить независимость российской промышленности от поставок иностранных комплектующих и технологий [7], [18].

Третьей задачей является построение проектного технологического процесса, который предусматривает составление перечня операций и назначения для каждой операции параметров и технических требований к выполнению. Также необходимо выбрать технологическое оборудование для каждой операции с учётом особенностей современного российского рынка сварочной техники.

Предполагается проведение идентификации опасных и вредных производственных факторов проектной технологии, на основании которой будут предложены меры по защите персонала. Кроме того, будут предложены меры по повышению экологичности технологии [3], [8].

Далее предлагается провести оценку проектного и базовой технологии по основным экономическим показателям, после чего предстоит сделать вывод об эффективности внедрения предлагаемых решений в производство [19], [20].



## **2 Проектная технология сварки стыков паропровода**

### **2.1 Выбор способа сварки**

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности технологии сварки паропроводов атомных станций. Рассматривается вопрос сварки стыков труб диаметром 377 мм и толщиной стенки 50 мм из теплоустойчивой стали. Применительно к рассматриваемым условиям могут быть использованы следующие 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» [34].

Применение ручной дуговой сварки при строительстве и ремонте паропроводов и других технологических трубопроводов обосновано по причине высокой универсальности этого способа. При выполнении работа на паропроводах применяются специальные электроды с оригинальным составом покрытия. При этом совершенствование состава позволяет расширить технологические возможности ручной дуговой сварки и повысить качество сварных соединений [30], [31]. В рассмотренной работе предлагается состав электродного покрытия, который существенно повышает текучесть расплавленного металла и улучшает условия формирования корневого слоя шва. При этом становится возможным применять сборку и сварку стыков паропровода без подкладного кольца.

Расширение технологических возможностей ручной дуговой сварки паропроводов из теплоустойчивых сталей возможно за счёт применения специальной техники сварки с поперечными колебаниями, предложенной в работе [4]. При этом существенно снижается тепловое воздействие на

основной металл, и повышаются эксплуатационные свойства соединения, однако такой способ сопровождается сильной утомляемостью сварщика.

Перевод процесса сварки из области стационарных режимов горения дуги в область импульсного режима горения дуги позволяет существенно повысить характеристики сварочного процесса и улучшить формирование корневого слоя шва, что показано в работе [13].

Применение сварки проволокой сплошного сечения в защитных газах по сравнению с ручной дуговой сваркой позволяет существенно улучшить условия труда сварщика и снизить его утомляемость. Кроме того, становится возможным уменьшить количество обрывов дуги, так как отпадает необходимость замены сварочного электрода. Это положительно сказывается на производительности и качестве сварочных работ. При сварке в углекислом газе расплавленный металл обладает повышенной вязкостью. С одной стороны, это упрощает удержание сварочной ванны при сварке в различных положениях но, с другой стороны, ухудшаются условия формирования корневого слоя шва.

В качестве недостатка сварки проволокой сплошного сечения в защитных газах следует указать высокое разбрызгивание электродного металла, которое не только ухудшает внешний вид соединения, но и может стать причиной образования дефектов. Кроме того, разбрызгивание становится фактором, ограничивающим применение производительных режимов, так как при переходе на форсированный режим сварки разбрызгивание резко усиливается. Также повышенная вязкость расплавленного металла становится причиной образования трещин и непроваров в корне шва. Расширение технологических возможностей механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения достигается применением техники с дополнительной присадкой, которая описана в работах [16] и [21]. Применение дополнительной присадочной проволоки позволяет повысить производительность сварки, а также существенно снижает тепловую нагрузку на основной металл. Значительные

успехи в области повышения эффективности механизированной сварки достигнуты за счёт применения импульсной подачи сварочной проволоки [35], [37], [38] и импульсного управления горением сварочной дуги [1], [17], [22].

При осуществлении сварки порошковой проволокой может быть применено такое же оборудование, что и для сварки проволокой сплошного сечения. Применение порошковой проволоки позволяет существенно расширить технологические возможности сварки по сравнению со сваркой проволокой сплошного сечения. Мировыми аналитиками отмечается тенденция к росту применения порошковых проволок, потребление которых в странах Юго-Восточной Азии приближается по объёмам к штучным электродам для ручной дуговой сварки. Порошковые проволоки, как сварочный материал, находят всё большее применение при проведении сварочных работ на объектах атомной энергетики [15]. Кроме того, порошковые проволоки позволяют обеспечить специфический химический состав металла сварного шва, что особенно важно при сварке теплоустойчивых сталей, изготовление же проволоки сплошного сечения с дополнительным легированием затруднено.

В работе [40] показана высокая эффективность применения сварки порошковыми проволоками с дополнительной газовой защитой в виде углекислого газа аргона и их смесей. Применение порошковой проволоки при сварке корневого слоя шва затруднено высокой опасностью возникновения шлаковых включений.

Проведенный анализ источников научно-технической информации по вопросу выбора способа сварки паропровода атомной станции позволяет судить о высокой эффективности сварки порошковой проволоки в защитных газах, которая будет применена при заполнении разделки. Для выполнения корневого слоя шва предлагается применить ручную дуговую сварку специальными электродами с импульсным управлением сварочной дугой.

## 2.2 Описание сборочного приспособления

В проектной технологии предлагается применить сборочное приспособление для сборки и сварки толстостенных труб, которое было предложено отечественными исследователями [29]. На рисунке 14 представлена функциональная схема предлагаемого трубного центриатора.

Зажатие трубы осуществляется приводными кулачками, которые на функциональной схеме обозначены позицией 3. Перемещение приводных кулачков и приложение сжимающего усилия обеспечивается через штоки силовых цилиндров, которые обозначены позицией 4. Силовые цилиндры размещены на правом и левом секторах, которые обозначены на схеме позициями 1 и 2. Для крепления силовых цилиндров на секторах служат ребра, которые обозначены на схеме позицией 5. В месте стыковки секторов расположены выступы, которые обозначены на функциональной схеме позициями 6 и 7. На одном выступе выполнен зуб, а на другом – паз. На выступах располагаются подвижные опоры с лысками, которые обозначены на функциональной схеме позицией 8, на них одеваются стягивающие рамки, обозначенные на функциональной схеме позицией 9. В отверстия на стягивающих рамках входят откидные болты, которые обозначены на функциональной схеме позицией 10 и установлены на осях (обозначены на функциональной схеме позицией 11) и вилках (обозначены на функциональной схеме позицией 12). Откидные болты снабжены гайками, которые обозначены на функциональной схеме позицией 13. Контактная поверхность (обозначена на функциональной схеме позицией 14) служит для контактирования рамок (позиция 9 на функциональной схеме) и лысок опор (позиция 8 на функциональной схеме).

Согласованная работа силовых цилиндров (позиция 4 на функциональной схеме) обеспечивает высокую точность и жесткость закрепления труб при сварке паропровода.

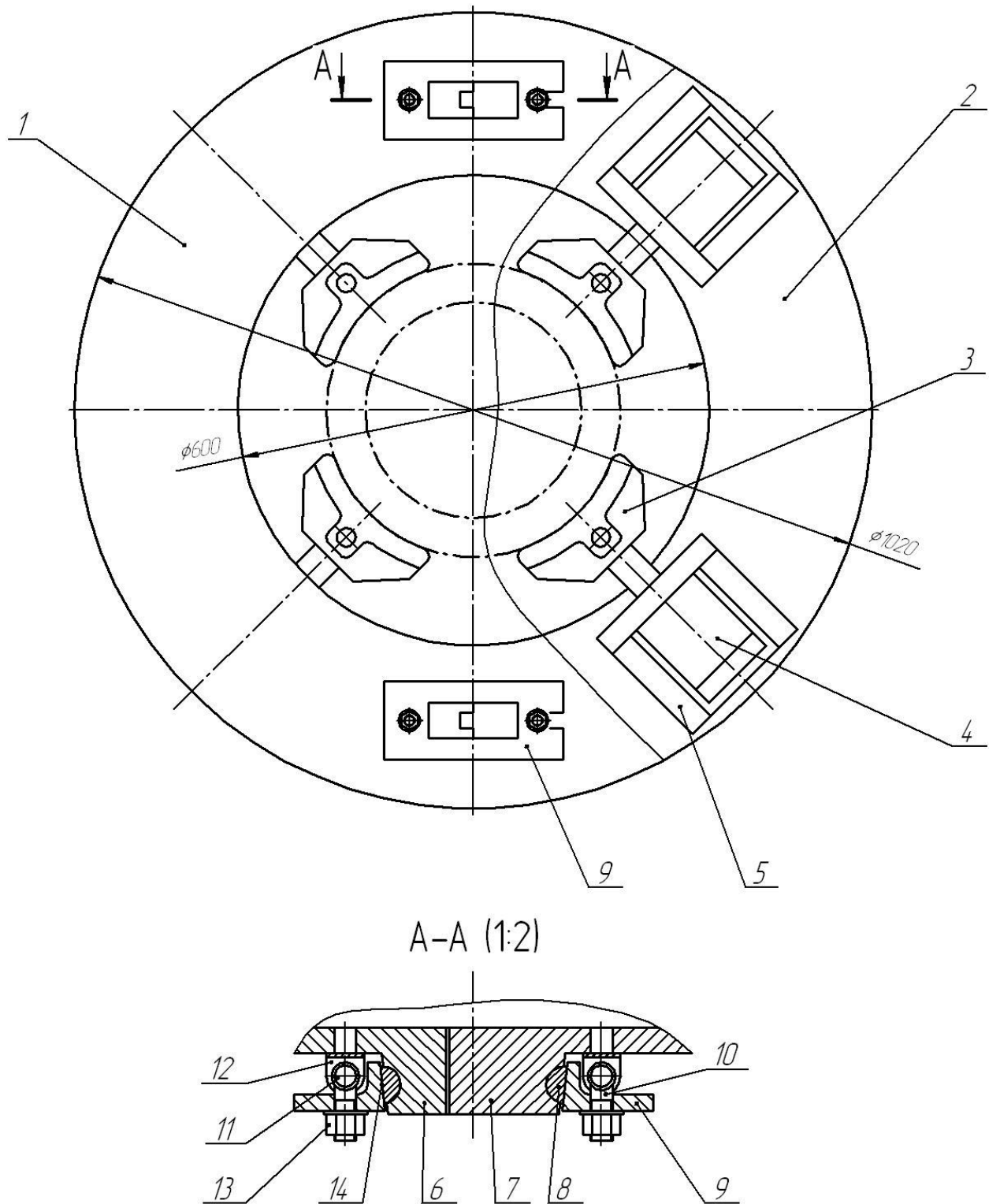


Рисунок 14 – Функциональная схема предлагаемого трубного центратора

Применение предлагаемой приспособления позволяет повысить точность и жёсткость сборки толстостенных труб, а также отказаться от использования подкладного кольца, если это позволит сварочная технология.

### 2.3 Особенности выполнения операций сборки, прихватки и сварки корневого слоя шва

Перед выполнением сварки требуется проведение предварительного подогрева труб в месте сварки, температура которого составляет 300...350 °С. Базовая технология предусматривает применение распределённого газового пламени. Проектная технология предусматривает применение установки индукционного нагрева, в состав которой входят кабели производства НПП «УНИТЕХ», схема подключения установки представлена на рисунке 15. На нагреваемом элементе трубопровода размещается водоохлаждаемый гибкий индукционный кабель (обозначен на схеме как ВГИК), который подключается к источнику тока (обозначен на схеме как ИП) через водоохлаждаемый индукционный токоподвод (обозначен на схеме как ВИТ) и малоиндукционный токоподводящий кабель (обозначен на схеме как МТК). Внешний вид кабелей представлен на рисунке 16. В качестве источника питания применяется трансформатор ТДМ-501.

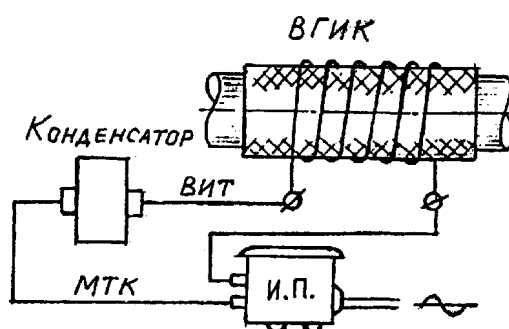


Рисунок 15 – Схема подключения установки для индукционного нагрева



Рисунок 16 – Внешний вид кабелей производства НПО «УНИТЕХ» для индукционного нагрева паропроводов

Поскольку в проектной технологии предлагается отказаться от использования подкладного кольца, была изменена форма разделки, кромок при помощи трубореза 2Т-377. Новая форма разделки кромок представлена на рисунке 17.

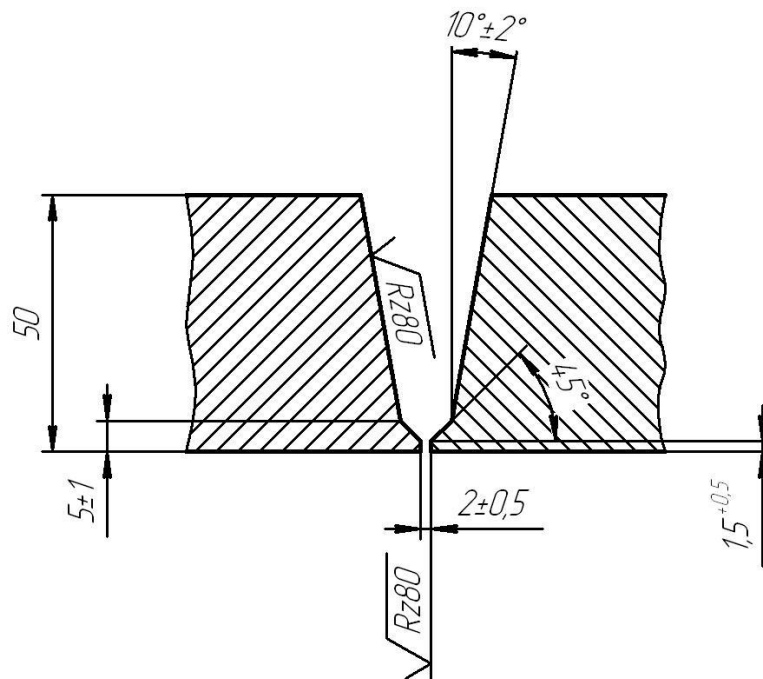


Рисунок 17 – Предлагаемая форма разделки кромок по проектной технологии

После сборки труб в приспособлении и проверки точности сборки следует провести прихватку. В отличие от базовой технологии, проектная технология предусматривает выполнение не двух, а четырёх прихваток со сквозным проплавлением. Длина прихватки составляет 30...40 мм, высота прихватки составляет 5...6 мм. Прихватки следует располагать равномерно по периметру стыка труб, при этом следует избегать выполнения прихваток в потолочной части трубы. Требования к визуальному контролю качества выполнения прихваток аналогичны требованиям к сварному шву.

Параметры режима при выполнении прихваток такие же, как и при выполнении корневого слоя шва. Прихватку и корневой слой шва выполняют электродами ТМЛ-1У диаметром 3 мм на постоянном токе обратной полярности. Сила тока составляет 100...130 А при напряжении дуги 18...23 В. В качестве источника тока применяется сварочный выпрямитель ВДУ-506. Для расширения технологических возможностей ручной дуговой

сварки предлагается применить разработку отечественных исследователей в области импульсного управления дугой [43]. Осциллограмма тока сварки представлена на рисунке 18. Для питания сварочной дуги применяются импульсы постоянного тока, длительность  $t_{и.осн.} = 0,25$  с. В промежутке между основными импульсами сварки происходит горение дежурной дуги в течение длительности  $t_{п.осн.} = 0,3$  с. Величина тока в паузе составляет  $I_{п.} = 15$  А. величина тока в импульсе составляет  $I_{и.осн.} = 130$  А. Длительность вспомогательного импульса составляет  $t_{и.всп.} = 2$  мс при частоте вспомогательных импульсов 100 Гц. Таким образом, длительность импульса паузы составляет  $t_{п.всп.} = 8$  мс при длительности вспомогательного цикла  $T_{ц.всп.} = 0,01$  с.

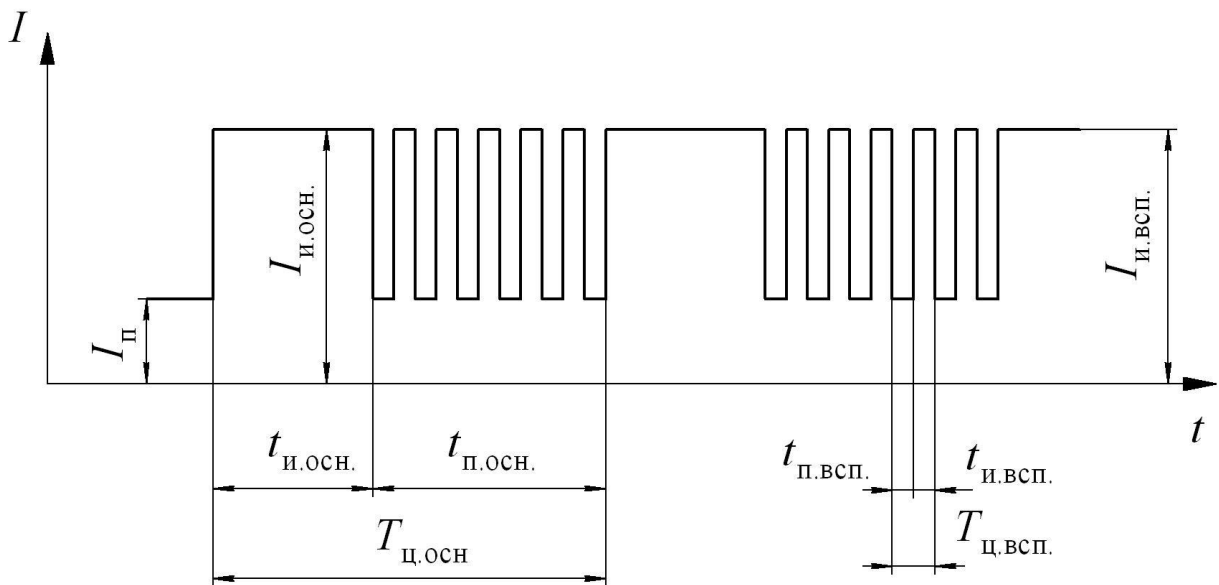


Рисунок 18 – Осциллограмма тока сварки согласно [43]

Задаваемые параметры импульса сварки обеспечивают гарантированный переход в сварочную ванну капли расплавленного металла без разбрызгивания. Кроме того, улучшается текучесть расплавленного металла, что упрощает формирование корневого слоя шва при сварке в узкую разделку. Импульсный характер горения дуги также повышает её пространственную стабильность. Также обеспечивается равномерная мелкая чешуйчатость сварного шва. Применение предлагаемого технического решения обеспечивает стабильное формирование корневого слоя шва и позволяет отказаться от использования подкладного кольца.



При сварке корневого слоя шва на горизонтальном стыке сварку следует вести обратноступенчатым способом, как показано на рисунке 19-а, каждый участок сварного шва должен иметь длину 200...250 мм. При сварке корневого слоя шва на вертикальном стыке необходимо вести сварку в направлении снизу вверх, как показано на рисунке 19-б.

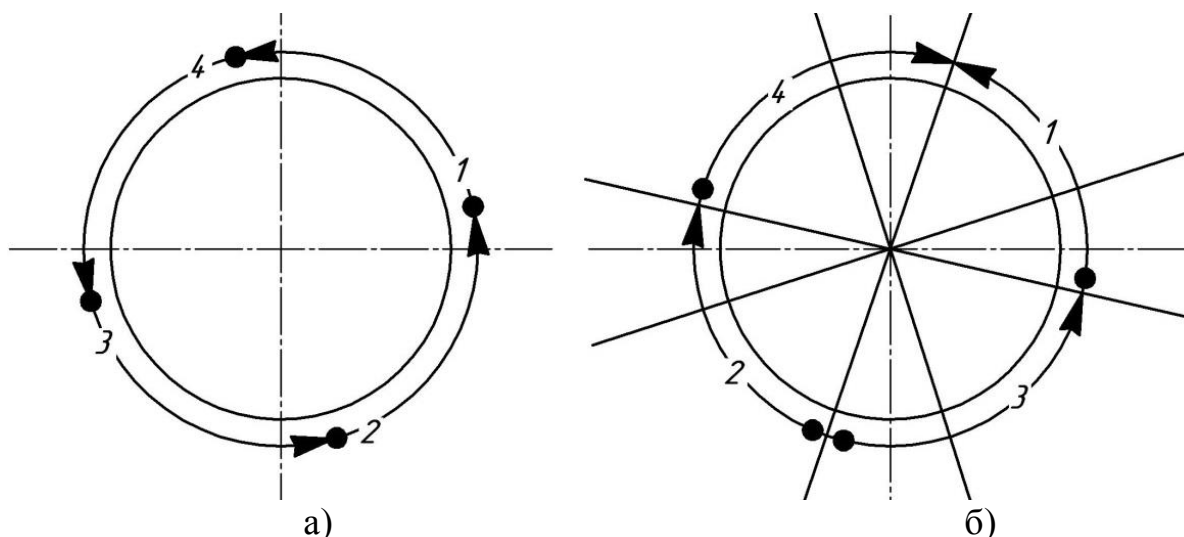


Рисунок 19 – Порядок сварки участков корневого слоя шва при сварке горизонтального (а) и вертикального (б) стыка труб

Жимки центратора можно освобождать после полного выполнения корневого слоя шва и его остывания. После освобождения жимков центратора следует выполнить зачистку поверхности корневого слоя шва и визуальный контроль качества. Недопустимыми дефектами при визуальном контроле являются непровары между основным металлом и наплавленным металлом, несплавления между валиками, незаваренные кратеры, брызги металла, наплывы, трещины, скопления шлаковых включений и выходящих на поверхность пор. Если в процессе проведения визуального контроля какой-то участок сварного шва вызвал подозрения, то проводят его измерительный контроль, в процессе которого уточняют геометрию сварного шва и размеры обнаруженных дефектов. При обнаружении недопустимых дефектов выполняют их удаление с применением механических методов и переварку дефектного места.

## 2.4 Особенности заполнения разделки

При сварке пол проектной технологи расходными материалами будет сварочная проволока и защитный газ. В качестве сварочной проволоки предлагается применить порошковую проволоку ППС-ТМВ15 диаметром 1,6 мм, которая показала свою эффективность при изготовлении ответственных сварных конструкций из теплоустойчивых сталей. Состав проволоки представлен в таблице 2. Проволока позволяет выполнять сварные соединения, работающие при температуре до 570 °С. Перед сваркой проволоку следует прокалить при температуре 240 °С в течение 2 часов. После прокаливания проволока должна быть использована в течение 5 суток, в противном случае проволока должна быть прокалена повторно. Допускается не более двух повторных прокаливок сварочной проволоки. В качестве защитного газа применяется чистый углекислый газ.

Таблица 2 – Химический состав проволоки ППС-ТМВ15

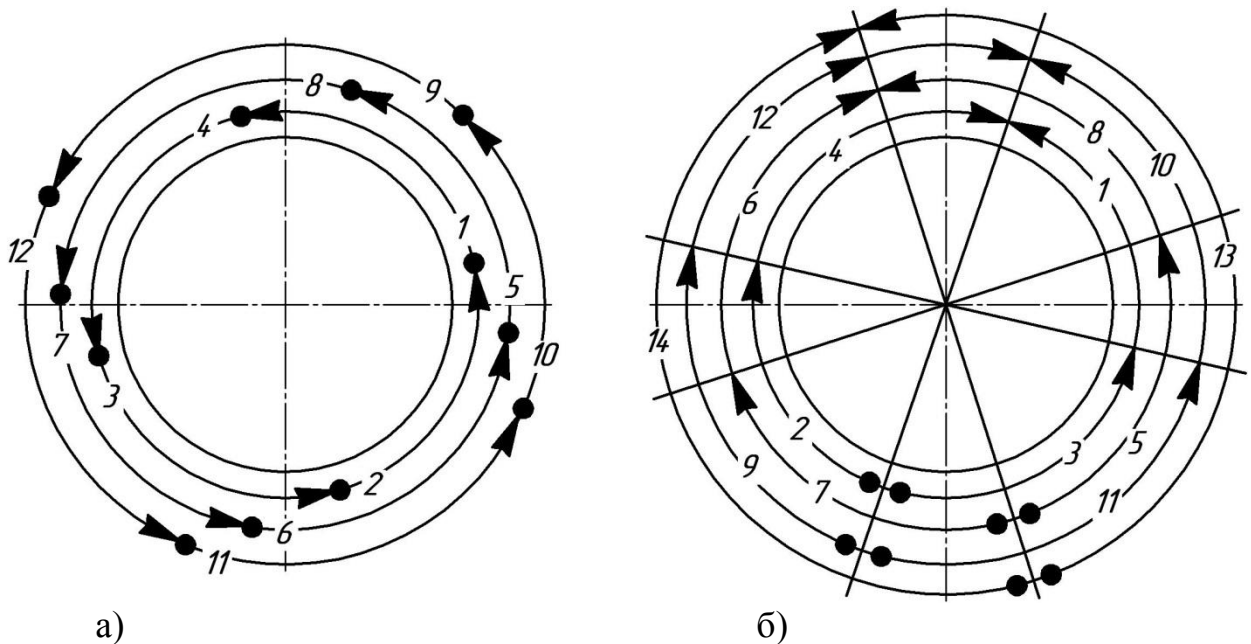
C	Mn	Si	Cr	Mo	V	S	P
≤0,1	0,5-1,0	0,06-0,3	0,7-1,2	0,4-0,7	0,15-0,3	≤0,03	≤0,03

Заполнение разделки ведут на сварочном токе 200...250 А и напряжении 20...28 В. При зажигании дуги вылет проволоки устанавливают 12...15 мм, после начала сварки вылет проволоки устанавливают 25...30 мм. Расход углекислого газа контролируют по ротаметру и поддерживают порядка 15...16 литров в минуту. Для питания сварочной дуги применяется сварочный выпрямитель ВДУ-506. Для подачи проволоки применяется полуавтомат ПДГО-510. Применяемое оборудование для питания сварочной дуги и подачи сварочной проволоки представлено на рисунке 20. Помимо источника питания и сварочного полуавтомата в состав сварочного поста необходимо включить оборудование хранения и подготовки углекислого газа, катушку со сварочной проволокой и сварочную горелку с набором шлангов и кабелей.



Рисунок 20 – Применяемое оборудование для питания сварочной дуги и подачи сварочной проволоки

На рисунке 21-а представлена схеме наложения сварочных валиков при выполнении горизонтального стыка. Сварку первых трёх слоев необходимо выполнять обратнo-ступенчатым способом с длиной свариваемого участка 200...250 мм. Сварку оставшихся слоев следует выполнять вкруговую. На рисунке 21-б представлена схема выполнения валиков при сварке вертикального стыка. Сварку ведут в направлении снизу вверх, первые три слоя выполняют обратнo-ступенчатым способом, последующие слои выполняют участками в половину окружности.



а) Рисунок 21 – Последовательность заполнения раздели при сварке неповоротного горизонтального (а) и вертикального (б) стыков

При сварке вертикального стыка следует изменять ориентацию горелки относительно трубы, как это показано на рисунке 22. Угол наклона горелки следует изменять в зависимости от положения на трубе.

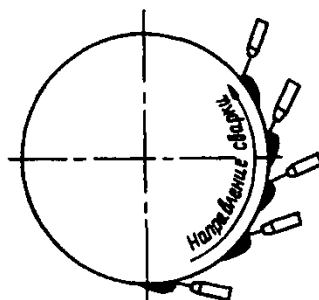


Рисунок 22 – Изменение угла наклона горелки при выполнении вертикального стыка на паропроводе

При заполнении разделки необходимо поддерживать межслойную температуру в диапазоне 300...350 °С. Положение начала и конца сварки должно быть не ближе чем 100 мм от продольного шва трубы. Расположение замка шва каждого слоя должно быть не ближе 20 мм от замка предыдущего слоя.

После заполнения разделки за 2...3 прохода выполняют облицовочный шов, при его сварке каждый валик на 1,3 толщины должен перекрывать предыдущий валик. Усиление шва по периметру межвалковой канавки должно быть не менее 1 мм.

#### Выводы по второму разделу

В ходе выполнения второго раздела настоящей выпускной квалификационной работы обоснован выбор способа сварки при построении проектной технологии сварки, составлена карта технологического процесса сварки стыка паропровода, выбрано оборудование и предложены мероприятия по повышению эффективности выбранного способа сварки, которые позволили отказаться от использования подкладного кольца.

Последующие работы будут направлены на экологическое и экономическое обоснование предлагаемых решений и доказательство эффективности их применения в реальном производстве.

### **3 Экологическое обоснование выпускной квалификационной работы**

#### **3.1 Описание рассматриваемого технического объекта**

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности сварочных работ при строительстве и ремонте паропроводов на объектах атомной энергетики. На основании анализа базовой технологии сварка стыка паропровода сформулированы её недостатки и поставлены задачи. В ходе выполнения задач в исполнительском разделе составлена проектная технология с применением комбинированного способа сварки. Сварка корневого слоя шва проходит с применением ручной луговой сварки, заполнение разделки происходит с применением механизированной сварки порошковой проволокой в защитном газе. При выполнении операций проектного технологического процесса возможно возникновение негативных производственных факторов, становящихся причиной возникновения рисков для персонала и окружающей среды. Проектный технологический процесс может быть условно разделен на семь операций, особенности выполнения которых представлены в таблице 3. Такими операциями являются входной контроль, подготовка кромок, сборка, подогрев, прихватка, сварка, контроль качества. В ходе выполнения настоящего раздела предлагается провести идентификацию опасных и вредных производственных и экологических факторов, на основании которой предложить технические средства и организационные мероприятия, позволяющие устранить их или снизить до приемлемого уровня.

На основании исходных данных, представленных в таблице 3, может быть выполнена идентификация опасных и вредных производственных факторов, которые возникают при реализации проектной технологии сборки и сварки паропровода.

Таблица 3 – Особенности выполнения операций проектного технологического процесса

Операция	Работник	Оборудование
«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» [4]	Дефектоскопист	Набор визуально-измерительного контроля, дефектоскоп, твердомер

На основании представленных в таблице 3 особенностей выполнения операций технологического процесса следует провести идентификацию опасных и вредных производственных факторов, предложить средства защиты от них. Дальнейшие работы следует направить в направлении поиска мероприятия по обеспечению пожарной и экологической безопасности рассматриваемого технологического объекта – участок для проведения сборки и сварки паропроводов на объектах атомной энергетики.

### 3.2 Идентификация негативных производственных факторов

При построении технологического процесса сварки необходимо принимать во внимание повышенную производственную опасность, которую представляет оборудование для персонала. В таблице 4 представлены результаты идентификации негативных производственных факторов, сопровождающих предлагаемую в настоящей выпускной квалификационной работе технологию сварки при строительстве и ремонте паропроводов на объектах атомной энергетики.

Таблица 4 – Идентификация негативных производственных факторов

Операция	Возникающий в ходе выполнения операции негативный фактор	Источник возникновения негативного фактора
Входной контроль	- острые кромки, заусенцы и шероховатость; - движущиеся машины и механизмы;	Измерительное оборудование
Подготовка кромок	- острые кромки, заусенцы и шероховатость; - движущиеся машины и механизмы;	Труборез, зачистное оборудование
Сборка	- острые кромки, заусенцы и шероховатость; - движущиеся машины и механизмы	Центратор наружный
Подогрев	- повышенное значение напряжения в электрической цепи; - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги;	Сварочный трансформатор, набор кабелей, контактные терморпары, теплоизоляционные маты
Прихватка	- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи; - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги; - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение	Выпрямитель сварочный, формирователь импульсов тока, зачистное оборудование
Сварка	- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги; - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение	Выпрямитель сварочный, формирователь импульсов тока, зачистное оборудование, механизм подачи проволоки, газовая аппаратура
Контроль качества	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - рентгеновское излучение - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	Аппарат рентгеновского контроля, твердомер, набор визуального контроля

Последующие работы предусматривают поиск технических средств и организационных мероприятий, направленных на снижение производственных рисков, возникающих при проектной технологии. При выборе средства защиты от негативных производственных факторов следует отдавать предпочтение стандартным решениям, хорошо зарекомендовавшим себя при организации аналогичных работ на предприятиях отрасли.

### **3.3 Снижение профессиональных рисков**

При решении вопроса о выборе средств для нейтрализации негативных производственных факторов необходимо учитывать не только действие каждого фактора по отдельности, но и совокупное действие негативных факторов. Также следует принимать во внимание возможный кумулятивный эффект от действия вредных производственных факторов, который проявляется в получении работником профессиональных заболеваний. Отечественные и зарубежные исследования показывают, что сварочные работы характеризуются выделением вредных веществ, концентрация которых в 7...10 раз превышает допустимые нормы.

В ходе оценки выделено восемь 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, радиоактивное излучение. Таблица 5 позволяет предложить стандартные технические решения и организационные мероприятия, позволяющие эффективно снижать риск от негативных производственных факторов, сопровождающих проектную технологию. Предлагаемые средства и методики не требуют проведения специальных изыскательных и проектировочных работ.



Таблица 5 – Средства и методики снижения профессиональных рисков

Негативный производственный фактор	Оборудование и мероприятия	Средства индивидуальной защиты
острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования	инструктаж персонала перед допуском к работе; предупреждающая окраска, таблички; ограждение; информационные плакаты	специальная одежда, перчатки, защитные очки
движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования	защитное отключение оборудования, ограждение, концевые выключатели на оборудовании, информационные плакаты, инструктаж персонала	специальная одежда, перчатки, защитные очки
повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	устройства местного удаления загрязненного воздуха, общеобменная вентиляция	респиратор
повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	организация и периодический контроль защитного заземления, контроль изоляции, установка устройств защитного отключения, инструктаж персонала, информационные плакаты	специальная одежда, резиновые коврики
повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	инструктаж персонала, таблички, ограждение, информационные плакаты	специальная одежда, перчатки
инфракрасное излучение в рабочей зоне	защитные экраны, ограждение	специальная одежда, перчатки, защитная маска
ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне	защитные экраны, ограждение	специальная одежда, перчатки, защитная маска
радиоактивное излучение в рабочей зоне	защитные экраны, ограждение, ограничение времени работы	специальная одежда

Дальнейшие работы следует направить в направлении обеспечения пожарной и экологической безопасности рассматриваемого технологического объекта – участка для сварки при строительстве и ремонте паропроводов на объектах атомной энергетики.

### 3.4 Обеспечение пожарной безопасности

Сварочные работы характеризуются повышенным риском возникновения пожаров. Возникновение пожара при сварке может произойти

не только по причине наличия дуги и брызг расплавленного металла, но и по причине некорректной работы термического оборудования и замыкания в электрических сетях. Для того, чтобы устранить опасность возникновения пожара и уменьшить его негативные последствия, следует провести идентификацию опасных факторов при возникновении пожара на рассматриваемом технологическом объекте, результаты которой представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Класс и опасные факторы пожара на рассматриваемом техническом объекте

Назначение технологического участка	Проведение сварочных и термических работ при строительстве и ремонте паропроводов на объектах атомной энергетики
Наименование оборудования	Источник питания, термическое оборудование, зачистное оборудование, центратор труб, комплект кабелей
Классификация по виду горящего вещества	пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Основные опасных факторы пожара	Повышенная температура; токсичные продукты и угарный газ; снижающие видимость аэрозоли; снижение концентрации кислорода в воздухе
Вторичные опасные факторы пожара	Поражение электрическим током; продукты разложения составов, используемых для тушения пожара

В соответствии с принятой классификацией возможный пожар на рассматриваемом технологическом участке может быть отнесён к классу «Е», который предполагает горение материалов в условиях действия высокого напряжения. Такой пожар характеризуется первичными и вторичными негативными факторами. Первичными факторами являются резкое повышение температуры до высоких значений, снижение концентрации кислорода в воздухе, выделение токсичных веществ при горении и термическом разложении материалов, задымление пространства и ухудшение видимости. Вторичными факторами пожара являются опасность

поражения электрическим током, опасность отравления продуктами разложения составов, которые были использованы при тушении пожара.

Технические средства, направленные на устранение негативных факторов пожаров, представлены в таблице 7. Организационные мероприятия, направленные на устранение негативных факторов пожаров, представлены в таблице 8.

Таблица 7 – Технические средства и организационные мероприятия по устранению негативных факторов пожара

«Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.
Мобильные средства пожаротушения	Специализированные расчеты (вызываются)
Стационарные установки системы пожаротушения	Нет необходимости
Средства пожарной автоматики	Установки пожарной сигнализации, пожарного оповещения
Пожарное оборудование	Пожарный кран
Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	План эвакуации
Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Ведро конусное, лом, лопата штыковая
Пожарные сигнализация, связь и оповещение» [8]	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели

Таблица 8 – Организационные мероприятия по устранению негативных факторов пожара

Наименование производственного участка	Участок ремонтной наплавки колес вагонеток
Организационные мероприятия	Проведение инструктажа по обеспечению пожарной безопасности, проведение деловых и ролевых игр с сотрудниками предприятия по тематике противопожарных работ, соблюдение производственной дисциплины, запрет курения в неположенных местах, организация общественного контроля за противопожарной обстановкой
Требования к производственному участку	Наличие информационных, мотивирующих и предупреждающих плакатов, установка экранов от пролёта брызг и искр, наличие на участке первичных средств пожаротушения

Поддержание пожарной безопасности предприятия предполагает комплекс мероприятий по предотвращению, обнаружению, первичному тушению пожаров и эвакуации персонала. Для предотвращения возникновения пожара необходимо поддерживать трудовую и производственную дисциплину. Для обнаружения пожаров следует проводить инструктаж с персоналом на предмет раннего обнаружения мест возгорания по первичным признакам. Для первичного тушения пожара необходимо проводить инструктаж персонала и обучение владению средствами тушения. Для эвакуации персонала необходимо проводить инструктаж и учебные мероприятия. Производственный участок должен быть снабжен речевыми, световыми и звуковыми оповещателями, которые обеспечат своевременное информирование персонала в случае возникновения внештатных ситуаций.

### **3.5 Вопросы обеспечения экологической безопасности**

К современному предприятию предъявляются серьёзные требования по обеспечению экологической безопасности технологических процессов. Следование мировой экологической повестке заставляет проводить мероприятия по снижению вредных воздействий на окружающую среду. Особенности отрицательного влияния проектной технологии на атмосферу, гидросферу и литосферу представлены в таблице 9. Для нейтрализации отрицательного антропогенного воздействия на окружающую среду применяются технические средства и методики, представленные в таблице 10. Особо следует отметить комплекс мероприятий, направленных на селективный сбор отходов и промышленного мусора. Проведение таких мероприятий позволяет не только проявить ответственное отношение к окружающей среде, но и получить существенную экономию за счёт эффективного рециклинга.

Таблица 9 – Негативные антропогенные факторы на окружающую среду при реализации проектной технологии сварки паропровода

Наименование анализируемого технологического процесса	Проведение сварочных работ при строительстве и ремонте паропроводов на объектах атомной энергетики
Наименование операций технологического процесса, в ходе которых возникает негативное антропогенное воздействие	Подготовка кромок, сборка, термическая обработка, прихватка, сварка замедленное охлаждение, контроль качества
Факторы негативного воздействия на атмосферу	Сварочные аэрозоли, частицы сажи
Факторы негативного воздействия на гидросферу	Пролитое машинное масло, попадающее в грунтовые воды
Факторы негативного воздействия на литосферу	Пролитое на землю машинное масло, загрязнение площадей упаковочным материалом, бытовым и производственным мусором

Таблица 15 – Организационные мероприятия и технические средства для снижения отрицательного воздействия на окружающую среду

Наименование технического объекта	Проведение сварочных работ при строительстве и ремонте паропроводов на объектах атомной энергетики
Мероприятия по исключению негативного действия на воздушную среду.	Оснащение вентиляционной системы фильтрами, позволяющими выполнить сбор и утилизацию выделяющихся при горении дуги вредных продуктов
Мероприятия по исключению негативного действия на водную среду.	Контроль утечек в гидросистеме приспособления или кантователя и незамедлительное их устранение.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Установка на участке сварки соответствующих емкостей для сбора отходов производственного цикла и при проведении повторных инструктажей подробное разъяснение необходимости складирования отходов производственного цикла в установленные емкости.

На основании представленных в настоящем разделе материалов следует сделать вывод о возможности эффективного снижения действия негативных производственных и экологических факторов, сопровождающих внедрение проектной технологии. Исходя из этого решения могут быть рекомендованы для внедрения в реальное производство.

## **4 Экономическое обоснование предлагаемых решений**

### **4.1 Исходная информация для выполнения экономического обоснования**

В выпускной квалификационной работе рассматривался вопрос повышения эффективности сварочных технологий при строительстве и ремонте паропроводов на объектах атомной энергетики.

Главным недостатком базовой технологии сварки является низкая производительность процесса, которая обусловлена применением ручной дуговой сварки. Также следует указать на высокий уровень дефектности соединений. Применение подкладного кольца снижает эксплуатационные свойства паропровода и повышает риск возникновения на нём аварии. В ходе выполнения исполнительского раздела настоящей выпускной квалификационной работы обоснован выбор способа сварки при построении проектной технологии сварки, составлена карта технологического процесса сварки стыка паропровода, выбрано оборудование и предложены мероприятия по повышению эффективности выбранного способа сварки, которые позволили отказаться от использования подкладного кольца. Сварка корневого слоя шва проходит с применением ручной дуговой сварки, заполнение разделки происходит с применением механизированной сварки порошковой проволокой в защитном газе.

Предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе решения позволяют повысить производительность и качество проведения сварочных работ. Однако для принятия решения о целесообразности внедрения результатов в производство следует провести экономические расчёт по обоснованию получаемого эффекта. Исходные данные для расчётов представлены в таблице 16 и составлены на основании аналитического и исполнительского разделов настоящей выпускной квалификационной работы.

Таблица 16 – Исходные данные для экономического обоснования

Экономический показатель	Обозначение показателя	Единица измерения	Значение экономического показателя	
			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	$C_{об}$	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	$C_{э-э}$	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	$C_{пл}$	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» [19]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

Экономическое обоснование предлагаемых решений предусматривает выполнение расчётов основных экономических показателей проектной и базовой технологий с учётом технологической, цеховой и заводской себестоимости.

## 4.2 Расчёт фонда времени

Выполнение операций технологического процесса, как в проектном, так и в базовом варианте, предусматривает работу оборудования, которая происходит в течение заданного промежутка времени. Дальнейшие экономические расчёты по определению себестоимости производства и других экономических показателей предприятия основаны на величине годовой программы и количества единиц оборудования, которые, в свою очередь, вычисляются в зависимости от общего фонда времени работы оборудования. Объём общего фонда времени работы оборудования зависит от количества рабочих дней в календарном году, которое принимается  $D_p=277$ . Еще одной компонентой для расчётов является продолжительность рабочей смены, которая принимается  $T_{см}=8$  часов. Количество рабочих смен на предприятии принимается равным  $K_{см}=2$ . В предпраздничные дни происходит уменьшение продолжительности рабочей смены на величину  $T_{п}=1$  час. Количество предпраздничных дней принимается равным  $D_{п}=7$  дней. С использованием исходных параметров производит расчёт годового фонда времени работу оборудования по формуле:

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

После подстановки в формулу (1) исходных значений годовой фонд времени работы оборудования будет равен:  $F_H = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 2 = 4418$  часов. Для определения эффективного фонда времени работы оборудования следует необходимо учесть возможные потери в размере  $B=7\%$  по формуле:

$$F_э = F_H(1-B/100). \quad (2)$$

После подстановки в формулу (2) исходных значений эффективный фонд времени работы оборудования составляет :  $F_э = 4418 \cdot (1 - 7/100) = 4108$  часов. Эта величина будет в дальнейшем использована для проведения дальнейших экономических расчётов.



### 4.3 Штучное время по базовому и проектному вариантам технологии

Расчёт годовой программы и себестоимости производства требует определения штучного времени, которое требуется на выполнение технологических операций согласно базового и проектного вариантов технологии. «В состав штучного времени  $t_{шт}$  входят пять слагаемых. Первым слагаемым является машинное время  $t_{маш}$ , которое затрачивается на выполнение основных операций технологического процесса. Вторым слагаемым является вспомогательное время  $t_{всп}$ , которое затрачивается на выполнение вспомогательных и подготовительных операций» [20]. Третьим слагаемым является время отдыха  $t_{отд}$ . Четвертым слагаемым является подготовительно-заключительное время  $t_{п-з}$ . Пятым слагаемым является время обслуживания  $t_{обсл}$ , которое расходуется на проведение мелкого ремонта и обслуживание технологического оборудования. Таким образом, штучное время вычисляется как:

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

После подстановки в формулу (3) исходных значений по базовому и проектному вариантам технологии, взятых и аналитического и исполнительского разделов выпускной работы, получены следующие значения штучного времени:  $t_{шт.баз} = 4,0 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 4,84$  часа и  $t_{шт.проектн.} = 1,7 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 2,06$  часа. Объём годовой программы  $P_{г}$  зависит от объёма эффективного годового фонда времени работы оборудования  $F_{э}$  и штучного времени  $t_{шт}$  по базовому и проектному вариантам технологии:

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

После подстановки в (4) исходных значений для рассматриваемых вариантов  $P_{г.баз.} = 4108/4,84 = 848$  и  $P_{г.пр.} = 4108/2,06 = 1994$ . С учётом потребности отрасли принимаем  $P_{г}=400$  для обоих вариантов технологии.

Расчёт количества технологического оборудования, применяемого для выполнения операций проектного и базового вариантов технологии, выполняется с учётом годовой программы, штучного времени  $t_{шт}$ , эффективного фонда времени  $F_э$  и коэффициента выполнения нормы, значение которого принимается равным  $K_{вн} = 1,03$ :

$$n_{расч} = t_{шт} \cdot П_Г / (F_э \cdot K_{вн}). \quad (5)$$

После подстановки в формулу (5) исходных значений, получаем для базового вариантов технологии количество применяемого оборудования  $n_{расч} = 4,84 \cdot 400 / (4108 \cdot 1,03) = 0,46$  и для проектного варианта количество применяемого оборудования  $n_{расч} = 2,06 \cdot 400 / (4108 \cdot 1,03) = 0,20$ .

При выполнении операций технологического процесса для дальнейших расчётов примем ближайшее большее целое значение  $n=1$  для базового варианта технологии и  $n=1$  для проектного варианта технологии.

Далее проведем расчёт коэффициента загрузки технологического оборудования  $K_з$  для обоих вариантов технологии:

$$K_з = n_{расч} / n. \quad (6)$$

При подстановке в формулу (6) исходных значений для базового варианта технологии получено  $K_з = 0,46/1 = 0,46$ ; для проектного варианта технологии получено  $K_з = 0,20/1 = 0,20$ .

Таким образом, для последующего экономического расчёта по обоснованию предлагаемых технических и организационных решений получены исходные значения эффективного годового фонда времени работы оборудования, штучного времени, количества оборудования, годовой программы и коэффициента загрузки оборудования.

Расчёт изменяющихся экономических показателей выполним по технологической, цеховой и заводской себестоимости проведения работ с учётом капитальных затрат на проведение технологического процесса по базовому варианту и проектному варианту.

#### 4.4 Технологическая, цеховая и заводская себестоимости по вариантам технологии

Проведение работ по сварке и наплавке требует расходования материалов. При выполнении технологического процесса по базовому варианту в качестве расходуемых материалов выступают штучные электроды. При выполнении технологического процесса по проектному варианту в качестве расходуемых материалов выступает защитный газ и сварочная проволока. Расчёт затрат на материалы  $M$  выполняется по рыночной цене материалов  $C_M$ , с учётом коэффициента транспортно-заготовительных расходов  $K_{ТЗ}$  и нормы расходов материалов  $H_p$ :

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

На основании данных аналитического и исполнительского разделов настоящей выпускной квалификационной работы с использованием формулы (7) получены значения расхода на материалы по базовому варианту технологии  $M=(600 \cdot 1,7 + 250) \cdot 1,05 = 1333$  рублей; расход на материалы по проектному варианту технологии  $M=(250 \cdot 1,4 + 110 \cdot 12) \cdot 1,05 = 1670$  рублей.

Для вычисления объема фонда заработной платы потребуется величина штучного времени  $t_{шт}$ , коэффициента доплат  $K_d$  и часовой тарифной ставки  $C_ч$ . Для рассматриваемого варианта технологического процесса величина коэффициента доплат принимается равной  $K_d = 1,88$ . Для расчёта основной заработной платы применим формулу:

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

После подстановки в (8) исходных значений расчётная величина фонда основной заработной платы составляет для базового варианта технологического процесса  $Z_{осн} = 4,84 \cdot 200 \cdot 1,88 = 1742,40$  рублей и для проектного варианта технологического процесса  $Z_{осн} = 2,06 \cdot 200 \cdot 1,88 = 774,56$  рублей.

Объема фонда дополнительной заработной платы определяется исходя из объемов основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  и коэффициента доплат, величин которого принимается равной  $K_{\text{доп}} = 12\%$ . Таким образом, расчёт дополнительной заработной платы проводится по формуле:

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

«При подстановке данных в формулу (9) дополнительная заработная плата по базовому варианту технологии составляет  $Z_{\text{доп}} = 1742,40 \cdot 12 / 100 = 209,09$  рублей и по проектному варианту технологии  $Z_{\text{доп}} = 774,56 \cdot 12 / 100 = 92,95$  рублей.

Фонд заработной платы ФЗП представляет сумму дополнительной  $Z_{\text{доп}}$  и основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$ . Для базового варианта технологии фонд заработной платы рассчитывается как  $\text{ФЗП} = 1742,40 + 209,09 = 1951,49$  рублей. Для проектного варианта технологии фонд заработной платы рассчитывается как  $\text{ФЗП} = 774,56 + 92,95 = 867,51$  рублей.

Далее необходимо провести расчёт отчислений на социальные нужды  $O_{\text{сн}}$ , задавшись значением коэффициента отчислений  $K_{\text{сн}} = 34\%$ . Величина отчислений на социальные составляет по формуле» [20]:

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

После подстановки данных в (10) для базового варианта технологического процесса отчисления на социальные нужды составили значение  $O_{\text{сн}} = 1951,49 \cdot 30 / 100 = 663,51$  рублей. Отчисления на социальные нужды для проектного варианта составили  $O_{\text{сн}} = 867,51 \cdot 30 / 100 = 294,95$  рублей.

Затраты на оборудование  $Z_{\text{об}}$  по базовому и проектному вариантам технологического процесса определяются как сумма амортизационных отчислений  $A_{\text{об}}$  и затрат на электрическую энергию  $P_{\text{э}}$  по формуле:

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

Расчёт величины амортизационных отчислений  $A_{об}$  выполняется с учётом цены оборудования  $C_{об}$ , нормы амортизации  $H_a$ , значение которой принимается  $H_a = 21,5 \%$ , машинного времени  $t_{маш}$ , эффективного фонда времени  $F_3$ :

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

После подстановки в формулу (12) исходных значений по базовому и проектному вариантам технологии расчётная величина  $A_{об}$  составила для базовой технологии  $A_{об} = 540000 \cdot 21,5 \cdot 4 / 4108 / 100 = 113,3$  рубля и для проектной технологии  $A_{об} = 1300000 \cdot 21,5 \cdot 1,7 / 4108 / 100 = 116,3$  рубля.

Затраты на электрическую энергию, расходуемую на выполнение операций проектного и базового технологического процесса, определяются исходя из машинного времени  $t_{маш}$ , мощности оборудования  $M_{уст}$ , стоимости электрической энергии  $C_{э}$  и коэффициента полезного действия КПД:

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

После подстановки значений в формулу (13) расходы на электрическую энергию по базовому варианту составляют  $P_{э} = 4 \cdot 4 \cdot 3,4 / 0,7 = 40$  рублей. Расходы на электрическую энергию по проектному варианту составляют  $P_{э} = 8 \cdot 1,7 \cdot 3,4 / 0,85 = 28$  рублей.

После подстановки значений в формулу (11) величина затрат на оборудование по базовому варианту составила  $Z_{об} = 113,3 + 40,00 = 153$  рублей. Затраты по проектному варианту  $Z_{об} = 116,3 + 28,00 = 144$  рублей.

«Технологическая себестоимость  $C_{тех}$  рассчитывается по величине затрат на материалы  $M$ , фонда заработной платы ФЗП, затрат на площади  $Z_{пл}$ , отчислений на социальные нужды  $O_{сн}$  и затрат на оборудование  $Z_{об}$ . Величина  $C_{тех}$  определяется по формуле» [20]:

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

При подстановке в формулу (14) значений размер технологической себестоимости для базового варианта с учётом полученных данных составил

$C_{\text{тех}} = 1333 + 1951 + 664 + 153 = 4101$  рублей, для проектного варианта технологии  $C_{\text{тех}} = 1670 + 868 + 295 + 144 = 2977$  рублей.

Для вычисления значения цеховой себестоимости  $C_{\text{цех}}$  необходимо значение технологической себестоимости  $C_{\text{тех}}$ , основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  и коэффициента цеховых расходов  $K_{\text{цех}}$ . Расчёт ведётся по формуле:

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

При подстановке значений в формулу (15) для базового варианта технологии размер цеховой себестоимости с учётом ранее определённых значений составляет  $C_{\text{цех}} = 4101 + 1,5 \cdot 1742,40 = 4101 + 2614 = 6715$  рублей. Для проектного варианта технологии величина цеховой себестоимости составила  $C_{\text{цех}} = 2977 + 1,5 \cdot 774,56 = 2977 + 1162 = 4139$  рублей.

Для вычисления заводской себестоимости  $C_{\text{зав}}$  необходимо значение цеховой себестоимости  $C_{\text{цех}}$ , основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  и коэффициента заводских расходов  $K_{\text{зав}}$ . Расчёт ведётся по формуле:

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

При подстановке значений в формулу (16) для базового варианта технологии размер цеховой себестоимости с учётом ранее определённых значений составляет  $C_{\text{зав}} = 6715 + 1,15 \cdot 1742,40 = 6715 + 2004 = 8719$  рублей. Для проектного варианта технологии  $C_{\text{цех}} = 4139 + 1,15 \cdot 774,56 = 4139 + 891 = 5030$  рублей. Таким образом, для последующего экономического расчёта по обоснованию предлагаемых технических и организационных решений получены исходные значения эффективного годового фонда времени работы оборудования, штучного времени, количества оборудования, годовой программы и коэффициента загрузки оборудования. Расчёт изменяющихся экономических показателей выполним по технологической, цеховой и заводской себестоимости проведения работ с учётом капитальных затрат на проведение технологического процесса по базовому варианту и проектному варианту.

#### 4.5 Расчёт капитальных затрат по проектной и базовой технологии

Первоначально проведем расчёт капитальных затрат по базовому варианту технологического процесса. Остаточная стоимость оборудования  $\Pi_{об.б.}$  может быть рассчитана по рыночной стоимости нового оборудования  $\Pi_{перв.}$ , нормы амортизационных отчислений  $N_a$  и срока эксплуатации оборудования  $T_{сл}$  по формуле:

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

После подстановки в формулу (17) известных значений может быть рассчитана остаточной стоимости оборудования, которое было задействовано для реализации операций базового технологического процесса  $\Pi_{об.б.} = 540000 - (540000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 191700$  рублей.

Размер капитальных затрат по базовому варианту технологии рассчитывается с учётом остаточной стоимости оборудования  $\Pi_{об.б.}$  и коэффициента загрузки оборудования  $K_3$  по базовому варианту технологии:

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

После подстановки в формулу (18) известных значений величина капитальных затрат по базовому варианту  $K_{общ.б.} = 1 \cdot 191700 \cdot 0,46 = 88000$  рублей.

Для расчёта капитальных затрат по проектному варианту технологии  $K_{общ.пр.}$  необходимо задаться капитальными затратами на оборудование  $K_{об.пр.}$ , капитальными затратами на площади  $K_{пл.пр.}$  и сопутствующими расходами  $P_{соп.}$ . Таким образом, расчёт капитальных затрат происходит по формуле:

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

Капитальные затраты на оборудование будут рассчитаны с учётом цены оборудования для выполнения операций проектного технологического

процесса  $\Pi_{об. пр.}$ , коэффициента загрузки оборудования  $K_3$  и коэффициента транспортно-заготовительных расходов  $K_{ТЗ}=1,05$ :

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

После подстановки в формулу (20) значений расчётная величина капитальных затрат на оборудование по проектному варианту составила  $K_{об. пр.} = 1300000 \cdot 1,05 \cdot 0,20 = 273000$  рублей.

Сопутствующие затраты  $K_{соп}$  при внедрении проектной технологии в производство определяются как сумма затрат на демонтаж старого оборудования  $P_{дем}$  и затрат на монтаж нового оборудования  $P_{монт}$ . Затраты на демонтаж старого оборудования определяются по его остаточной стоимости  $\Pi_{об. б.}$  через коэффициент расходов на демонтаж  $K_{дем} = 0,05$ :

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

После подстановки в формулу (21) значений величина расходов на демонтаж составила  $P_{дем} = 540000 \cdot 0,05 = 27000$  рублей.

Величина расходов на монтаж нового оборудования определяется по его рыночной стоимости  $\Pi_{об. пр.}$  и коэффициента расходов на монтаж  $K_{монт} = 0,05$ :

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

После подстановки в формулу (22) значений величина расходов на монтаж составила  $P_{монт} = 1300000 \cdot 0,05 = 65000$  рублей.

Размер сопутствующих расходов определяется как сумма расходов на демонтаж  $P_{дем}$  и расходов на монтаж  $P_{монт}$  по формуле:

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

После подстановки значений в формулу (23) размер сопутствующих расходов составил  $P_{соп} = 27000 + 65000 = 92000$  рублей.



Общие капитальные затраты  $K_{\text{общ. пр.}}$ , рассчитываемые по формуле (19), составили  $K_{\text{общ. пр.}} = 27000 + 92000 = 119000$  рублей.

Расчёт дополнительных капитальных вложений  $K_{\text{доп}}$  выполняется как разность капитальных затрат по проектному  $K_{\text{общ.пр}}$  и базовому  $K_{\text{общ.б}}$  вариантам технологии:

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

При подстановке в формулу (24) известных значений дополнительные капитальные вложения составили  $K_{\text{доп}} = 119000 - 88000 = 31000$  рублей.

Удельные капитальные вложения вычисляем с учётом годовой программы  $\Pi_{\Gamma}$  по формуле:

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

При подстановке в формулу (25) известных значений размер удельных капитальных вложений при построении технологического процесса по базовому варианту составил  $K_{\text{уд}} = 88000/400 = 220$  рублей. Размер удельных капитальных вложений при построении технологического процесса по проектному варианту составил  $K_{\text{уд}} = 119000 / 400 = 300$  рублей.

Таким образом, были рассчитаны все необходимые исходные данные для определения основных показателей эффективности проектной технологии.

#### **4.6 Показатели эффективности предлагаемых решений**

Основными показателями, определяющими эффективность предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решения, являются снижение трудоемкости  $\Delta t_{\text{шт}}$ , повышение производительности труда  $\Pi_{\Gamma}$ , снижение технологической себестоимости  $\Delta C_{\text{тех}}$ , условная годовая экономия  $\mathcal{E}_{\text{уг}}$ , срок окупаемости капитальных вложений  $T_{\text{ок}}$  и годовой экономический эффект  $\mathcal{E}_{\Gamma}$ .

Величину снижения трудоемкости  $\Delta t_{шт}$  определим по штучному времени проектной  $t_{шт пр}$  и базовой  $t_{шт.б}$  технологии по формуле:

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

«При подстановке значений в формулу (26) рассчитываем величину снижения трудоемкости  $\Delta t_{шт} = (4,84 - 2,06) \cdot 100 \% / 4,84 = 57 \%$ .

Повышение производительности труда  $\Pi_T$  рассчитывается исходя из ранее определённого значения снижения трудоёмкости  $\Delta t_{шт}$  по формуле:

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

При подстановке значений в формулу (27) рассчитываемая величина повышения производительности труда составляет  $\Pi_T = 100 \cdot 57 / (100 - 57) = 133 \%$ .

Размер снижения технологической себестоимости  $\Delta C_{тех}$  рассчитывается по ранее определённым значениям технологической себестоимости в проектном  $C_{тех.пр.}$  и базовом  $C_{тех.б.}$  вариантах технологии по формуле:

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

При подстановке значений в формулу (28) снижение технологической себестоимости составляет» [20]  $\Delta C_{тех} = (4101 - 2977) \cdot 100\% / 4101 = 28 \%$ .

Величина условно-годовой экономии рассчитывается исходя из заводской себестоимости по проектному  $C_{зав.пр}$  и базовому  $C_{зав.б}$  вариантам технологии по формуле:

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

При подстановке в формулу (29) ранее определённых значений величина условно-годовой экономии  $\mathcal{E}_{уг} = (8719 - 5030) \cdot 400 = 1475600$  рублей.

Расчёт срока окупаемости предлагаемый в настоящей выпускной квалификационной работе решений выполняется по формуле:

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

При подстановке в формулу (30) значений расчётная величина срока окупаемости составляет  $T_{ок} = 119000 / 1475600 = 0,2$  года.

Годовой экономический эффект  $\mathcal{E}_г$  рассчитывается с учётом условно-годовой экономии  $\mathcal{E}_{уг}$ , дополнительных капитальных вложений  $K_{доп}$  и коэффициента окупаемости  $E_n$  по формуле:

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

При подстановке в формулу (31) известных значений величина годового экономического эффекта  $\mathcal{E}_г = 1475600 - 0,33 \cdot 31000 = 1,46$  млн. рублей.

#### Выводы по экономическому разделу

В настоящем разделе выпускной квалификационной работе выполнен расчёт основных экономических показателей производства при осуществлении базового варианта технологического процесса и проектного варианта технологического процесса. Установлено, что внедрение в производство предлагаемых решений позволяет снизить трудоемкость на величину  $\Delta t_{шт} = 57 \%$  и повысить производительность труда на  $\Pi_r = 133 \%$ . Внедрение прогрессивных технологий позволяет более эффективно расходовать трудовые, материальные и энергетические ресурсы предприятия, что позволяет снизить технологическую себестоимость на величину  $\Delta C_{тех} = 28 \%$ . При этом условно-годовая экономия составляет  $\mathcal{E}_{уг} = 1,475$  млн. рублей. С учётом капитальных вложений окупаемость предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений составляет  $T_{ок} = 0,2$  года. Годовой экономический эффект с учётом капитальных вложений составляет  $\mathcal{E}_г = 1,46$  млн. рублей. На основании проведенных экономических расчётов следует сделать вывод о высокой экономической эффективности предлагаемых решений. Таким образом, разработанная технология рекомендуется к внедрению на современном промышленном производстве.

## Заключение

В выпускной квалификационной работе рассматривался вопрос повышения эффективности сварочных технологий при строительстве и ремонте паропроводов на объектах атомной энергетики.

В ходе выполнения аналитического раздела проведен анализ конструкции паропровода и свойств его материала. Рассмотрена базовая технология сварки стыка, которая предусматривает применение ручной дуговой сварки и подкладного кольца.

Главным недостатком базовой технологии сварки является низкая производительность процесса, которая обусловлена применением ручной дуговой сварки. Также следует указать на высокий уровень дефектности соединений. Применение подкладного кольца снижает эксплуатационные свойства паропровода и повышает риск возникновения на нём аварии.

В ходе выполнения исполнительского раздела настоящей выпускной квалификационной работы обоснован выбор способа сварки при построении проектной технологии сварки, составлена карта технологического процесса сварки стыка паропровода, выбрано оборудование и предложены мероприятия по повышению эффективности выбранного способа сварки, которые позволили отказаться от использования подкладного кольца.

Проведена оценка предлагаемых технических решений на предмет обеспечения экологической безопасности. Предложены организационные мероприятия по защите окружающей среды от возникающих при реализации проектной технологии негативных антропогенных факторов.

Внедрение прогрессивных технологий позволяет более эффективно расходовать трудовые, материальные и энергетические ресурсы предприятия, что позволяет снизить технологическую себестоимость на величину 28 %. Годовой экономический эффект с учётом капитальных вложений составляет 0,146 млн. рублей.

Поставленная цель может считаться достигнутой.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Алешин Н. П., Гладков Э. А., Бродягин В. Н. Импульсные технологии управления каплепереносом при MIG/MAG сварке // Сварка и диагностика. 2014. № 3. С. 43–47.
2. Аракадов Г. В. Ресурс и надёжность оборудования и трубопроводов АЭС : учебное пособие. Севастополь : СНУЯЭиП, 2012. 348 с.
3. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
4. Березин В. Л., Суворов А. Ф. Сварка трубопроводов и конструкций. М. : Недра, 1976. 359 с.
5. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. М. : машиностроение, 1984. 274 с.
6. Гетман А. Ф. Ресурс эксплуатации сосудов и трубопроводов АЭС. М. : Энергоатомиздат, 2000. 427 с.
7. Глазьев С. Ю. Условия и стратегия экономической мобилизации в системе воспроизводства российской государственности // Менеджмент и бизнес-планирование. 2018. № 2. С. 40-78.
8. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
9. Гриненко В. И., Рощин В. В., Хаванов В. А. К вопросу об автоматизации сварки монтажных стыков трубопроводов атомных электростанций // Технология машиностроения. 2008. № 8. С. 48–51.
10. Гульятяева М. А., Белорусова И. А., Ожигов В. О. Мобилизационная экономика / Economy and Business: Theory and Practice. 2022. № 12. С. 106–114.
11. Дмитрик В. В., Царюк А.К., Бугаец А.А. Оценка остаточного ресурса сварных соединений трубопроводов ТЭС // Автоматическая сварка. 2006. № 2. С. 7–11.

12. Доронин Ю. В., Подрезов Н. Н. Необходимость формализации понятия свариваемости в производстве изделий АЭС // Глобальная ядерная безопасность. 2014. № 3. С. 26–30.

13. 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.

14. Канцдалов В. Г., Берлявский Г. П. Растущая экономика России в условиях традиционной и альтернативной энергетики // Альтернативная энергетика и экология. 2006. № 8. С. 103–112.

15. 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.

16. 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.

17. Крампит А. Г. Влияние параметров импульсов сварочного тока на формирование сварного шва // Сварка и диагностика. 2013. № 2. С. 11–13.

18. 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.

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

20. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.

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

22. Ленивкин В. А., Рогозин Д. В. Исследование проблем импульсно-дуговой-сварки на кафедре «Машины и автоматизация сварочного производства» РИСХМа – ДГТУ // Вестник ДГТУ. 2020. № 1. С. 25–35.

23. 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.

24. 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.

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

26. 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.

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

28. 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.

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

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

31. Патент № 2268809 РФ, МПК В23К9/095. Способ электродуговой сварки плавящимся электродом с импульсной модуляцией тока /

Князков А. Ф., Князьков С. А., Князьков В. Л. Заявл. 0.08.2004; опубл. 27.01.2006, Бюл. № 3. 10 с.

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

33. Семенов В. К., Беляков А. А. Щербнев В. С. Прогнозирование накопления дефектов на трубопроводах ТЭС и АЭС // Вестник ИГЭУ. 2009. № 2. С. 11–14.

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

35. Солодский С. А. Разработка автоматизированной системы для сварки в CO<sub>2</sub> с импульсной подаче сварочной проволоки и модуляцией сварочного тока: Автореф. дис. канд. техн. наук. Челябинск, 2010. 20 с.

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

37. Федько В. Т., Брунов О. Г. Солодский С. А. Методы борьбы с разбрызгиванием при сварке в CO<sub>2</sub> // Технология машиностроения. 2005. №5 С. 24–30.

38. Федько В. Т., Брунов О. Г., Соколов П. Д. Сварка с импульсной подачей сварочной проволоки как частный случай импульсно-дуговой сварки // Сварочное производство. 2006. №7. С. 6–8.

39. Хромченко Ф. А., Израилев Ю. Л. Живучесть паропроводов стареющих тепловых установок. М. : Изд-во «ТОРСУС ПРЕСС», 2002. 214 с.

40. 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.

41. 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.



42. 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.

43. Zinkle S. J., Was G. S. Materials challenges in nuclear energy // Acta Materials. 2013. № 3. P. 135–142.