

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование)

15.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Современные технологические процессы изготовления деталей

в машиностроении»

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технология ремонтной сварки технологических трубопроводов
нефтеперерабатывающих предприятий

Обучающийся

А.Э. Юнусов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.Э. Советкин

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

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярова

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

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

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

Тольятти 2025

Аннотация

Работа направлена на повышение эффективности организаций, выполняющих строительство и ремонт технологических трубопроводов. В качестве типового объекта рассматривался трубопровод из нержавеющей стали нефтеперерабатывающего предприятия, базовый процесс сварки которого предусматривает применение ручной дуговой сварки, применительно к которой в работе сформулирован ряд критических недостатков, обосновывающих необходимость замены способа для построения проектной технологии. Проведенная экспертиза возможных способов сварки на предмет эффективности их применения на рассматриваемом объекте позволила обосновать построение проектной технологии с использованием механизированной сварки в защитных газах, для расширения технологических возможностей которой на основании литературного обзора в области управления сварочными процессами предложен комплекс мероприятий, обеспечивающих получение при сварке режима управляемого переноса электродного металла с использованием стандартных источников тока. В оценочных разделах выполнена идентификация негативных производственных факторов и предложены меры по их устранению. Также в оценочном разделе проведен сравнительный анализ экономических показателей базового и проектного технологического процесса ремонтной сварки, на основании которого сделан вывод об экономической целесообразности внедрения в производство предлагаемых технологических решений. В заключении сформулированы выводы по выпускной квалификационной работе, показано достижение поставленной цели и направления дальнейших исследований.

Содержание

Введение	5
1 Анализ исходных данных и известных решений по направлению выпускной квалификационной работы.	7
1.1 Описание рассматриваемого в выпускной квалификационной работе трубопровода.	7
1.2 Сведения о материале рассматриваемого технологического трубопровода.	11
1.3 Особенности выполнения операций базового технологического процесса сварки.	13
1.4 Предварительный обзор источников научно-технической информации.	18
1.5 Формулировка задач на выполнение выпускной квалификационной работы.	20
2 Построение проектной технологии сварки рассматриваемого трубопровода	22
2.1 Обоснование выбора способа сварки для построения проектной технологии сварки	22
2.2 Повышение эффективности и расширение технологических возможностей сварки в защитных газах на основании достижений в области управления сварочными процессами.	29
2.3 Особенности сварочных операций проектного технологического процесса.	34
3 Промышленная безопасность производственного участка.	37
3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи	37
3.2 Идентификация негативных производственных факторов.	38
3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов.	40
3.4 Пожарная безопасность производственного участка	42

3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка.	44
4 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений.	46
4.1 Исходные данные для экономического расчёта.	46
4.2 Фонд времени работы оборудования.	48
4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства. .	49
4.4 Заводская себестоимость.	51
4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам.	56
4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей.	58
Заключение	60
Список используемой литературы и используемых источников.	62

Введение

Одним из самых металлоемких элементов предприятий нефтепереработки является технологический трубопровод, суммарная длина которого на предприятии может составлять несколько десятков километров. В настоящее время для изготовления технологических трубопроводов все большее распространение получают трубы из аустенитной нержавеющей стали, применение такого материала позволяет существенно продлить срок службы трубопровода, увеличить нагрузку на него и подключать дополнительные мощности, что, в конечном итоге, положительно сказывается на экономических показателях предприятия [5]. Строительство и ремонт технологических трубопроводов предусматривает значительную роль сварочных процессов, качество выполнения которых определяет безопасность дальнейшей эксплуатации всей конструкции [20]. В процессе длительной эксплуатации трубопроводов из нержавеющей сталей проявляет себя с отрицательной стороны неравномерность химического состава основного металла трубы и сварного шва, что выражается в повышении скорости коррозионного разрушения в области сварки по сравнению с коррозионным разрушением стенки трубы. Соединения, полученные с применением ручной дуговой сварки покрытыми электродами (например, ЦЛ-11), характеризуются скоростью протекания коррозионных процессов в несколько раз большей, чем скорость коррозионных процессов основного металла трубы [26]. Повышение скорости коррозии в области сварных швов наблюдается при перекачивании по трубопроводу агрессивных сред щелочного характера или с высоким содержанием хлоридов. При этом следует принимать во внимание, что первоначально коррозионные разрушения трубопроводов никак себя не проявляют, но в сочетании с силовыми воздействиями на трубопровод имеют тенденцию к росту и могут привести к аварийному разрушению всей конструкции. В связи с этим на предприятиях химической и нефтяной промышленности проходит периодический мониторинг состояния

технологических трубопроводов и исправление дефектов. Большинство обнаруживаемых дефектов устраняется путем замены дефектной части трубопровода на новый трубопровод-вставку, «что позволяет избежать установки на трубопроводе временных ремонтных конструкций. При этом основная роль в обеспечении требуемого ресурса после проведения ремонта трубопровода принадлежит сварочным процессам» [3], [23].

«При выполнении ремонта технологических трубопроводов в основном применяется ручная дуговая сварка, которая характеризуется высокой универсальностью и возможностью выполнять сварные соединения в монтажных условиях» [18]. Однако, как отмечено аналитиками, в построении сварочных технологий роль ручной дуговой сварки уменьшается в пользу механизированных и автоматизированных способов, эти процессы наблюдаются как на мировом рынке сварочных технологий, так и на российском рынке [18], [19], [29].

На основании вышеизложенного следует признать высокую актуальность выбранного направления исследования и сформулировать цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности сварочных технологий при ремонте технологических трубопроводов из высоколегированных аустенитных сталей.

Для достижения поставленной цели необходимо на основании анализа источников научно-технической информации в области повышения эффективности сварочных процессов с использованием разработок российских исследователей-сварщиков обосновать выбор способа ремонтной сварки технологического трубопровода и расширить технологические возможности выбранного способа. Далее следует выполнить построение технологического процесса с опорой на достижения отечественной науки в области построения и управления сварочными процессами, что позволит обеспечить промышленную безопасность российского производителя во внешних неблагоприятных условиях [2], [10], [17].

1 Анализ исходных данных и известных решений по направлению выпускной квалификационной работы

1.1 Описание рассматриваемого в выпускной квалификационной работе трубопровода

Рассматриваемый в настоящей выпускной квалификационной работе технологический трубопровод является частью нефтеперерабатывающего предприятия мощностью 8 миллионов тонн в год, что соответствует количеству переработанной нефти около 60 млн. баррелей. Оборудование предприятия. На рисунке 1 представлен пример технологических трубопроводов рассматриваемого НПЗ. В состав технологических установок предприятия входят установки по первичной переработке нефти и вторичные перерабатывающие мощности, позволяющие выполнять гидрокрекинг, каталитический риформинг, гидроочистку дизельного топлива и керосина, смешивание бензинов. На предприятии проходят периодические работы по модернизации мощностей и ремонту оборудования. С 2011 года за счёт внедрения перспективных процессов переработки удалось значительно повысить качество и экологические параметры топлив, достигнув мирового уровня, что позволяет производить топливо на экспорт.



Рисунок 1 – Технологические трубопроводы Атырауского нефтеперерабатывающего завода

Значительная роль в обеспечении безопасной эксплуатации нефтеперерабатывающих предприятий отводится поддержанию в рабочем состоянии технологических трубопроводов, суммарная длина которых на предприятии может составлять несколько километров [16]. Значительное количество крупных аварий на предприятиях, занимающихся нефтепереработкой, происходят в результате утечки горючих жидкостей, причины которой представлены на рисунке 2 и проанализированы в работах [14] и [30].

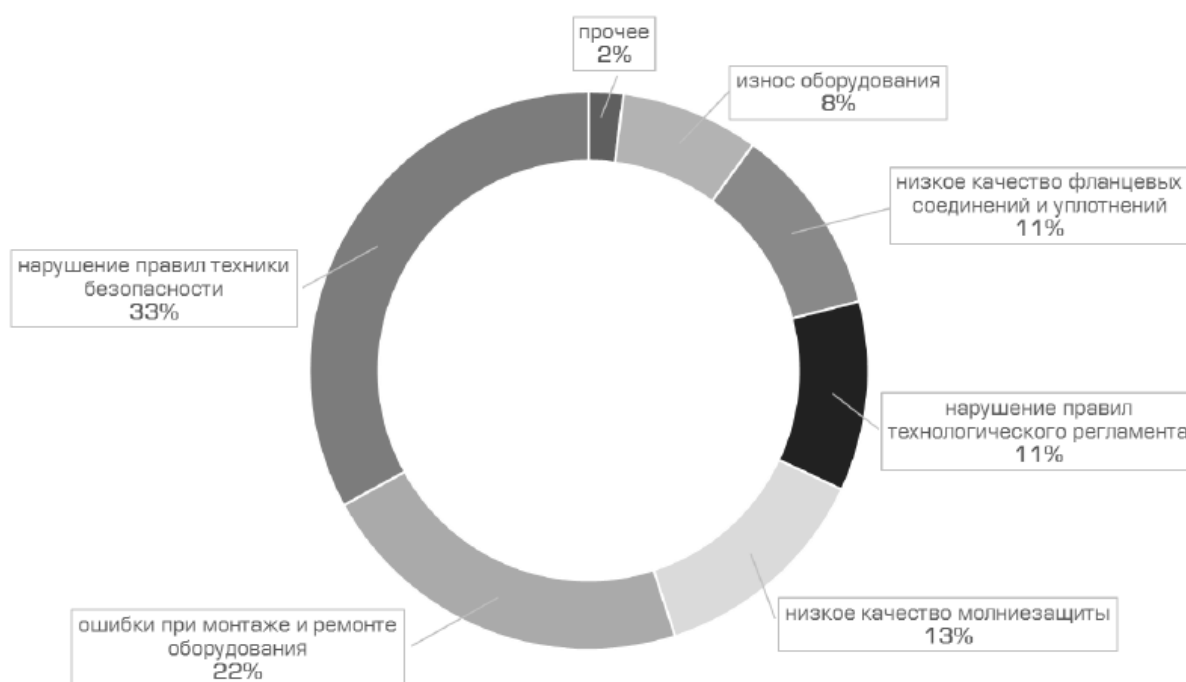


Рисунок 2 – Обработка данных по авариям на НПЗ

Рассматриваемый технологический трубопровод, схема которого представлена на рисунке 3, предназначен для передачи нестабильной нефти, в составе которой имеется значительное количество агрессивных компонентов – аммиака, угарного газа, серных соединений и водорода, которые существенно повышают коррозионную активность перекачиваемого продукта и его воздействие на стенки трубопровода. Коррозионное действие усиливается по причине нагрева перекачиваемой нефти до температуры 150 °С. Именно поэтому трубопровод выполнен из стали 08X18H10T.

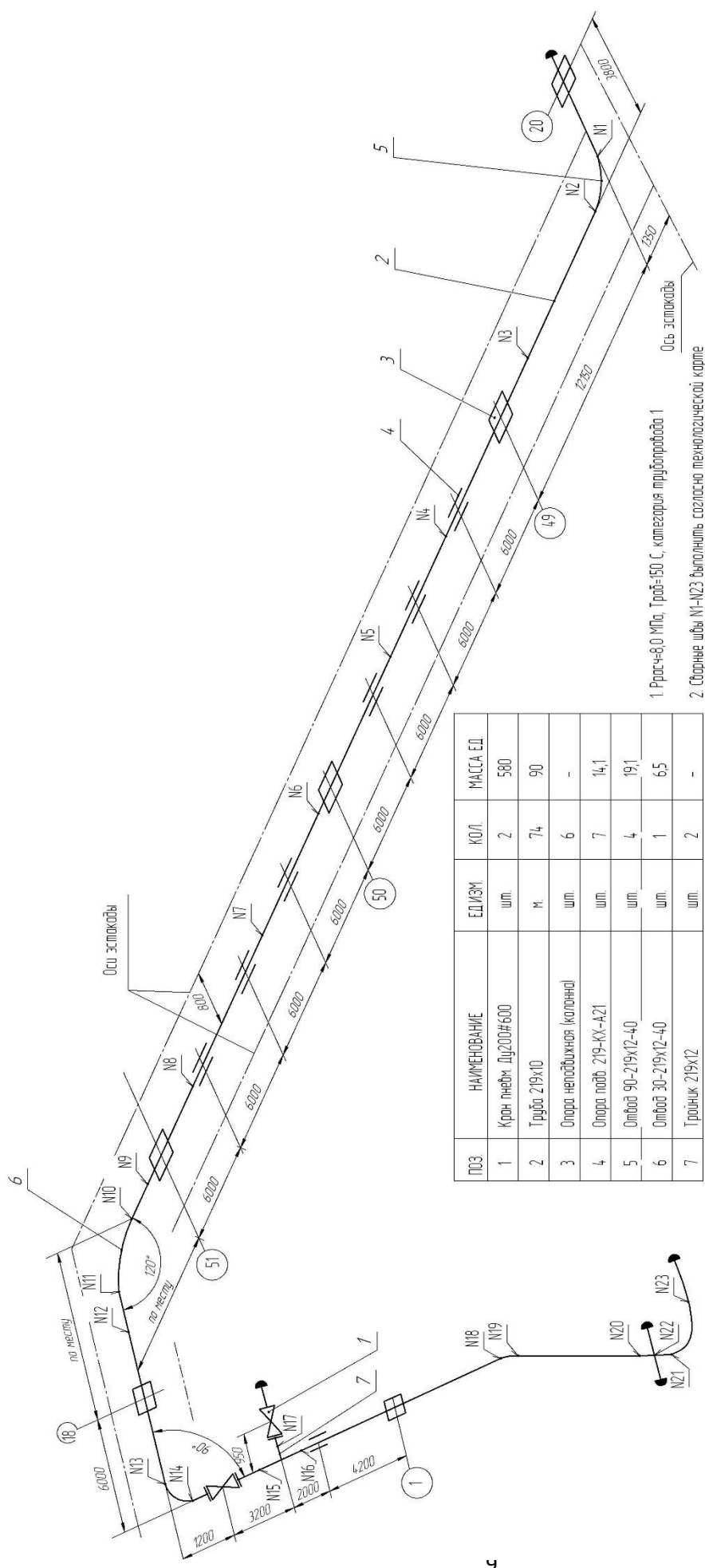


Рисунок 3 — Схема трубопровода изометрическая

Рассматриваемый трубопровод работает при избыточном давлении перекачиваемой среды 8 МПа. Толщина стенки составляет 10 мм при проходном диаметре трубы 219 мм. При проведении ремонтных работ выполняется замена линейных участков с формированием стыкового соединения труб С17 согласно ГОСТ 16037-80. Ремонтная срака проходит монтажных условиях, поэтому стыки являются неповоротными, сварка проходит с выполнением одностороннего соединения. На рисунке 4 представлена геометрия подготовки кромок труб перед сваркой и геометрия сварного шва.

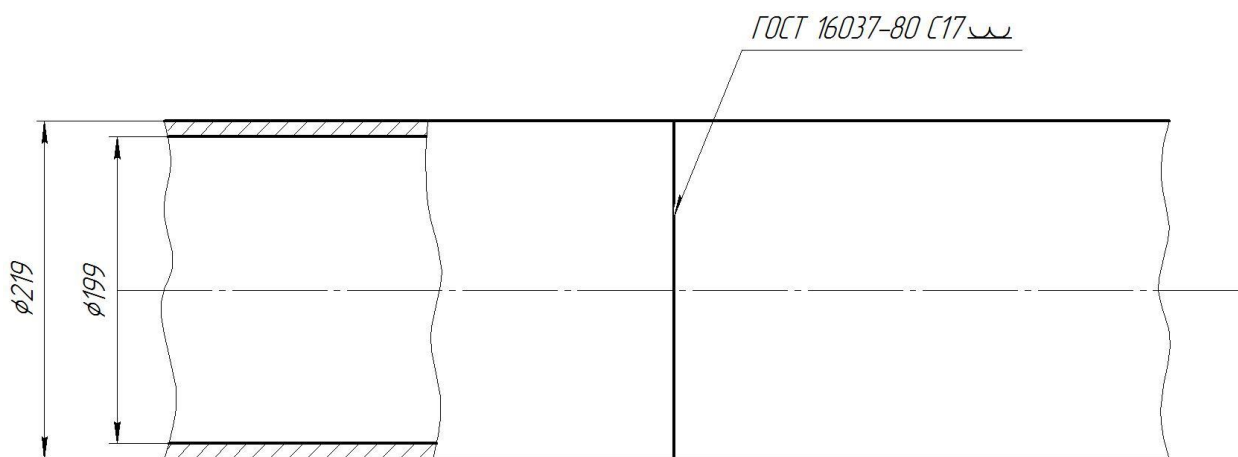


Рисунок 4 - Подготовка кромок и сварной шов соединения С17 по ГОСТ 16037–80

Таким образом, проведение ремонта рассматриваемого технологического трубопровода предусматривает сварку неповоротных стыков с применением ручной дуговой сварки. Общее количество выполняемых стыков в программе ремонта заложено 40 штук. С учётом потребности отрасли общее количество выполняемых стыков составляет порядка 400 штук, что свидетельствует о высокой актуальности решения вопроса расширения технологических возможностей и повышения эффективности сварочных процессов при ремонтной сварке рассматриваемых технологических трубопроводов.

1.2 Сведения о материале рассматриваемого технологического трубопровода

Рассматриваемый трубопровод выполнен из стали 08X18H10T, которая из-за своего состава обладает свойствами, позволяющими отнести её к коррозионностойким аустенитным сталям [27], [28]. В составе стали углерод составляет менее 0,08 %, что практически не ухудшает свариваемости. Никель, который содержится в стали в качестве легирующей добавки, содержится в диапазоне от 9 до 11 % и обеспечивает повышение коррозионной стойкости. Также «никель повышает механические свойства стали, в частности ударную вязкость, пластичность и прочность. Также добавки никеля уменьшают размеры зерна металла. Хром, содержание которого в рассматриваемой стали составляет от 17 до 19 %, повышает коррозионную стойкость стали, но также и твердость в зоне термического влияния. Добавки хрома значительно ухудшают свариваемость стали. Титан, содержание которого в рассматриваемой стали составляет от 0,5 до 0,7 %, повышает коррозионную стойкость стали и положительно влияет на стойкость против межкристаллитной коррозии. Титан также выступает в качестве модифицирующей добавки, уменьшающей размеры кристаллитов. Марганец, содержание которого в рассматриваемой стали составляет до 2 %, является раскисляющим элементом, повышает прочностные свойства стали, но его содержание в рассматриваемой стали» [27] увеличивает склонность к образованию холодных трещин. Сера и фосфор в рассматриваемой стали являются вредными примесями, и их содержание ограничивается серы – до 0,02 %, фосфора – до 0,035 %. В таблице 1 «представлено содержание химических элементов в рассматриваемой стали.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в стали 08X18H10T

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Ti
<0,08	<0,8	<2	9-11	<0,02	<0,035	17-19	<0.3	0,5 – 0,7» [27]

При реализации технологии сварки рассматриваемой стали следует принимать во внимание, что нарушение техники сварки и несоблюдение задаваемых параметров режима сварки приводит к повышенному выгоранию легирующих элементов, что существенно снижает эксплуатационные свойства конструкции. По сравнению с низкоуглеродистой сталью рассматриваемая сталь имеет повышенный коэффициент линейного расширения и усадки при кристаллизации, что становится причиной повышения уровня остаточных напряжений и деформаций в ходе выполнения сварочных операций. В качестве проблемы сварки следует также указать высокую опасность образования горячих трещин. Еще одной проблемой является охрупчивание металла и межкристаллитная коррозия сварного шва. Для снижения межкристаллитной коррозии при сварке следует избегать перегрева металла, применяя режимы с повышенной скоростью сварки и принудительное охлаждение сварного шва. Поверхность металла сварного шва должна быть гладкой и не иметь резких переходов к основному металлу. Швы, которые обращены к агрессивной среде, должны быть сварены после выполнения других швов [31], [32]. Для предотвращения обеднения сварного шва легирующими элементами следует поддерживать минимальную длину сварочной дуги, а в качестве сварочных материалов применять электроды с повышенным содержанием легирующих элементов с учётом их выгорания при сварке. Следует особое внимание уделять заплалению кратеров при возбуждении и гашении дуги, при этом необходимо убедиться в отсутствии кратерной трещины. Уменьшение коробления конструкции достигается оптимизацией параметров режима и последовательности выполнения сварных швов. Необходимо применять достижения сварочной науки в области управления сварочными процессами и внедрять такие перспективные способы сварки, как лазерная сварка и плазменная сварка, которые позволяют повысить экономические и эксплуатационные показатели технологии.

1.3 Особенности выполнения операций базового технологического процесса сварки

При поставке на участок заготовок и сварочных материалов необходимо убедиться в наличии на них заводской маркировки и необходимых сертификатов, при отсутствии которых применение при реализации технологии сварки заготовок и материалов запрещено. Также необходимо убедиться в исправности сварочного оборудования и измерительных приборов. Перед выполнением сборки и сварки необходимо проверить наличие и функционирование средств индивидуальной защиты. Персонал перед допуском к работам должен быть проверен на соответствие квалификации, что подтверждается наличием документов. Перед выполнением работ необходимо проведение инструктажа по технике безопасности. Также перед проведением работ проверяется наличие у производителя проектной документации, лицензии на проведение работ и наличие утвержденных технологических карт.

Для подготовки труб может быть применена механическая резка. После механической обработки шероховатость реза не должна превышать нормативную, должны отсутствовать выступы и неровности, которые могут затруднить последующую сборку стыка. Перед сборкой поверхность труб зачищается до металлического блеска. Ширина зачистки составляет 20 мм от свариваемых кромок снаружи трубы и 10 мм от свариваемых кромок изнутри трубы. На рисунке 5 представлена геометрия стыка, на которой изображена разделка кромок и точность стыковки труб перед сваркой. Соблюдение размеров стыка перед сваркой проверяют с применением шаблонов, металлической линейки и универсального шаблона сварщика. При сборке следует располагать заводские швы на трубах таким образом, чтобы расстояние между ними составляло не менее 100 мм. В случае нарушения геометрии стыка и подготовки поверхности труб стык к сварке не допускается и должна быть проведена повторная его подготовка под сварку с последующей

повторной проверкой. При сборке стыка под сварку применяются специализированные сборочные приспособления, которые позволяют получить требуемую точность взаимного расположения деталей. Кроме того, перед сваркой следует убедиться в равномерности зазора по всему периметру стыка и соблюдение соосности труб. При этом величина зазора должна составлять 2...3 мм при отклонении перпендикулярности не более 1,5 мм. Применяемый центратор ЦЗН-219 представлен на рисунке 6.

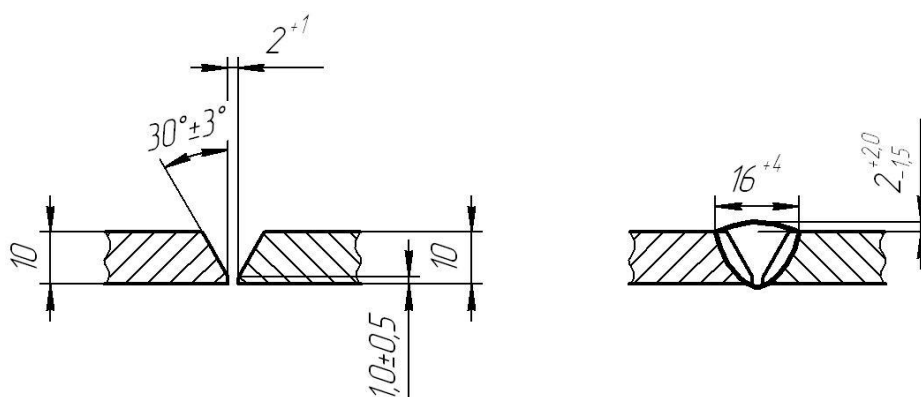


Рисунок 5 – Подготовка кромок, сборка стыка и геометрия сварного шва



Рисунок 6 – Центратор ЦЗН-219

Сборка выполняется с постановкой прихваток. Расположение прихваток должно быть равномерным по периметру стыка преимущественно в горизонтальном и вертикальном положении, прихватки в потолочном положении трубы выполняться не должны, так как в таком положении тяжелее обеспечить качество сварного шва. Прихватки должны располагаться не ближе 100 мм к заводским швам на трудах и заготовках. К выполнению прихваток предъявляются такие же требования по качеству, как и к корневому

слою шва. В случае обнаружения недопустимых дефектов прихватку полностью удаляют механическим способом и переваривают.

После выполнения прихваток и проверки их качества проводят сварку корневого слоя шва. Освобождение центратора проводят после сварки всего корня шва. До момента полной заварки корневого слоя по всему периметру сварной стык запрещено подвергать механическим воздействиям. После сварки корневого слоя шва проводят механическую зачистку поверхности сварного шва и проверку качества визуальным осмотром. При обнаружении трещин, незаваренных кратеров, прожогов и выходящих на поверхность дефектов типа пор или раковин дефектное место следует удалить механическим путем и переварить.

Прихватку и сварку необходимо выполнять при температуре окружающего воздуха не ниже -10° . Сварку следует вести на постоянном токе обратной полярности с минимальной длиной дуги без поперечных колебаний на максимальной скорости. «Также перед тем, как выполнять заполнение разделки и основной шов на деталях, необходимо проводить зачистку поверхности прихваток и поверхности деталей от шлака и брызг. При сварке дугу следует зажигать на наплавленном металле или на разделке шва, запрещено зажигать дугу на основном металле. При гашении дуги запрещено выводить кратер на основной металл. Перекрытие при выполнении кольцевого шва должно быть в диапазоне 15...20 мм. При обрыве сварочной дуги повторное зажигание выполняют следующим образом. От шлака очищают участок ранее выполненного сварного шва на расстоянии 20...25 мм от обрыва дуги, зажигают дугу на наплавленном металле, перемещают дугу к началу шва, тщательно заправляя кратер короткими замыканиями сварочного электрода» [29].

Последовательность выполнения сварочных валиков в зависимости от положения сварного стыка представлена на рисунке 7. Последовательность выполнения сварки представлена на рисунке 8. Сварку выполняют представленным на рисунке 9 выпрямителем ВД-506.

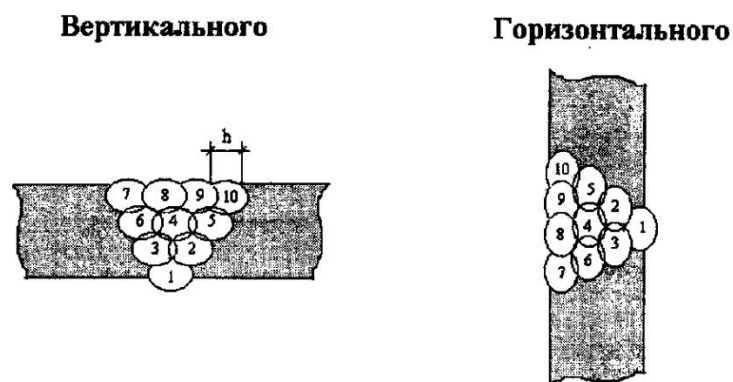


Рисунок 7 – Последовательность выполнения сварочных валиков при реализации базовой технологии

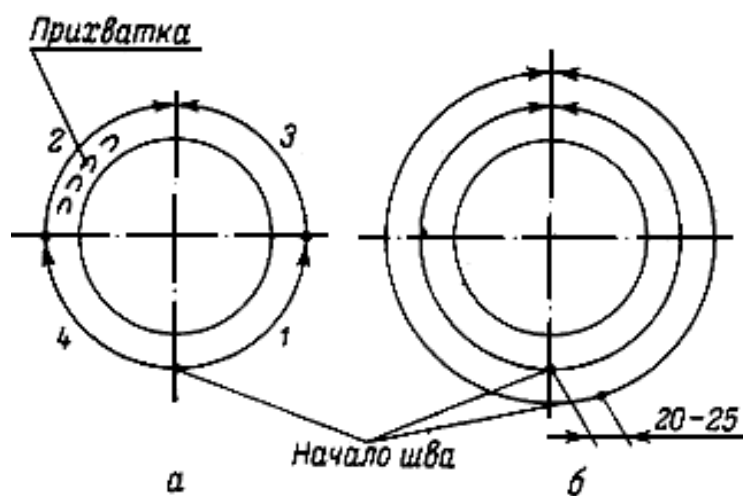


Рисунок 8 – Последовательность выполнения сварки корневого слоя (а) и заполняющих слоев (б)



Рисунок 9 – Сварочный выпрямитель ВД-506

Для «выполнения прихватки и сварки применяются электроды ЦТ-15 диаметром 3 мм. Величина сварочного тока составляет 80...100 ампер, сварку ведут на постоянном токе обратной полярности, количество слоев составляет от 4 до 5. Перед использованием сварочные электроды должны быть прокалены в представленной на рисунке 10-а печи ПСПЭ 90-400 и помещены в представленную на рисунке 10-б резервную печь ПСПЭ 10-40, которая предварительно разогрета до 70 °С. Температура прокалики составляет 120...150 °С, длительность прокалики составляет 1 час. Выемку электродов из резервной печи проводят по одному перед самым использованием» [3].



Рисунок 10 – Печь ПСПЭ 90-400 (а), печь ПСПЭ 10-40 (б)

После выполнения сварки следует очистить сварной шов от шлака и забрызгивания. После выполнения сварки проводят «контроль качества, для чего применяют визуальный осмотр и радиографический контроль. Для выполнения визуального контроля применяют лупу с увеличением в 4...7 раз, которая дополнительно снабжена подсветкой. Не допускается грубая чешуйчатость поверхности сварного шва. Подрезы и наплывы металла должны иметь размеры не более 0,5 мм. При рентгеновском контроле не допускаются внутренние поры размером более 1 мм, цепочки пор и шлаковых включений, не допускается наличие между слоями несплавлений. Дефектное место следует зачистить механическим способом и переварить с последующим контролем качества. Допускается не более двух повторных сварок на одном месте.

1.4 Предварительный обзор источников научно-технической информации

Рациональная постановка задач на проектирование обеспечивается опорой на достижения в области сварочной науки, для чего необходим анализ источников научно-технической информации в рассматриваемой области техники. Предлагается рассмотреть кандидатские и докторские диссертации, научные статьи, патенты и монографии, поиск которых проводим в базах знаний «Диссеркат» (база кандидатский и докторских диссертаций по техническим наукам), «Киберленинка» (база научных статей по различным тематикам и направлениям), «Е-лайбрери» (база по авторам и их статьям).

В первой работе [7] предложены мероприятия, направленные на повышение эффективности использования оборудования и внедрены на Астраханском газоперерабатывающем заводе. «На основании проведенного экономического расчёта доказана эффективность предлагаемых решений по модернизации технологического оборудования и оптимизации технологических процессов» [7]. Внедрение решений позволило обеспечить производство собственным паром, повысить эффективность работы дизельной электростанции, повысить надежность работы энергетического оборудования предприятия.

Во второй работе [4] представлен обзор наиболее распространенных при изготовлении конструкций из нержавеющей сталей способов сварки и применяемых при этом сварочных материалов. На основании анализа особенностей выполнения каждого способа показано преимущество сварки самозащитными порошковыми проволоками, что позволяет внести внедрение этого способа сварки в число приоритетных задач сварочного производства. «Доказана высокая эффективность применения сварки самозащитной проволокой на объектах химического машиностроения. Данная работа показывает высокую эффективность при изготовлении конструкций из нержавеющей аустенитных сталей сварки самозащитной порошковой

проволокой и будет использована при обосновании выбора способа сварки для построения проектной технологии» [4].

В третьей работе [26] исследования позволили выполнить оценку коррозионной стойкости сварных соединений, полученных с применением электродов ОК 61.30 (рутиловый тип покрытия) и ЦЛ-11 (основной тип покрытия). Установлено, что однородность структуры наплавленного металла при применении электродов с основным типом покрытия существенно выше, чем при применении электродов с рутиловым типом покрытия. Сварные швы, выполненные электродами с основным типом покрытия, характеризуются большей стойкостью по отношению к коррозионному разрушению. При этом применение электродов с основным типом покрытия характеризуется сплошной коррозией с подповерхностным разрушением, а применение электродов с рутиловым покрытием сопровождается формированием межкристаллитной коррозии. Проведенные исследования позволяют сделать вывод о предпочтении применения электродов с основным типом покрытия перед электродами с рутиловым типом покрытия. «Данная работа позволяет судить о высокой эффективности применения ручной дуговой сварки для конструкций из аустенитной стали, работающих в агрессивных средах, и будет использована для обоснования выбора способа сварки» [26].

В четвертой работе [16] «показано, что применение импульсной подачи проволоки при сварке и наплавке деталей из нержавеющей сталей позволяет повысить стабильность процесса горения сварочной дуги и уменьшить разбрызгивание электродного металла. Кроме того, повышается стабильность формирования наплавленного валика. Следует отметить, что положительные результаты несколько меньше по сравнению с результатами применения импульсной подачи проволоки на низкоуглеродистых сталях, что объясняется различием теплофизических и химических свойств. Дальнейшие исследования в области повышения эффективности сварки и наплавки в защитных газах деталей из нержавеющей сталей следует вести в области комбинированного управления подачей проволоки и электрическими

параметрами горения сварочной дуги. Данная работа демонстрирует высокую эффективность сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения и будет использована при обоснования выбора способа сварки для построения проектной технологии» [16].

В пятой работе [25] «рассматривались вопросы повышения эффективности сварки неплавящимся электродом в инертных газах при выполнении конструкций из нержавеющей сталей. Для расширения технологических возможностей способа предложено применить продольное магнитное поле, действие которого позволяет повысить давление дуги на сварочную ванну, увеличить глубину проплавления, улучшить формирование корневого слоя шва и снизить пористость наплавленного металла. Данная работа показывает высокую эффективность сварки неплавящимся электродом и будет использована при обосновании выбора способа сварки для построения проектной технологии» [25].

1.5 Формулировка задач на выполнение выпускной квалификационной работы

В работе должен быть сформирован комплекс решений, реализация которых на современном предприятии позволит повысить эффективность выполнения сварочных процессов при ремонте и строительстве трубопроводов. Для этого следует провести рациональную постановку задач, решение которых станет залогом достижения поставленной цели. Базовая технология основана на использовании ручной дуговой сварки. Следует признать малую производительность процесса, ручной дуговой сварки, которая обусловлена рядом причин. Во-первых, при сварке постоянно приходится прерывать процесс на замену электрода, что помимо повышения трудоемкости, приводит к образованию высокого уровня дефектности сварного шва. Во-вторых, при сварке необходима очистка поверхности валиков металла от шлака. что также повышает уровень дефектности и

трудоемкость выполнения работ. Третьим недостатком является вредность выделяющихся при сварке аэрозолей, что существенно усложняет работу сварщика и заставляет предприятие нести дополнительные потери на обеспечение безопасности труда. Четвертым недостатком является потеря электродного металла на разбрызгивание, угар и огарки, что также ухудшает экономические показатели сварочного производства. В ходе анализа источников научно-технической литературы составлен список способов сварки, применение которых может быть целесообразным для построения проектной технологии сварки стыка трубопровода. Таким образом, вышеизложенное ложится в основу постановки задач на проектирование. При решении первой задачи необходимо провести экспертизу рассматриваемых способов сварки с точки зрения получения максимального технологического и экономического эффекта при внедрении на рассматриваемом технологическом объекте. При решении второй задачи становится необходимым применение достижений российских ученых в области импульсной сварки для расширения технологических возможностей выбранного способа. При решении третьей задачи предусматривается составление перечня операций и назначение для них параметров режима с указанием условий на выполнение и выбором оборудования. Далее следует обосновать возможность и целесообразность применения предлагаемых решений в производстве. Возможность применения обосновывается экспертизой рассматриваемого технологического объекта на предмет выполнения требований техники безопасности и экологической безопасности [1], [6]. Далее следует провести экономическое обоснование целесообразности внедрения [13], [21]. Результаты дальнейшей работы могут быть использованы не только на рассматриваемом предприятии, но и при выполнении аналогичных сварочных работ другими предприятиями, что позволит мультиплицировать положительный эффект.

2 Построение проектной технологии сварки рассматриваемого трубопровода

2.1 Обоснование выбора способа сварки для построения проектной технологии сварки

«При построении технологических процессов эффективность определяется правильностью выбора способа сварки, который следует проводить на основании экспертной оценки преимуществ и недостатков. Самым универсальным способом является ручная дуговая сварка, схема выполнения которой представлена на рисунке 11. Оборудование для ручной дуговой сварки в достаточном количестве присутствует на предприятиях, а сам процесс не требует значительной подготовки для проведения ремонтной сварки, что позволяет приступать к выполнению работ практически незамедлительно. Однако из-за неустранимых недостатков ручной дуговой сварки её доля в промышленности неуклонно снижается, на что указывает ряд аналитиков» [18], [19].

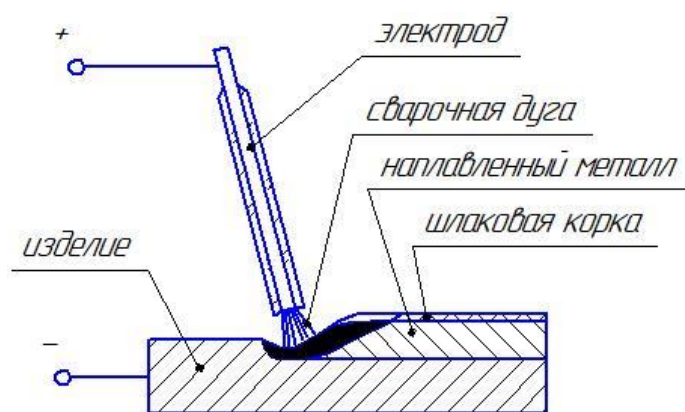


Рисунок 11 – Схема ручной дуговой сварки

При ручной дуговой сварке нержавеющей сталей открытым остается вопрос обеспечения коррозионной стойкости металла сварного шва. В ходе исследований выполняли сварку образцов состава 08X18H10T с применением штучных электродов ОК 61.30 (рутиловый тип покрытия) и ЦЛ-11 (основной

тип покрытия). Установлено, что применение для сварки электродов с рутиловым покрытием (ОК 61.30) сопровождается в два раза большим коррозионным поражением по сравнению с применением для сварки электродов с основным покрытием (ЦЛ-11). Так, при использовании электродов ОК 61.30 глубина коррозионного поражения составляет 0,28...0,33 мм, а при использовании электродов ЦЛ-11 глубина коррозионного поражения составляет всего 0,11..0,18 мм. При этом коррозионные трещины в сварном шве, выполненном электродами ОК 61.30, располагаются по границам зерен, что свидетельствует о межзеренном характере разрушения, показанном на рисунке 12-а. В тоже время при использовании для сварки электродов ЦЛ-11 образования сетки трещин не происходит, что показано на рисунке 21-б. На основании проведенных исследований следует признать высокую опасность развития межкристаллитной коррозии при использовании для сварки электродов ОК 61.30, которые не могут быть рекомендованы для строительства и ремонта на нефтеперерабатывающих предприятиях.

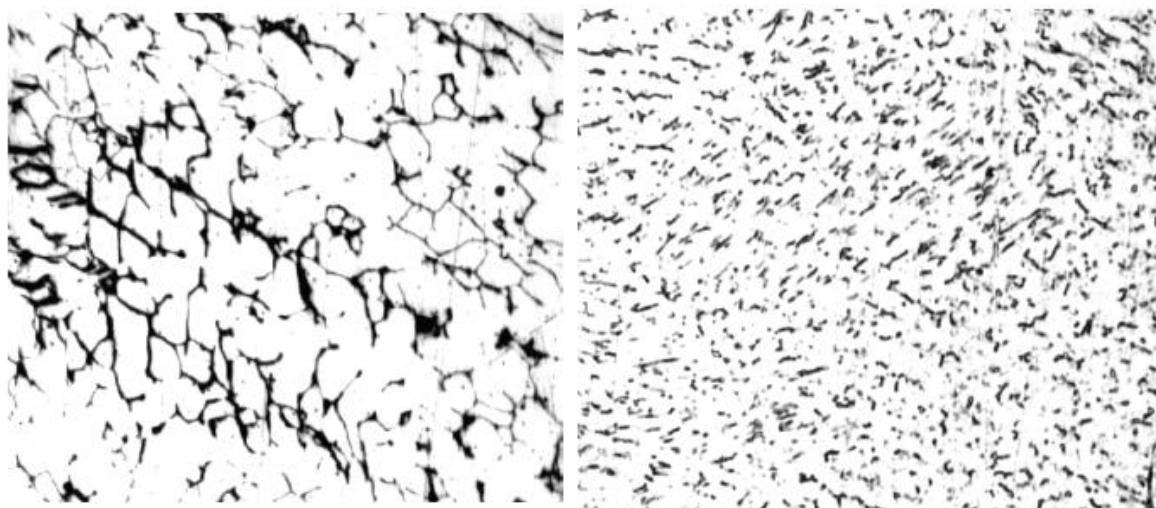


Рисунок 12 – Особенности образования коррозионных трещин в наплавленном металле при использовании электродов ОК 61.30 (а) и ЦЛ-11 (б)

Проведенные исследования позволили выполнить оценку коррозионной стойкости сварных соединений, полученных с применением электродов ОК 61.30 (рутиловый тип покрытия) и ЦЛ-11 (основной тип покрытия).

Установлено, что однородность структуры наплавленного металла при применении электродов с основным типом покрытия существенно выше, чем при применении электродов с рутиловым типом покрытия. Сварные швы, выполненные электродами с основным типом покрытия, характеризуются большей стойкостью по отношению к коррозионному разрушению. При этом применение электродов с основным типом покрытия характеризуется сплошной коррозией с подповерхностным разрушением, а применение электродов с рутиловым покрытием сопровождается формированием межкристаллитной коррозии.

Одним из эффективных способов сварки конструкций из аустенитных нержавеющей сталей является сварка неплавящимся электродом в инертном газе. Схема выполнения способа сварки представлена на рисунке 13. Данный способ сварки обеспечивает самое высокое качество сварки из всех рассматриваемых альтернативных способов и обладает необходимой универсальностью. В числе недостатков способа следует указать высокую трудоемкость получения сварных соединений, что позволяет использовать его только в числе комбинированной сварки для выполнения корневого слоя шва с последующим заполнением разделки другим, более производительным способом. Также следует указать на высокую стоимость применяемого для сварки неплавящимся электродом оборудования, что наряду с повышением сложности и снижением универсальности может стать причиной простоя и снижения экономических показателей предприятия, проводящего сварочные работы.

Повышению производительности сварки неплавящимся электродом посвящена работа [25]. При сварке неплавящимся электродом принимали параметры режима: диаметр вольфрамового лантанированного электрода составлял 4 мм, напряжение на дуге 14...15 В, сила сварочного тока 200...210 А. Сварку вели со скоростью 28 метров в минуту. Такие параметры режима сварки были применены в соответствии с работой [24]. На рисунке 14 представлены макрошлифы зоны проплавления при сварке неплавящимся

электродом без наложения продольного магнитного поля (рисунок 14-а), с применением продольного магнитного поля с индукцией 27 Тл (рисунок 14-б), индукцией 50 Тл (рисунок 14-в) и продольного магнитного поля с индукцией 62 Тл (рисунок 14-г).

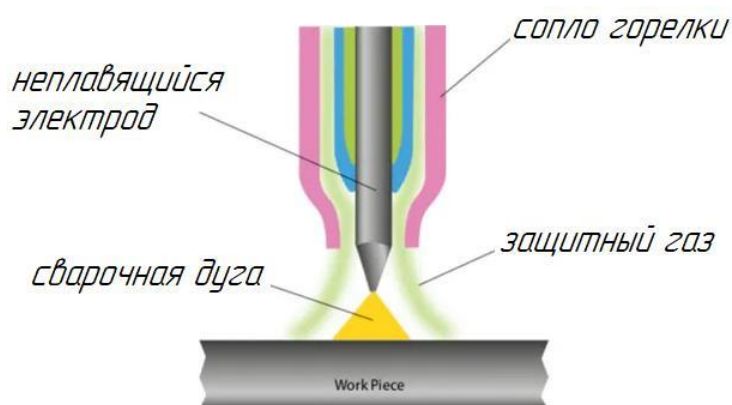


Рисунок 13 – Схема аргонодуговой сварки неплавящимся электродом

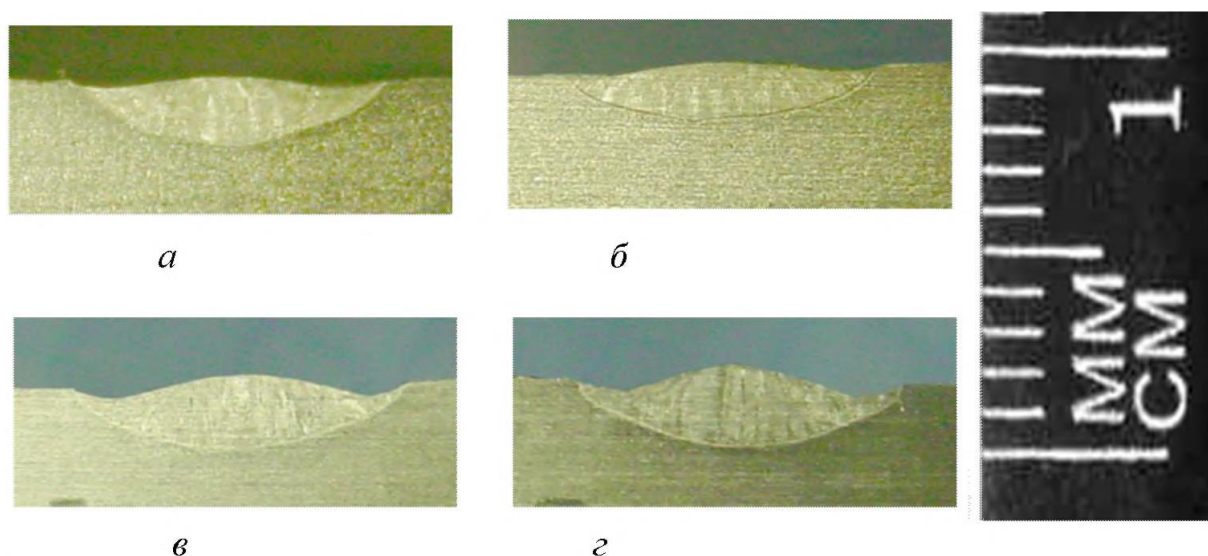


Рисунок 14 - Макрошлифы зоны проплавления при сварке неплавящимся электродом без наложения продольного магнитного поля (а), с применением продольного магнитного поля с индукцией 27 Тл (б), индукцией 50 Тл (в) и индукцией 62 Тл (г)

В ходе проведенных исследований установлено, что при сварке неплавящимся электродом в аргоне как при наложении продольного магнитного поля, так и без наложения продольного магнитного поля

газодинамическое давление дуги в 1,2...1,5 раза превышает металлостатическое давление.

По сравнению со сваркой неплавящимся электродом сварка проволокой сплошного сечения в защитных газах позволяет увеличить производительность до трех раз. Схема выполнения способа представлена на рисунке 15.

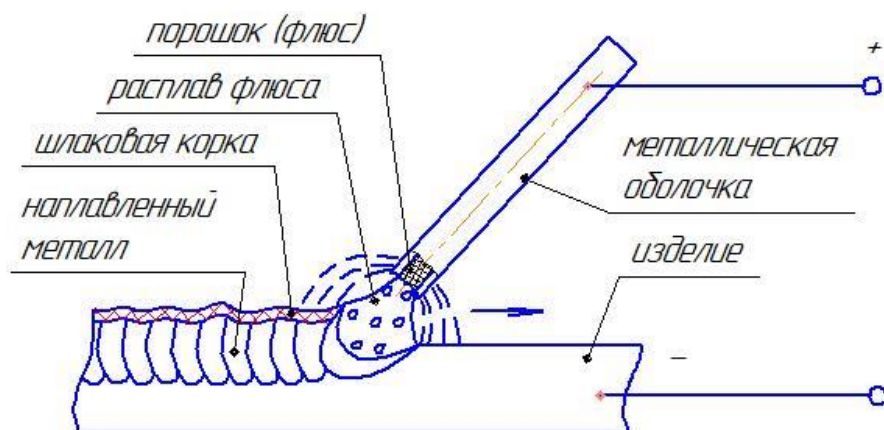


Рисунок 15 – Схема сварки порошковой самозащитной проволокой

В работе [4] проведен сравнительный анализ эффективности ручной дуговой сварки и сварки порошковой проволокой. Сравнительный анализ применения электродов ЦЛ-11 и порошковой проволоки ПП-НЖ-1 показал, что производительность сварки повышается на 100...150 % и приближается к сварке проволокой сплошного сечения, а снижение себестоимости сварки составляет 2 % при пересчете на 1 кг наплавленного металла. С точки зрения легирования металла сварного шва наиболее перспективным представляется сварка порошковой проволокой, так как этот процесс обеспечивает минимальное выгорание хрома и никеля. Так. При ручной дуговой сварке потери хрома и никеля могут достигать 60...65 %, при сварке в защитных газах проволокой сплошного сечения потери никеля и хрома составляют 20...25 %, а при сварке порошковыми проволоками удастся уменьшить потери легирующих элементов до 15...20 %. При сварке порошковой проволокой некоторую проблемы может создавать повышенная мягкость проволоки, в результате чего существенно увеличивается частота заломов и застреваний в

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

По сравнению со сваркой неплавящимся электродом сварка проволокой сплошного сечения в защитных газах позволяет получить многократное повышение производительности. Схема выполнения способа представлена на рисунке 16. В ходе выполнения этого способа сварки расплавленный металл сварочной ванны характеризуется большей, по сравнению с ручной дуговой сваркой и сваркой под флюсом вязкостью. В результате этого упрощается стабилизация положения сварочной ванны при различной пространственной ориентации. Так как при сварке в защитных газах отсутствует необходимость замены электрода и очистки поверхности шва от шлака, производительность и качество сварки повышается. Также следует указать на улучшение условия труда сварщика при механизированной сварке в защитных газах, так как состав сварочного аэрозоля в этом случае менее вреден, чем при ручной дуговой сварке.

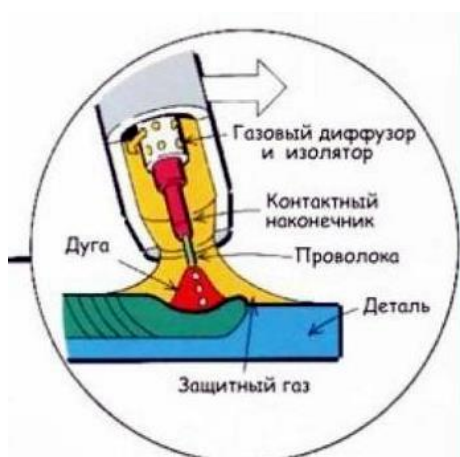
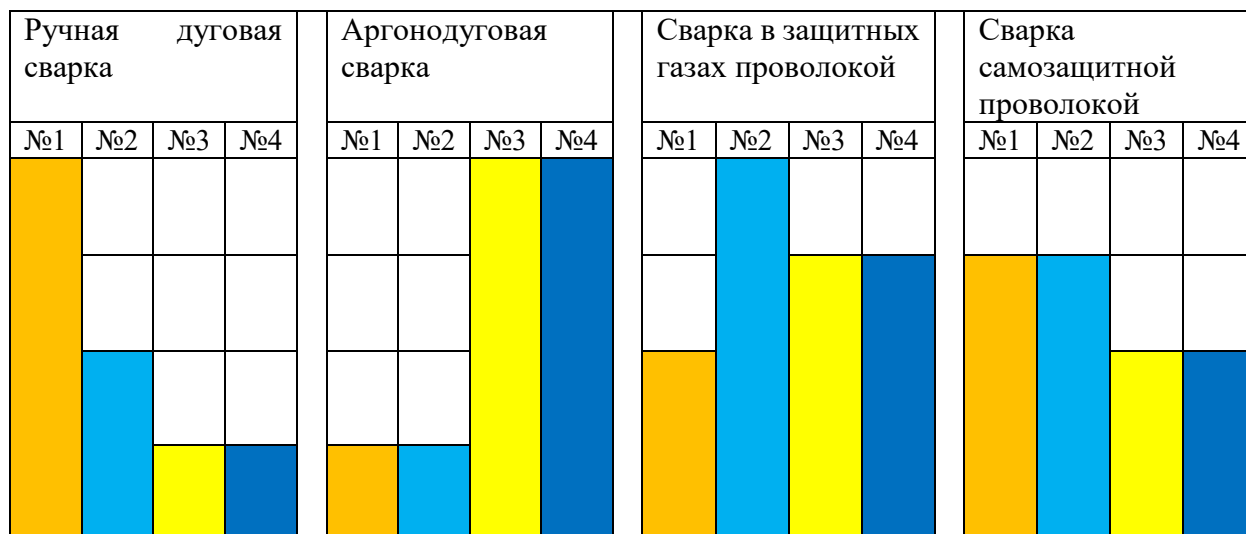


Рисунок 16 – Схема сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения

Результаты выставления экспертной оценки по критериям эффективности представлены на рисунке 17.



1 – стоимость оборудования, 2 – производительность, 3 – качество сварного шва,
4 – условия труда сварщика

Рисунок 17 – Графическое обоснование выбора способа сварки

Экспертиза рассмотренных способов сварки, предусматривающая простановку баллов по взятым из литературных источников технологическим критериям позволила обосновать для составления операций проектного технологического процесса выбор механизированной сварки в защитных газах. По сравнению с применяющейся в базовой технологии ручной дуговой сваркой обеспечивается повышение производительности, также производительность повышается по сравнению с другими рассмотренными способами сварки. При построении проектной технологии следует обеспечить устранение отмеченных ранее недостатков сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения, для чего следует применить предлагаемые современным производителем сварочного оборудования разработок в области импульсного управления сварочной дугой. В настоящий момент на мировом и отечественном рынке сварочных источников питания представлено значительное количество, реализующих различные алгоритмы управления горением сварочной дуги источников питания.

2.2 Повышение эффективности и расширение технологических возможностей сварки в защитных газах на основании достижений в области управления сварочными процессами

Механизированная и автоматическая сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения продолжает отвоевывать позиции у ручной дуговой сварки, в настоящее время большинство прогрессивных технологий сварки основано именно на применении механизированных и автоматических способов, что отмечается рядом аналитиков, на мировом рынке сварочных технологий оборудование и материалы для сварки в защитных газах начинают превалировать перед оборудованием и материалами для ручной дуговой сварки [18], [19]. При этом на повестке дня остаются вопросы, связанные с решением таких затруднений, возникающих при сварке в защитных газах, как повышенное разбрызгивание при переходе на форсированные режимы сварки, сниженная текучесть расплавленного металла, дефекты в виде пор и трещин, сложность формирования корневого слоя шва и сварки в узкую разделку.

Существенные успехи в области повышения эффективности сварки в защитных газах достигнуты за счёт применения импульсного управления сваркой, разработку в области которой ведут российские и зарубежные исследователи [9], [11], [12], [15]. В современном сварочном оборудовании, представленном на мировом рынке, реализованы алгоритмы управления переносом электродного металла и задания импульсного характера горения сварочной дуги, что позволяет улучшить условия формирования сварного соединения и повысить его эксплуатационные свойства. Применение алгоритмов импульсного управления горением сварочной дуги позволяет существенно уменьшить размер кристаллитов металла, что улучшает механические и эксплуатационные свойства сварных соединений. Кроме того, при реализации импульсного управления горением сварочной дуги удастся успешно бороться с разбрызгиванием и выгоранием электродного металла, что существенно улучшает внешний вид сварной конструкции и уменьшает

трудоемкость её изготовления. Достижимая повышенная проплавляющая способность дуги упрощает проведение ремонтных работ при сварке в узкую разделку и при заварке трещин. На рисунке 18 представлена область импульсных режимов и типы переноса электродного металла при сварке.

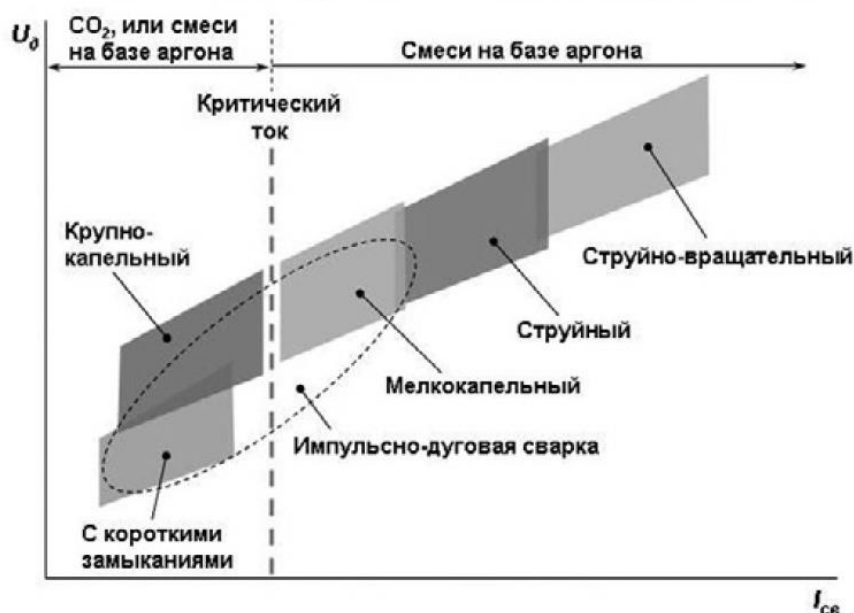


Рисунок 18 – Типы переноса электродного металла при сварке

Сварка с применением импульсного режима горения дуги имеет ряд технологических особенностей. Во-первых, следование импульсов сварочного тока происходит с задаваемой частотой, лежащей в диапазоне от 30 до 330 Гц, эта частота зависит от скорости подачи сварочной проволоки. Во-вторых, за один импульс сварочного тока происходит переход в сварочную ванну одной капли расплавленного электродного металла. В-третьих, величина тока при импульсной сварке характеризуется несколькими значениями, частности, максимальным и минимальным, причём максимальное значение тока соответствует параметрам сварки на длинной дуге, а минимальное значение соответствует дежурному току дуги. Таким образом, обеспечивается пространственная стабильность дуги, устраняется разбрызгивание, улучшается формирование корневого слоя шва, устраняются поры и трещины, уменьшается размер зерен металла шва и размер зон термического влияния.

Коллективом российских исследователей предложен способ импульсной сварки, успешно реализованный на ряде предприятий [31]. Этот способ предусматривает импульсное управление горением сварочной дуги с обратными связями по энергетическим параметрам и позволяет стабилизировать размер капель электродного металла и характер их переноса без разбрызгивания. Осциллограммы тока при сварке с применением предлагаемого способа представлены на рисунке 19. Кинограмма процесса переноса электродного металла при сварке с импульсным управлением представлена на рисунке 20. На временном промежутке t_1 - t_2 сварочная дуга горит на минимальном токе, сила которого составляет 15...40 ампер. На промежутке t_2 - t_3 происходит вытягивание капли металла в стороны сварочной ванны, в момент времени t_3 капля металла отрывается и перемещается в сварочную ванну. На промежутке t_3 - t_4 на конце электрода формируется новая капля расплавленного металла.

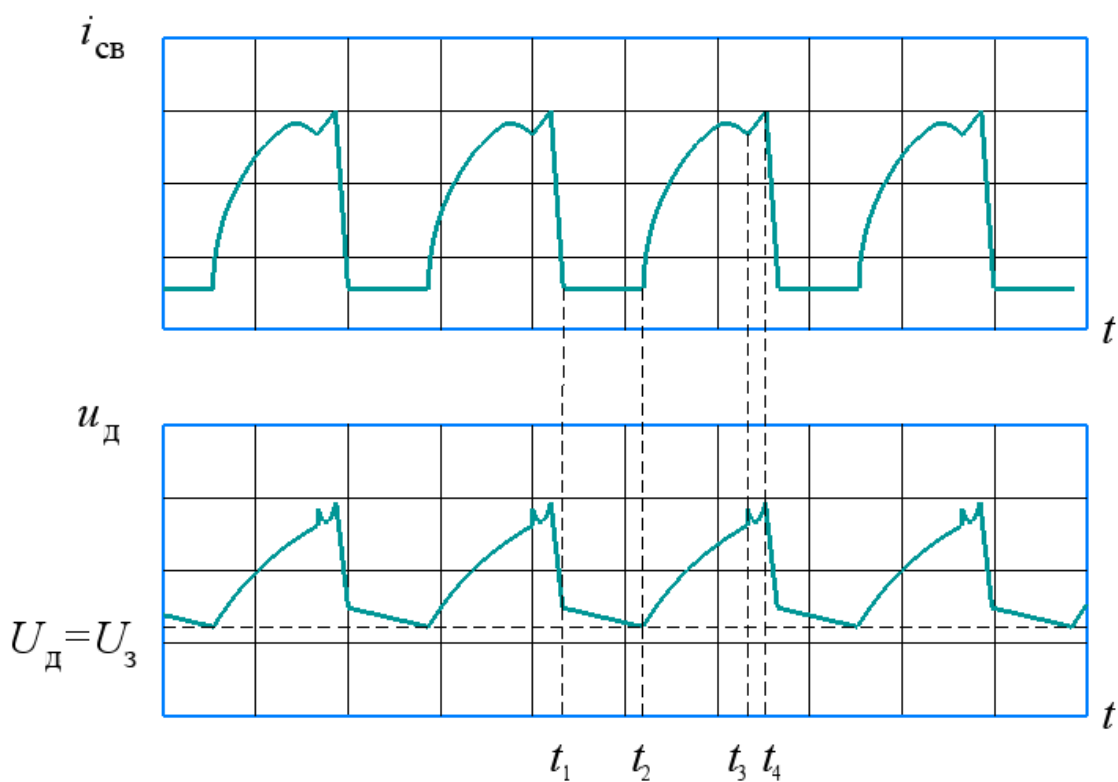


Рисунок 19 – Осциллограммы тока и напряжения при сварке с применением импульсного управления согласно предлагаемой разработке

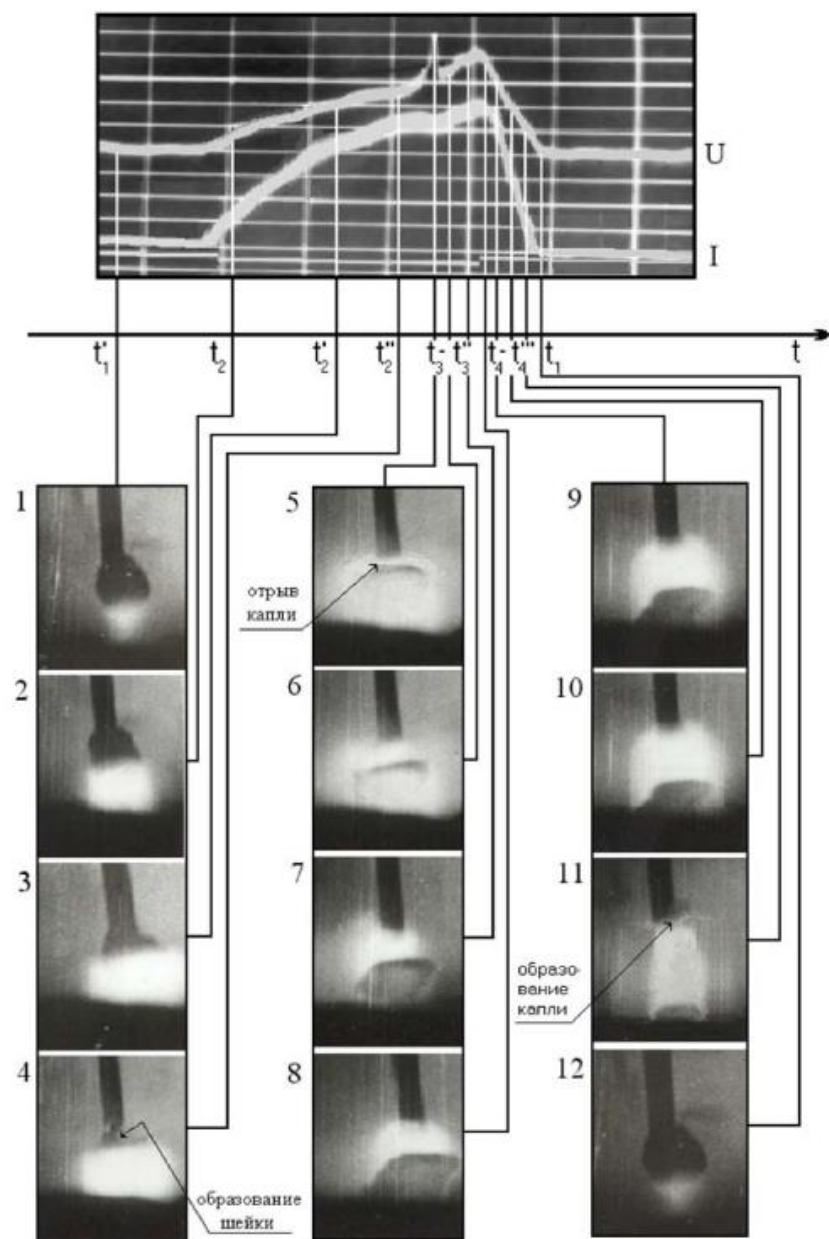


Рисунок 20 – Кинограмма переноса электродного металла при предлагаемом способе импульсной сварки

На рисунке 21 представлена структура исследовательского комплекса для формирования импульсной сварки [8], [9], [22]. В составе комплекса сварочный выпрямитель ВДУ-540 (позиция 1), формирователь импульсов ИРС-1200АДМ (позиция 2), блок управления БАРС-2В (позиция 3), сварочная головка ГСП-2 (позиция 4), дуговой прожектор КПТ-2 (позиция 5), кинокамера СКС-1М (позиция 6), осциллограф (позиция 7), стенд (позиция 8), пульт управления (позиция 9), набор измерительных проводов и сварочных кабелей (позиция 10).

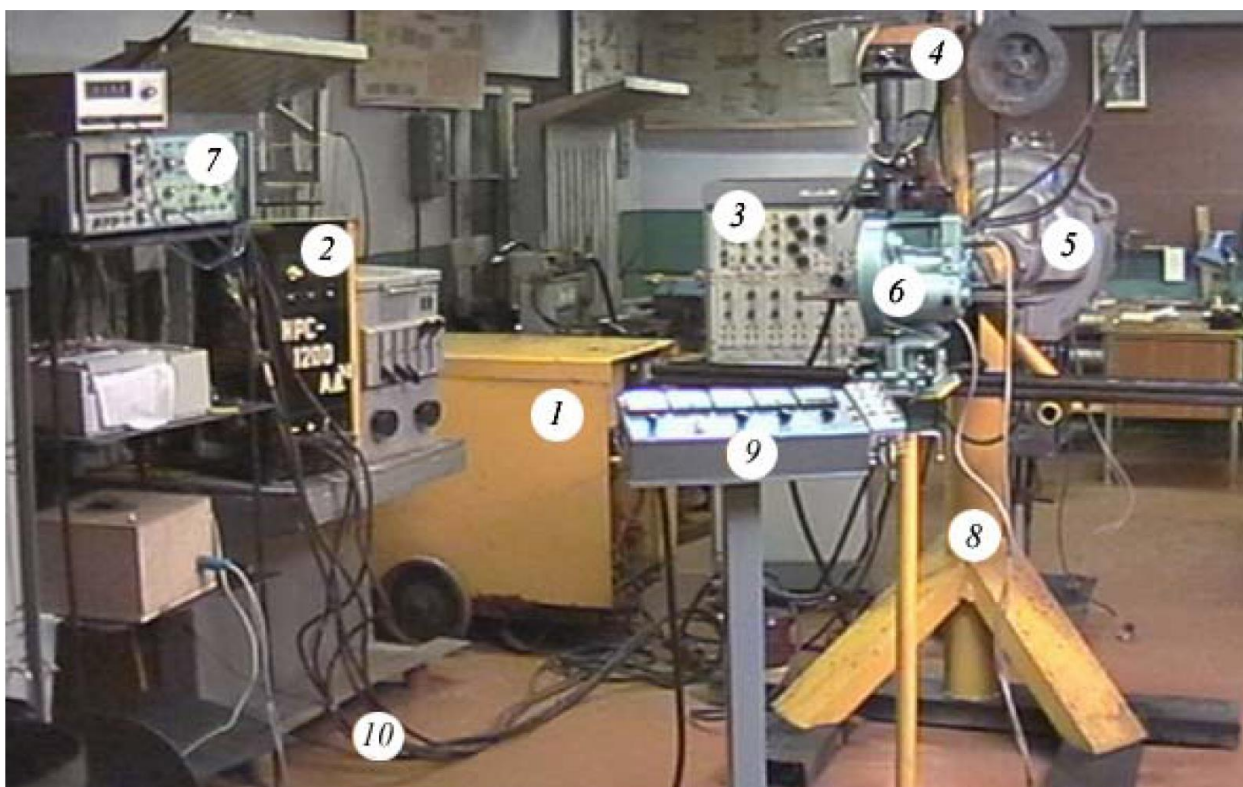


Рисунок 21 – Исследовательский комплекс для формирования импульсного режима сварки

Как показали результаты промышленного внедрения предлагаемого способа импульсного управления сварочной дугой, по сравнению с традиционной сваркой на стационарных режимах существенно снижается разбрызгивание электродного металла, потери металла составили в 1,8...2,5 раза меньше. Также применение импульсного режима положительно сказывается на тепловом балансе, в результате чего повышается эффективный КПД сварки, а затраты электрической энергии на формирование соединения снижаются на 15...18 %. Наложение импульсов тока и напряжения на сварочную дугу приводит к импульсно-ударному воздействию на поверхность сварочной ванны, что способствует более полному выделению растворенных в ней газов, снижает пористость и трещины в сварном шве. Кроме того, существенно улучшается формирование сварного шва в узкую разделку и уменьшается размер зерен металла, что положительно сказывается на эксплуатационных свойствах соединения.

2.3 Особенности сварочных операций проектного технологического процесса

При выполнении операций проектного технологического процесса сварки значительная часть операций перешла без изменения из базовой технологии. Существенно изменена именно операция сварки, которая согласно базовому варианту технологии выполнялась с применением ручной дуговой сварки, а по проектному варианту технологии выполняется с применением механизированной сварки в защитных газах. В качестве сварочной проволоки предлагается применить Св-08Х20Н9С2БТЮ, которая позволяет получить высокое качество соединений ответственных конструкций из аустенитной стали, сварной шов характеризуется высокой стойкостью против межкристаллитной коррозии. Проволока позволяет получать наплавленный металл с содержанием углерода до 0,1 %, марганца в диапазоне от 1 до 2 %, кремния в диапазоне от 2 до 2,5 %, хрома в диапазоне от 19 до 21 %, никеля в диапазоне от 8 до 10 %, титана в диапазоне от 0,6 до 1 %, алюминия в диапазоне от 0,3 до 0,7 %. Содержание серы и фосфора ограничено до 0,035 %. При сварке применим оптимизированные параметры режима для проволоки диаметром 1,6 мм. Ток сварки составляет от 220 до 260 ампер, при значении тока дежурной дуги от 15 до 40 ампер. При этом напряжение на дуге составляет 25...27 вольт. Скорость подачи сварочной проволоки составляет 220...240 метров в час при вылете электрода 18...25 мм. В качестве защитного газа предлагается применить смесь, состоящую из 70 % аргона и 30 % углекислого газа при расходе 15...16 литров в минуту. Питание сварочной дуги осуществляется от представленного на рисунке 22-а сварочного выпрямителя ВД-306, формирование импульсов тока и напряжения обеспечивается блоком ИРС-1200АДМ, являющимся разработкой российских исследователей и представленный на рисунке 22-б. Подача сварочной проволоки осуществляется представленным на рисунке 22-в механизмом ПДГ-42.



Рисунок 22 – Применяемое при сварке оборудование: источник питания (а), формирователь импульсов (б) и механизм подачи проволоки (в)

Защита поверхности деталей от образующихся при сварке брызг расплавленного металла обеспечивается раствором лигносульфаната, который готовят разбавлением порошка в нагретой до 50...60 °С воде с получением концентрата 1 к 4 по массе или 1 к 5 по объему. Защитный состав на поверхность деталей наносят кистью по ширине 100...1509 мм от сварного шва. Высыхание раствора происходит в течение 1...2 часа, после чего можно выполнять сварку. При сварке следует соблюдать технику выполнения соединений. Расстояние между свариваемыми деталями и соплом горелки не должно быть более 25 мм, иначе будет нарушена защита места сварки. При сварке не допускается резких обрывов дуги, повторное зажигание дуги выполняется на ранее сваренном предварительно зачищенном участке наплавленного металла. Сварку следует прекращать после тщательного заплавления кратера, который далее следует обдуть защитным газом до полной кристаллизации и потемнения металла сварочной ванны.

Для выполнения визуального контроля применяют лупу с увеличением в 4...7 раз, которая дополнительно снабжена подсветкой. Визуальному контролю следует подвергать все сварные швы по всей их протяженности. Проверяется отсутствие трещин всех видов и направлений, непроваров и несплавлений, незаваренных кратеров и наплывов. Поры не должны иметь размеры более 2 мм, уменьшение катета сварного шва не должно быть более 1,5 мм, вогнутость сварного шва не должна превышать 2 мм, величина

подрезов не должна превышать 2 мм. При ультразвуковом контроле не допускаются внутренние поры размером более 1 мм, цепочки пор и шлаковых включений, не допускается наличие между слоями несплавлений.

Выводы по второму разделу

Настоящий раздел выпускной квалификационной работ является исполнительским и содержит описание ранее поставленных задач, формулировка которых была выполнена в конце первого раздела. При решении первой задачи обоснован выбор способа сварки при выполнении ремонта технологического трубопровода из аустенитной стали. Для построения проектной технологии предложено применить механизированную сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения. При решении второй задачи рассмотрены способы повышения эффективности выбранного способа сварки за счёт применения разработок в области импульсного управления сварочной дугой и переносом электродного металла. При решении третьей задачи составлена проектная технология сварки, сформулирован перечень операций и условия их выполнения. Далее следует рассмотреть вопросы пожарной и экологической безопасности [1], [6]. Во втором оценочном разделе следует провести сравнение экономических показателей базового и проектного вариантов технологии, на основании которого можно сделать вывод о целесообразности внедрения предлагаемых решений в производство [13], [21]. Последующее заключение должно содержать выводы и доказательство достижения поставленной цели с рекомендациями по внедрению и направлению исследований в рассматриваемой области наук.

3 Промышленная безопасность производственного участка

3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи

При подготовке исполнительского раздела представлена информация по повышению эффективности сварочных процессов при ремонтной сварке на технологических трубопроводах нефтехимических предприятий. На основании экспертной оценки альтернативных способов сварки для построения проектной технологии предлагается применить механизированную сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения. На основании изучения источников научно-технической информации по вопросу расширения технологических предлагается применить импульсное управление сварочной дугой и переносом электродного металла. Укрупненная характеристика проектного технологического процесса ремонтной сварки представлена в таблице 2, которая позволяет получить необходимую информацию о перечне выполняемых операций, персонале, применяемом оборудовании и материалах, что является достаточным для идентификации опасных и вредных производственных факторов, которыми характеризуется рассматриваемый производственный участок, на котором предлагается реализовать проектную технологию. Такие операции, как подготовка поверхности труб и сварочных материалов, сборка стыка труб выполняется с привлечением слесаря-сборщика. Для выполнения операции сварки привлекается электросварщик. Для выполнения контрольных операций привлекается дефектоскопист. Применяемое при выполнении операций оборудование может стать причиной возникновения факторов, при этом, если фактор не ухудшает состояние персонала, то он признается нейтральным и в дальнейшем не учитывается. Поэтому следует идентифицировать только негативные факторы (опасные или вредные), от которых следует предложить стандартные средства и организационные мероприятия.

Таблица 2 – Укрупненная характеристика проектного технологического процесса сварки при ремонте трубопровода насосной станции

Операция	Персонал	Оборудование	Материалы
«Подготовка	слесарь-сборщик	- труборез - машинка шлифовальная - щетка металлическая - универсальный шаблон сварщика	- круг абразивный - вода техническая - ацетон
Сборка	слесарь-сборщик	- центратор наружный - шаблон сварщика - линейка металлическая - газовая аппаратура - газовая горелка	смесь пропан-бутановая
Сварка	электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	- источник питания - машинка шлифовальная - газовая аппаратура - шаблон сварщика - молоток и зубило - формирователь импульсов сварки - механизм подачи сварочной проволоки	- проволока сварочная - защитный газ - вода техническая
Контроль качества» [3]	дефектоскопист по магнитному и ультразвуковому контролю	- ультразвуковой дефектоскоп - набор визуального и измерительного контроля	Масло дефектоскопическое

На основании представленной в таблице информации становится возможным сформулировать производственные факторы, влияние которых может оказать негативное воздействие на персонал предприятия.

3.2 Идентификация негативных производственных факторов

При выполнении операций проектного технологического вопроса неизбежно возникают производственные факторы, негативно влияющие на персонал предприятия. Источниками таких факторов является применяемое на участке технологическое оборудование. Операции сварки и наплавки предусматривают наличие дуги, что приводит к повышенному уровню опасных и вредных факторов, возникающих на рассматриваемом производственном участке по сравнению с другими производственными

участками. Также на участке имеется оборудование, работающего при опасных уровнях напряжения и тока. В таблице 3 представлен перечень возникающих опасных и вредных производственных факторов

Таблица 3 – Негативные производственные факторы при реализации операций проектного технологического процесса

Наименование операции	Опасный или вредный производственный фактор
Подготовка	- «острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения - химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии
Сборка	- острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения - химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии - повышенная температура поверхностей
Сварка	- чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания - повышенный уровень шума - опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током - инфракрасное излучение - ультрафиолетовое излучение - химические вещества в аэрозольном состоянии - повышенная температура поверхностей
Контроль качества	- повышенный уровень ультразвуковых колебаний - острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок» [6]

Рассматриваемые неблагоприятные производственные факторы могут быть отнесены к вредным производственным факторам и опасным производственным факторам. К первым следует отнести такие факторы, которые становятся причиной возникновения заболеваний или причиной развития уже имеющихся у человека заболеваний. При этом заболевания могут протекать как остро, так и хронически. Ко второй группе факторов следует отнести такие факторы, которые могут способствовать получению человеком травмы или возникновению на предприятии смертельного случая.

3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов

На основании требований ГОСТ 12.0.003-2015 по результатам анализа укрупненного технологического процесса составлен перечень негативных производственных факторов, характеризующих рассматриваемый производственный участок. Применяемые стандартные средства и методики представлены в таблице 4. Для защиты персонала от действия этих факторов возможно применение стандартные и специально разрабатываемых средств, при этом применение специальных средств предусматривается в том случае, если за счёт стандартных инструментов требуемый уровень безопасности не обеспечивается. При выработке решений по защите персонала от негативного воздействия производственных факторов необходимо учитывать их кумулятивное действие, выраженное в накоплении негативного действия в течении времени и острого их проявления. Также следует принимать во внимание, что действующие совместно факторы могут усиливать друг друга, что повышает их опасность и вредоносность. В арсенале средств, призванных нейтрализовать действие негативных факторов, числятся средства технического характера, организационные мероприятия и средства личной защиты. Значительная роль отводится организационным мероприятиям, от своевременности и полноты проведения которых в значительной степени зависит безопасность труда. Как показывает практика, именно нарушение трудовой дисциплины становится причиной большинства несчастных случаев на производстве. Также следует принимать во внимание необходимость поддержания порядка на рабочем месте, что позволяет лучше организовать производственный процесс и обеспечить его безопасность по отношению к участникам. Также следует постоянно проверять комплектность и исправность средств индивидуальной защиты, состояние которых должно контролировать как руководство предприятия, так и сам персонал. Для обслуживания технических средств безопасности труда должны привлекаться квалифицированные работники.

Таблица 4 – Средства и методики для устранения профессиональных рисков

Негативный фактор	Технические средства	Индивидуальные средства
«отсутствие или недостаток естественного освещения	- контроль уровня освещенности рабочего места - дополнительная подсветка	индивидуальная подсветка
ультрафиолетовое излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски
химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током	- организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности - контроль изоляции и заземления - защитное заземление, защитное отключение	защитная одежда, диэлектрические коврики
острые кромки, заусенцы и шероховатости на поверхности заготовок	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	индивидуальные средства защиты дыхательных путей
отсутствие или недостатков искусственного освещения	- контроль уровня освещенности рабочего места - дополнительная подсветка	индивидуальная подсветка
химические вещества в аэрозольном состоянии	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	защитные маски
инфракрасное излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски
движущиеся части машин и механизмов	устройства защитного отключения привода станков	Специальная одежда, перчатки
повышенный уровень ультразвуковых колебаний	- ограничение проникновения персонала в опасную зону	защита расстоянием и уменьшением времени воздействия
повышенная температура поверхностей» [6]	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	специальная одежда, перчатки, защитные маски

По результатам анализ представленной таблицы можно судить о высокой эффективности применяемых стандартных средств и методик. Разработки специальных средств не требуется.

3.4 Пожарная безопасность производственного участка

«Технологические операции с применением сварки характеризуются повышенной пожарной опасностью, что объясняется специфичностью сварочной дуги, как технологического инструмента. Сварочная дуга характеризуется высокой температурой, интенсивным ультрафиолетовым и инфракрасным излучением, искрами, брызгами расплавленного металла» [6], высокой температурой поверхности свариваемых деталей. Для того, чтобы обеспечить горение дуги, применяются источники тока, подвод электрической мощности к которым также может стать причиной возгорания. Также наличие на участке электрического оборудования усложняет протекание пожара и его тушение. В таблице 5 выполнена идентификация пожара, возникновение которого следует предотвратить.

Таблица 5 – Идентификация пожара на производственном участке

«Наименование участка	Участок сборки и сварки при выполнении ремонтных работ на технологических трубопроводах
Наименование оборудования	Оборудование для механической обработки, сварочное оборудование, термическое оборудование, дефектоскоп
Классификация по виду горящего вещества	Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Наименование основных опасных факторов пожара	Пламя, повышенная температура воздуха, токсические продукты горения, уменьшение концентрации кислорода в воздухе, снижение видимости из-за задымления, искры
Наименование вторичных опасных факторов пожара	Поражение персонала электрическим током, падение на персонал элементов конструкции здания и оборудования» [6]

Если на производственном участке возник пожар, то неизбежно возникают его опасные факторы. К таким факторам относят разлетающиеся при горении искры, застилающее обзор и мешающее ориентироваться в пространстве задымление, отравляющие людей токсические продукты горения, приводящее к удушью уменьшение содержания в воздухе кислорода, волны горячего воздуха и само пламя. Также при пожаре возможно падение на людей элементов оборудования и строительной конструкции при

её разрушении. На основании результатов проведенного анализа возникающий на рассматриваемом производственном участке пожар может быть отнесен к категории «Е», так как ещё одним поражающим фактором является электрический ток, поражение которым может произойти при тушении пожара. В таблице 6 представлены средства, обеспечивающие устранение опасных факторов такого пожара, которые следует быть готовым применить на рассматриваемом производственном участке.

Таблица 6 – Средства устранения факторов пожара

«Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.
Мобильные средства пожаротушения	Специализированные расчеты (вызываются)
Стационарные установки системы пожаротушения	Нет необходимости
Средства пожарной автоматики	Установки пожарной сигнализации, пожарного оповещения
Пожарное оборудование	Пожарный кран
Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	План эвакуации
Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Ведро конусное, лом, лопата штыковая
Пожарные сигнализация, связь и оповещение» [6]	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели

При организации противопожарных мероприятий необходимо принимать во внимание приоритетность предупредительных мероприятий. Поэтому особое внимание следует уделить средствам и мероприятиям, обеспечивающим предотвращение появления возгорания на рассматриваемом производственном участке. Для этого запрещается складирование на нем мусора, могущего стать потенциальным топливом, к такому мусору относятся ветошь, картон, бумага, элементы упаковки, куски пенопласта. Также запрещается хранение на производственном участке значительных количеств возгорающихся жидкостей. Необходимо проведение инструктажа персонала по обеспечению пожарной безопасности.

3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка

«Современные технологические процессы не только должны обеспечивать повышение показателей эффективности, обеспечивать промышленную безопасность и пожарную безопасность, но и соответствовать требованиям по защите окружающей среды» [1]. В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается процесс ремонтной сварки технологического трубопровода на предприятиях нефтехимии. Этот процесс может представлять опасность для элементов природы – гидросферы, литосферы и атмосферы. Для защиты атмосферы вентиляционная система, обслуживающая производственный участок, должна быть оснащена системой фильтров, обеспечивающей сбор и утилизацию выделяющихся вредных компонентов. Запрещается сжигание промышленного мусора, полученного в ходе функционирования рассматриваемого производственного участка. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Для защиты гидросферы запрещается сливать в канализационную систему цеха машинное масло и другие отходы производства. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Очистка и повторное использование технической воды, позволяющие уменьшить расход водных ресурсов. Запрещается использование для технических нужд питьевой воды. Для защиты литосферы следует обеспечить отдельный сбор и утилизацию промышленного мусора, возникающего в ходе функционирования рассматриваемого производственного участка. Запрещается закапывание и несанкционированное выбрасывание промышленного мусора. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Рециклинг промышленных отходов, позволяющий значительно уменьшить негативную нагрузку со стороны предприятия на литосферу. Таким образом, обеспечиваются требования по экологической безопасности рассматриваемого производственного участка.

Выводы по экологическому разделу

В настоящем разделе рассматривается возможность обеспечения требуемого уровня промышленной, пожарной и экологической безопасности при реализации проектного технологического процесса ремонтной сварки технологических трубопроводов на объектах нефтехимии. По результатам анализа операций проектного технологического процесса составлен перечень производственных факторов, как опасных, так и вредных, защита от действия которых реализуется путем применения стандартных средств и организационных мероприятий. Как установлено, необходимый уровень безопасности обеспечивается, и проведение специальной разработки не требуется. При рассмотрении вопросов пожарной безопасности предложен перечень средств и мероприятий, позволяющих предотвратить возникновение на рассматриваемом производственном участке пожара. Установлено, что основной упор следует сделать на предотвращение возникновения ситуаций, в которых возможно возникновение пожара. Соблюдение требований современной мировой экологической повестки заставляет рассматривать производственный участок с точки зрения потенциальной опасности по отношению к природным ресурсам. В настоящей выпускной квалификационной работе предложены мероприятия по защите составляющих природы – атмосферы, литосферы и гидросферы от негативного воздействия со стороны производственного участка. Особое внимание следует уделить селективному сбору промышленных отходов и недопустимости несанкционированного их выбрасывания, что может привести к загрязнению гидросферы и литосферы. Таким образом, предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе технические решения не представляют существенной угрозы работникам предприятия и окружающей среде. Все возникающие при реализации проектной технологии негативные воздействия могут быть нейтрализованы с применением стандартных средств и мероприятий.

4 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений

4.1. Исходные данные для экономического расчёта

В исполнительском разделе рассматривался вопрос построения технологии сварки при ремонте технологических трубопроводов на объектах нефтехимии. Проведено обоснование применения сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения для реализации проектной технологии. На основании достижений в области управления сварочными процессами предложены меры по повышению эффективности выбранного способа сварки. Далее составлена проектная технология, реализованная применительно к рассматриваемому трубопроводу. Применение предлагаемых решений при реализации проектного технологического процесса по сравнению с базовой технологией позволяет получить комплексный положительный технологический эффект, выражающийся в одновременном повышении производительности выполняемых работ и их качества. Производительность выполнения операций в проектном процессе в два раза превышает производительность базового процесса. За счёт повышения производительности ожидается снижение размеров фонда заработной платы, а повышение качества позволяет экономить на сварочных материалах, электрической энергии и фонде заработной платы, так как существенно снижается количество брака и работ по его исправлению. Исходные данные, которые будут применены для расчёта экономических показателей, представлены в таблице 7. Эти данные послужат для задания временных и экономических показателей базового и проектного вариантов технологии сварки при ремонте технологических трубопроводов насосных станций. Дальнейшие экономические расчёты будут основаны на представленных в таблице исходных данных. С учётом особенностей рассматриваемого технологического процесса технология будет реализована в две смены.

Таблица 7 – Данные для расчета экономических показателей производства

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Принимаемое значение по варианту технологии	
			базовый	проектный
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	2	2
Разряд работников	P_p	-	V	V
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	300	300
Коэффициент доплат	$K_{доп}$	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	K_d	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования	$Ц_{об}$	руб.	140 тыс.	270 тыс.
Норма амортизации оборудования	K_a	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	10	10
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
Стоимость электрической энергии	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	4,2	4,2
Коэффициент полезного действия	$K_{пд}$	-	0,7	0,85
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	S	м ²	20	20
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эсп}$	(Р/м ²)/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	Р/м ²	30000	30000
Норма амортизации площади	$На.пл.$	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	$K_{пл}$	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	E_n	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [13]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

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

4.2 Фонд времени работы оборудования

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

Рассматриваемое в настоящей выпускной квалификационной работе производство предусматривает работу в одну смену, таким образом, для «расчётов принимается количество смен $K_{см}=2$. Общее число рабочих дней в одном календарном году принимается равным $D_p=277$. Нормальная продолжительность рабочей смены для проведения последующих расчётов принимается равной $T_{см}=8$ часов. В предпраздничные дни уменьшение продолжительности рабочей смены составляет $T_{п}=1$ час. Количество предпраздничных дней в году для выполнения расчётов принимается равным $D_{п}=7$ дней. На основании вышеизложенного может быть рассчитано значение годового фонда времени:

$$F_n = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см} = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 2 = 4418 \text{ часов.} \quad (1)$$

Эффективный фонд времени работы оборудования позволяет учесть потери рабочего времени» [13] через коэффициент B , значение которого для рассматриваемого случая построения технологического процесса принимается $B=0,07$. На основании вышеизложенного

$$F_э = F_n(1-B) = 4418 \cdot (1 - 0,07) = 4108 \text{ часов.} \quad (2)$$

Расчёт показателей экономической эффективности в дальнейшем выполняем с учетом рассчитанного выше значения эффективного фонда времени $F_э = 4108$ часа.

4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства

Расчёт капитальных вложений и экономической эффективности внедрения в производство предлагаемых решений требует для своего проведения задания годовой программы производства Π_{Γ} . Для его определения предварительно следует задаться значением штучного времени $t_{шт}$ для базового и проектного вариантов технологии, которые могут упрощенно рассчитывать по составляющим: «машинное время $t_{маш}$, значение которого задается по результатам анализа особенностей базового и проектного вариантов технологического процесса; вспомогательное время $t_{всп}$, которое задается через машинное время и составляет 10 % от него; время на обслуживание рабочего места $t_{обсл}$, которое задается через машинное время и составляет 5 % от него; времени на личный отдых $t_{отд}$, которое задается через машинное время и составляет 5 % от него; подготовительно-заключительное время $t_{пз}$, которое задается через машинное время и составляет 1 % от него. Таким образом, расчёт штучного времени по упрощенной схеме» [13] выполняется как

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

Расчёт по формуле (3) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 2 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 2,42$ часа. Расчёт по формуле (3) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 1 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 1,21$ часа.

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

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

Расчёт по формуле (4) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $\Pi_{\Gamma} = 4108/2,42 = 1687$ стыков за год. Расчёт по формуле (4) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $\Pi_{\Gamma} = 4108/1,21 = 2374$ стыков за год. С учётом потребностей рассматриваемого производства для значения годовой программы принимается $\Pi_{\Gamma} = 500$ стыков ремонтируемого трубопровода за один год. Далее следует выполнить расчёт количества оборудования $n_{\text{расч}}$ для проектного и базового вариантов технологического процесса, для чего «следует применить ранее рассчитанное значение эффективного фонда времени F_3 , годовой программы Π_{Γ} и штучного времени $t_{\text{шт}}$ с учётом коэффициента выполнения нормы $K_{\text{вн}}$, значение которого в рассматриваемом варианте производства принимается $K_{\text{вн}} = 1,03$ » [13]:

$$n_{\text{расч}} = t_{\text{шт}} \cdot \Pi_{\Gamma} / (F_3 \cdot K_{\text{вн}}). \quad (5)$$

Расчёт по формуле (5) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования $n_{\text{расч.}} = 2,42 \cdot 500 / (4108 \cdot 1,03) = 0,3$. Расчёт по формуле (5) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования $n_{\text{расч.}} = 1,21 \cdot 500 / (4108 \cdot 1,03) = 0,15$. Следует принять ближайшее большее натуральное значение, которое для проектного и базового вариантов составляет 1 и 1 соответственно. Коэффициент загрузки оборудования K_3 , который рассчитывается как отношение расчётного и принимаемого количества оборудования по вариантам технологии:

$$K_3 = n_{\text{расч}} / n. \quad (6)$$

Расчёт по формуле (6) для базового и проектного вариантов позволяет получить $K_3 = 0,3/1 = 0,3$ и $K_3 = 0,15/1 = 0,15$ соответственно, что объясняется повышением производительности труда при реализации проектного варианта технологического процесса.

4.4 Заводская себестоимость

Для определения размеров технологической себестоимости $C_{\text{тех}}$ проведения работ согласно рассматриваемым вариантам технологического процесса необходимо выполнить отдельный расчёт составляющих: «затрат на материалы M , фонда заработной платы ФЗП, отчислений на социальные нужды $O_{\text{сс}}$, затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$ и затрат на площади $Z_{\text{пл}}$. Расчёт расходов на сварочные материалы проводится с учётом их цены $C_{\text{м}}$, нормы расхода $N_{\text{р}}$ и коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{\text{тз}}$, значение которого для рассматриваемого производства согласно таблице исходных данных составляет $K_{\text{тз}} = 1,05$ » [13]:

$$M = C_{\text{м}} \cdot N_{\text{р}} \cdot K_{\text{тз}} . \quad (7)$$

Расчёт по формуле (7) для базового варианта технологии позволяет получить $M = 354 \text{ р/кг} \cdot 1,58 \text{ см}^2 \cdot 100 \text{ см} \cdot 7,8 \text{ г/см}^3 \cdot 1,80 \cdot 1,05 : 1000 = 824 \text{ руб.}$ Расчёт по формуле (7) для проектного варианта позволяет получить $M_{\text{баз.}} = 78 \text{ р/кг} \cdot 1,0 \text{ см}^2 \cdot 100 \text{ см} \cdot 7,8 \text{ г/см}^3 \cdot 1,2 \cdot 1,05 : 1000 + 160 \text{ руб.} = 236 \text{ руб.}$

«Фонд заработной платы ФЗП предприятия характеризует расходы на основную заработную плату $Z_{\text{осн}}$ и дополнительную заработную плату $Z_{\text{доп}}$, которые рассчитываются с учетом часовой тарифной ставки $C_{\text{ч}}$, коэффициента доплат $K_{\text{д}}$ и коэффициента дополнительных затрат $K_{\text{доп}}$. Для рассматриваемого производства по таблице исходных данных принимается $C_{\text{ч}} = 300 \text{ руб.}$, $K_{\text{д}} = 1,88$ и $K_{\text{доп}} = 0,12$. Расчёт величины $Z_{\text{осн}}$ » [13]:

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

Применение (8) для базового варианта позволяет получить величину $Z_{\text{осн}} = 2,42 \cdot 300 \cdot 1,88 = 1365 \text{ руб.}$ Применение (8) для проектного варианта позволяет получить величину $Z_{\text{осн.}} = 1,21 \cdot 300 \cdot 1,88 = 682 \text{ руб.}$

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

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

Применение (9) для базового варианта позволяет получить величину $З_{доп} = 1365 \cdot 0,12 = 163$ руб. Применение (9) для проектного варианта позволяет получить величину $З_{доп} = 682 \cdot 0,12 = 82$ руб.

Расчёт величины ФЗП:

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

Применение (10) для базового варианта позволяет получить величину $ФЗП = 1365 + 163 = 1528$ руб.. Применение (10) для проектного варианта позволяет получить величину $ФЗП = 682 + 82 = 764$ руб.

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

«Размер отчислений на социальные нужды $О_{сн}$ определяется с учетом ранее определенных значений ФЗП для рассматриваемых вариантов и коэффициента отчислений на социальные нужды $К_{сн}$, значение которого для рассматриваемого» [13] производства из таблицы исходных значений принимается $К_{сн} = 0,34$. Расчёт величины $О_{сн}$:

$$О_{сн} = ФЗП \cdot К_{сн}. \quad (11)$$

Применение (11) для базового варианта позволяет получить величину $О_{сн} = 1528 \cdot 0,34 = 520$ руб. Применение (11) для проектного варианта позволяет получить величину $О_{сн} = 764 \cdot 0,34 = 260$ руб. «Для того, чтобы рассчитать размер затрат на оборудование $З_{об}$, необходимо предварительно определить составляющие: амортизационные отчисления $А_{об}$ и затраты на электрическую энергию $Р_{э}$ » [13]. При расчете величины $А_{об}$ применяются ранее определенные значения $F_э$ и $t_{маш}$, а также принятые для рассматриваемого

производства норма амортизации H_a и стоимость оборудования $\Pi_{об}$, значения которых берутся из таблицы исходных данных. Расчёт величины $A_{об}$:

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

Применение (12) для базового варианта позволяет получить величину $A_{об} = 140000 \cdot 21,5 \cdot 2,42 / 4108 / 100 = 18$ руб. Применение (12) для проектного варианта даёт $A_{об} = 270000 \cdot 21,5 \cdot 1,21 / 4108 / 100 = 16$ руб. Увеличение амортизационных отчислений в проектном варианте технологии по сравнению с базовым вариантом технологии объясняется применением более сложного технологического оборудования больше стоимости.

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

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

Применение (13) для базового варианта позволяет получить величину $P_{ээ} = 2,42 \cdot 10 \cdot 4,2 / 0,7 = 145$ руб. Применение (13) для проектного варианта позволяет получить величину $P_{ээ} = 1,21 \cdot 40 \cdot 4,2 / 0,85 = 239$ руб.

Величина затрат на оборудование $Z_{об}$ определяется как сумма $A_{об}$ и $P_{ээ}$ [13]:

$$Z_{об} = A_{об} + P_{ээ}. \quad (14)$$

Применение (14) для базового варианта позволяет получить величину затрат на оборудование $Z_{об} = 18 + 145 = 163$ руб. Применение (14) для проектного варианта позволяет получить величину $Z_{об} = 16 + 239 = 255$ руб.

Полученные значения составляющих позволяют рассчитать полное значение технологической себестоимости $C_{тех}$ выполняется как сумма затрат

на материалы M , фонда заработной платы $\Phi ЗП$, отчислений на социальные нужды O_{cc} , затрат на оборудование $З_{об}$ и затрат на площади $З_{пл}$:

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

Применение (15) для базового варианта позволяет получить величину $C_{тех} = 824 + 1528 + 520 + 163 + 135 = 3170$ руб. Применение (15) для проектного варианта позволяет получить $C_{тех} = 236 + 764 + 260 + 255 + 68 = 1583$ руб..

Снижение технологической себестоимости в проектном варианте технологии обеспечивается за счёт уменьшения размеров фонда заработной платы, затрат на материалы и затрат на оборудование, что объясняется применением более производительного оборудования с расширенными технологическими возможностями.

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

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

Применение (16) для базового варианта позволяет получить величину $C_{цех} = 3170 + 1,5 \cdot 1365 = 3170 + 2048 = 5218$ руб. Применение (16) для проектного варианта позволяет получить $C_{цех} = 1583 + 1,5 \cdot 682 = 1583 + 1023 = 2606$ руб.

Для расчётного определения заводской себестоимости $C_{зав}$ необходимо применить ранее рассчитанные значения цеховой себестоимости $C_{цех}$ и основной заработной платы $З_{осн}$, а также коэффициент заводских расходов $K_{зав}$, значение которого для рассматриваемого производства принимается из таблицы исходных значений $K_{зав}=1,15$. Расчёт величины $C_{зав}$ [13]:

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

Применение (17) для базового варианта позволяет получить значение $C_{\text{зав}} = 5218 + 1,15 \cdot 1365 = 5218 + 1570 = 6788$ руб. Применение (17) для проектного варианта дает $C_{\text{зав}} = 2606 + 1,15 \cdot 682 = 2606 + 784 = 3390$ руб.

Для анализа которых на рисунке 19 представлена диаграмма, демонстрирующая состав заводской себестоимости по базовому и проектному вариантам технологического процесса. Калькуляция представлена в таблице 8.

Таблица 8 – Калькуляция заводской себестоимости

Показатель	Обозначение	Базовый	Проектный
1. «Затраты на материалы	М	824	236
2. Фонд заработной платы	ФЗП	1528	764
3. Отчисления на соц. нужды	Осн	520	260
4. Затраты на оборудование	Зоб	163	255
5. Затраты на площади	Зпл	135	68
6. Технологическая себестоимость	С _{тех}	3170	1583
7. Цеховые расходы	Р _{цех}	2048	1023
8. Цеховая себестоимость	С _{цех}	5218	2606
9. Заводские расходы	Р _{зав}	1570	784
10. Заводская себестоимость» [13]	С _{зав}	6788	3390

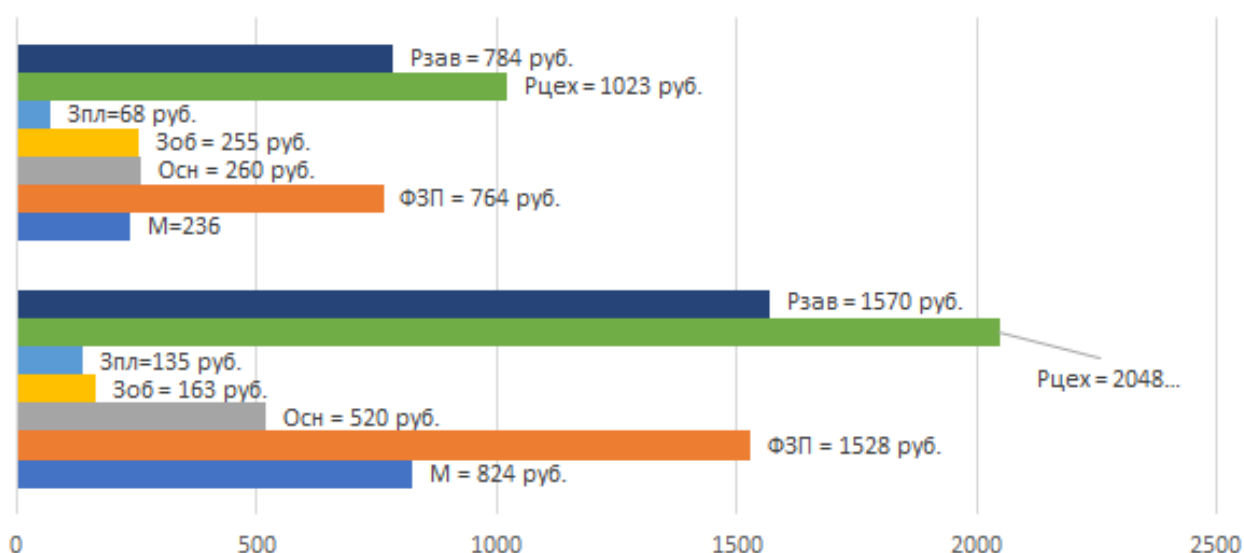


Рисунок 23 – Состав заводской себестоимости

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

4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам

Первоначально следует определиться с «величиной остаточной стоимости оборудования $\Pi_{об.б.}$, использование которого выполнялось при реализации базовой технологии. При продолжительности эксплуатации $T_c=3$ года и цене оборудования $\Pi_{перв}=140$ тыс. руб. с учетом нормы амортизационных отчислений $H_a=21,5\%$:

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

Применение (18) для базового варианта позволяет получить величину $\Pi_{об.б.} = 140000 - (140000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 49700$ руб.» [13].

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

$$K_{общ.б.} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{з.б.} = 49700 \cdot 0,3 = 14910 \text{ рублей.} \quad (19)$$

«Капитальные затраты на оборудование при реализации проектного технологического процесса $K_{об.пр.}$ рассчитываются с учётом цены оборудования по проектному варианту $\Pi_{об.пр.}$, коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{тз}$ и коэффициента загрузки оборудования K_z , расчётное значение которого составляет $K_z=0,15$. Из таблицы исходных данных принимается $\Pi_{об.пр.}=270$ тыс. рублей, $K_{тз}=1,05$. Капитальные затраты по на оборудование по проектному варианту составят

$$K_{об.пр.} = \Pi_{об.пр.} \cdot K_{тз} \cdot K_{зп} = 270000 \cdot 1,05 \cdot 0,15 = 42525 \text{ руб.} \quad (20)$$

Далее рассчитывают расходы на демонтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на демонтаж $K_{дем}=0,05$ и цены оборудования $\Pi_{об.б.}=140$ тыс. рублей определяют как

$$P_{дем} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{д} = 140000 \cdot 0,05 = 7000 \text{ руб.} \quad (21)$$

Далее рассчитывают расходы на монтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на монтаж $K_{\text{мон}}=0,05$ и цены оборудования $C_{\text{об.пр.}}=270$ тыс. рублей определяют как

$$P_{\text{монт}} = C_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{м}} = 270000 \cdot 0,05 = 13500 \text{ рублей.} \quad (22)$$

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

$$K_{\text{соп}} = P_{\text{дем}} + P_{\text{монт}} = 7000 + 13500 = 20500 \text{ рублей.} \quad (23)$$

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

$$K_{\text{общ. пр.}} = K_{\text{об. пр.}} + K_{\text{соп.}} = 42525 + 20500 = 63025 \text{ рублей.} \quad (24)$$

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

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общпр}} - K_{\text{общб}} = 63025 - 14910 = 48115 \text{ рублей.} \quad (25)$$

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

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

Для базового варианта технологического процесса величина удельных капитальных затрат составляет $K_{\text{уд}} = 14910/500 = 30$ рублей» [13] за один стык трубопровода. Для проектного варианта технологического процесса величина удельных капитальных затрат составляет $K_{\text{уд}} = 63025/500 = 126$ рублей за один стык трубопровода. Полученные капитальные затраты позволяют выполнить расчет показателей эффективности.

4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей

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

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт\ б} - t_{шт\ пр}) \cdot 100 \% / t_{шт\ б} = (2,42 - 1,21) \cdot 100 \% / 2,42 = 50 \%. \quad (27)$$

Расчёт повышения производительности труда P_T :

$$P_T = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}) = (100 \cdot 50) / (100 - 50) = 100 \%. \quad (28)$$

Расчёт снижения технологической себестоимости» [13]:

$$\Delta C_{тех} = (C_{тех.б.} - C_{тех.пр.}) \cdot 100\% / C_{тех.б.} = (3170 - 1583) \cdot 100\% / 3170 = 50 \% \quad (29)$$

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

$$\mathcal{E}_{уг} = (C_{зав.б.} - C_{зав.пр.}) \cdot P_T = (6788 - 3390) \cdot 500 = 1699000 \text{ рублей}. \quad (30)$$

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

$$T_{ок} = K_{доп} / \mathcal{E}_{уг} = 48115 / 1699000 = 0,3 \text{ года}. \quad (31)$$

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

$$\mathcal{E}_T = \mathcal{E}_{уг} - E_H \cdot K_{доп} = 1699000 - 0,33 \cdot 48115 = 1683122 \text{ рублей}. \quad (32)$$

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

Выводы по экономическому разделу

В ходе выполнения экономического раздела выпускной квалификационной работы представлены исходные данные, характеризующие базовую и проектную технологию сварки при проведении ремонта технологических трубопроводов на предприятиях нефтехимии. На основании анализа особенностей протекания базового и проектного вариантов технологического процесса рассчитаны временные показатели производства. С использованием исходных данных проведен расчёт составляющих технологической себестоимости проведения сварочных работ, в ходе которого установлено, что внедрение предлагаемых технологических решений позволяет уменьшить размер фонда заработной платы и отчислений на социальные нужды за счёт повышения производительности труда. Также это привело к значительному уменьшению цеховых и заводских расходов, что положительно сказалось на уменьшении заводской себестоимости проведения сварочных работ. За счёт применения более прогрессивного оборудования и технологий при внедрении предлагаемых решений в производство удастся уменьшить трудоемкость выполнения работ на 50 %, повысить производительность процесса на 100 %. За счёт уменьшения размера основных составляющих технологической себестоимости её величина уменьшается на 50 %. При капитальных вложениях 48,1 тыс. рублей срок окупаемости составляет 0,3 года, а экономический эффект составляет 1,68 млн. рублей.

Размер ожидаемого экономического эффекта может быть многократно повышен при расширении области применения предлагаемых решений на другие производства и предприятия, выполняющие ремонт технологических трубопроводов.

На основании вышеизложенного следует признать эффективность внедрения предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технологических решений, что позволяет рекомендовать предлагаемые решения для внедрения на предприятиях нефтехимии.

Заключение

Выпускная квалификационная работа решает вопросы, связанные с повышением эффективности сварки при выполнении технологических трубопроводов нефтеперерабатывающих предприятий.

Базовая технология его изготовления предусматривает применение ручной дуговой сварки, недостатки которой в условиях современного производства начинают приобретать критический характер. Следует признать малую производительность процесса, ручной дуговой сварки, которая обусловлена рядом причин. Во-первых, при сварке постоянно приходится прерывать процесс на замену электрода, что помимо повышения трудоемкости, приводит к образованию высокого уровня дефектности сварного шва. Во-вторых, при сварке необходима очистка поверхности валиков металла от шлака, что также повышает уровень дефектности и трудоемкость выполнения работ. Третьим недостатком является вредность выделяющихся при сварке аэрозолей, что существенно усложняет работу сварщика и заставляет предприятие нести дополнительные потери на обеспечение безопасности труда. Четвертым недостатком является потеря электродного металла на разбрызгивание, угар и огарки, что также ухудшает экономические показатели сварочного производства.

На основании проведенных работ могут были сформулированы задачи выпускной квалификационной работы, решение которых обеспечит достижение поставленной цели.

При решении первой задачи выполнено обоснование выбора способа сварки стыков трубопровода, который должен быть выполнен на основании экспертной оценки рассматриваемых способов сварки.

При решении второй задачи выполнено расширение технологических возможностей выбранного способа сварки за счёт использования достижений отечественных исследователей-сварщиков в области управления сварочными процессами.

При решении третьей задачи выполнено составление проектной технологии сварки, которая предусматривает перечень операций технологического процесса, выбор оборудования и назначение оптимальных параметров режима сварки.

Проведена оценка возможности обеспечения безопасности труда, пожарной безопасности и экологической безопасности производственного участка, предназначенного для выполнения рассматриваемых в выпускной квалификационной работе мероприятий. На основании анализа особенностей выполнения операций проектного технологического процесса удалось идентифицировать производственные факторы, негативное влияние которых на персонал не позволяет отнести их к нейтральным факторам и заставляет рассматривать вопрос их нейтрализации с применением как стандартных решений по обеспечению безопасности труда, так и специально разрабатываемых методик и средств. Предложены мероприятия по защите составляющих природы – атмосферы, литосферы и гидросферы от негативного воздействия со стороны производственного участка. Особое внимание следует уделить селективному сбору промышленных отходов и недопустимости несанкционированного их выбрасывания, что может привести к загрязнению гидросферы и литосферы.

За счёт применения более прогрессивного оборудования и технологий при внедрении предлагаемых решений в производство удастся уменьшить трудоемкость выполнения работ на 50 %, повысить производительность процесса на 100 %. За счёт уменьшения размера основных составляющих технологической себестоимости её величина уменьшается на 50 %. При капитальных вложениях 48,1 тыс. рублей срок окупаемости составляет 0,3 года, а экономический эффект составляет 1,68 млн. рублей. Выполнение оценочного экономического раздела позволило заключить, что внедрение в производство предлагаемых решений позволяет повысить экономические показатели предприятия. Таким образом, поставленная цель может считаться достигнутой.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
2. Вертакова Ю. В., Плотников В. А. Перспективы импортозамещения в высокотехнологичных отраслях промышленности // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 7-20.
3. Вышемирский Е. М. Исследование свариваемости и разработка технологии сварки высокопрочных трубных сталей в условиях Крайнего Севера: Дис ... канд. техн. наук: 05.03.06 / Евгений Мстиславович Вышемирский : Российский гос. ун-т нефти и газа имени И. М. Губкина. Москва. 2009.
4. Гаврилов С. Н. Хинцов О. В., Ниров А. Д. Перспективы применения и разработки сварочных материалов для сварки аустенитных хромоникелевых сталей в монтажных условиях // Научный журнал КубГАУ. 2013. № 4. С. 18–29.
5. Гончаров Н. Г., Колесников О. И., Юшин А. А. Особенности технологии сварки труб из высокопрочных сталей // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. № 6. С. 54–59.
6. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
7. Дубинина Н. А., Мичурина О. Ю., Кудрявцева О. В. Основные направления повышения энергоэффективности на предприятиях нефтегазовой отрасли // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2021. № 4. С. 80-85.
8. Князьков А.Ф., Крампит Н.Ю., Крампит А.Г. Устройство для импульсно-дуговой сварки // Ремонт, восстановление, модернизация. 2004. № 6. С. 26–28.
9. Князьков А. Ф., Федько В. Т., Крампит Н. Ю. Искусственная формирующая линия в силовой части модулятора ИРС-1200АДМ // Ремонт, восстановление, модернизация. 2003. № 12. С. 28-30.

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

11. Крампит Н. Ю., Крампит А. Г., Князьков С. А. Исследования влияния параметров импульсов на формирование шва при импульсном питании сварочной дуги // Автоматизация и современные технологии. 2004. № 2. С. 3-8.

12. Крампит Н. Ю., Крампит А. Г., Князьков С. А. Особенности импульсного управления процессом сварки в CO_2 длинной дугой // Автоматизация и современные технологии. 2002. № 9. С. 12-15.

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

14. Лебедева М. И., Богданов А. В., Колесников Ю. Ю. Аналитический обзор статистики по опасным событиям на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности // Технологии техносферной безопасности. 2023. № 4. С. 11-18.

15. Лебедев В. А., Кузьмин С. А., Новгородский В. Г. Управление процессом механизированной сварки в углекислом газе с использованием параметров переноса электродного металла // Сварочное производство. 2002. № 5. С. 6-14.

16. Лебедев В. А., Лендел И. В. Совершенствование механизированной дуговой сварки и наплавки нержавеющей сталей с импульсной подачей электродной проволоки // ВІСНИК Донбаської державної машинобудівної академії. 2016. № 2. С. 156–159.

17. Ленчук Е. Б. Научно-технологическое развитие России в условиях санкционного давления // Экономическое возрождение России. 2022. № 3. С. 52-60.

18. Мазур А. А., Маковецкая О. К., Пустовойт С. В. Экономико-статистический обзор мирового и региональных рынков сварочных материалов // Автоматическая сварка. 2019. № 9. С. 45-51.
19. Маковецкая О. К. Состояние и тенденции развития мирового рынка основных конструкционных сварочных материалов и сварочной техники // Автоматическая сварка. 2015. № 10. С. 54-61.
20. Низаметдинов А. Ф., Хасанов Р. Р. Оценка факторов, оказывающих влияние на качество сварных соединений нержавеющей трубопроводов при изготовлении // Промысловые и трубопроводные системы. 2021. № 1. С. 63-65.
21. Павлова И. А., Павлов А. С. Техничко-экономический анализ при внедрении инновации на производственном предприятии // Экономический анализ: теория и практика. 2014. № 40. С. 14–21.
22. Патент № 2133660 РФ. Способ импульсно дуговой сварки / Князьков А.Ф., Крампит Н.Ю., Петриков А.В.; Опубл. 27.07.1999 г.
23. Пинчук А. В., Кондратов Л. А. Развитие производства труб в России за последние годы // Металлург. 2011. № 6. С. 8–16.
24. Размышляев А. Д., Миронова М. В. Особенности проплавления основного металла при дуговой наплавке в продольном магнитном поле // автоматическая сварка. 2008. № 8. С. 24-28.
25. Размышляев А. Д., Миронова М. В., Дели А. А. Особенности процесса проплавления металла при аргонодуговой сварке вольфрамовым электродом в продольном магнитном поле // Вестник Приазовского государственного технического университета. 2009. № 19. С. 185–187.
26. Синкина Е. А., Кривоносова Е. А. Влияние типа покрытия на коррозионную стойкость металла шва стали 08Х18Н10Т // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. 2011. № 4. С. 79-84.
27. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов. М. : Лань. 2019. 268 с.

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

29. Сугак Е. В., Григорьев А. А. Обеспечение надежности трубопроводов нефтеперерабатывающих предприятий // Вестник магистратуры. 2016. № 8. С. 13-18.

30. Фёдоров А. В. Автоматизированный контроль взрывопожароопасности и экологической напряженности воздушной среды объектов топливно-энергетического комплекса // Проблемы управления в чрезвычайных ситуациях. М. : Институт проблем управления, 1995.

31. David S.A., Goodwin G.M., Braski D.N. Solidification behavior of austenitic stainless steel filler metals. Welding Journal. 1979. № 11. P. 330–336.

32. Katayama S., Fujimoto T., Matsunawa A. Correlation among solidification process, microstructure, microsegregation and solidification cracking susceptibility in stainless steel weld metals (materials, metallurgy & weldability) // Transactions of JWRI. 1985. №. 1. С. 123–138.