

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 металлов давлением и родственные процессы» (наименование)

15.03.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Оборудование и технология сварочного производства»

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технология сборки и сварки тройниковых отводов
трубопровода ВОДЫ

Студент

В.О. Самарин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

К.т.н., доцент

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

Г.М. Короткова

Консультанты

К.т.н., доцент

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

Н.В.Зубкова

К.т.н., доцент

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

А.Н.Москалюк

Тольятти 2020

Аннотация

Данная выпускная квалификационная работа посвящена проектированию и разработке технологии экстренного восстановления трубопровода горячей воды. В данной работе рассмотрено применение механизированной сварки в среде защитных газов.

В настоящее время, на многих предприятиях применяется уже известный способ сварки, ручной электродуговой штучными электродами, он обладает рядом достоинств и ценится за свою простоту использования. Но порой достоинств данного способа сварки недостаточно по различным причинам.

В данной работе рассматривается экстренный ремонт трубопровода с максимальной скоростью. Целью работы является выбор и внедрение наиболее производительного способа сварки: механизированной сварки в среде защитных газов.

При выполнении работы рассмотрены различные способы сварки, рекомендованные РД, их особенности и недостатки, и обоснование выбранного способа сварки. Разработана технология восстановления технологического трубопровода котельной установки в экстренных условиях. Разработанную технологию ремонта, рассмотренную в выпускной квалификационной работе, рекомендуется применять в тех случаях, когда это экономически и технологически обосновано.

Объем бакалаврской работы составляет 65 страниц, и включает в себя 15 рисунков, 13 таблиц, 23 источника.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ конструкции трубопровода технической воды	5
1.1 Описание конструкции трубопровода	5
1.2 Характеристика материала трубопровода.....	6
1.3 Типовой технологический процесс сборки и сварки трубопровода	7
1.4 Рекомендации руководящих документов по выбору способов сварки трубопровода и сварочного материала	12
2 Проектирование технологии сборки и сварки тройниковых отводов трубопровода воды.....	15
2.1 Выбор способа сварки для ремонта трубопровода	15
2.2 Определение параметров режима механизированной сварки плавающимся электродом сплошного сечения	18
2.3 Выбор источника питания и горелки для механизированной сварки в среде защитных газов	21
2.4 Выбор центровочного устройства и опоры	24
2.5 Разработка технологии сборки и сварки тройникового отвода трубопровода	27
2.5.1 Вырезка тройника	27
2.5.2 Входной контроль.....	27
2.5.3 Подготовка кромок трубопровода и тройника к сварке	28
2.5.4 Зачистка кромок.....	29
2.5.5 Сборка тройника с трубопроводом	30

2.5.6 Сварка трубопровода.....	31
2.5.7 Контроль качества сварки трубопровода	32
3 Безопасность и экологичность проекта	35
3.1 Сущность технологического процесса	35
3.2 Анализ опасный и вредных факторов.....	35
3.3 Мероприятия по уменьшению влияния.....	37
3.4 Заключение по разделу.....	38
4 Экономическая эффективность технологии восстановления.....	39
Заключение	60
Список используемых источников.....	61

Введение

В данной работе рассматривается трубопровод, используемый для подачи горячей воды на производственный объект. На участке трубопровода, подачи воды находится деталь, которая рассматривается в данной выпускной квалификационной работе. Такой деталью является равнопроходный бесшовный тройник, который служит для слияния или деления потоков транспортируемой воды под углом от 45 градусов до 90.

При эксплуатации трубопровода детали подвержены воздействию пара и горячей воды, что приводит к возникновению коррозии. Так как остановка подачи воды на объект, может понести за собой отрицательные последствия, такие как: полная остановка и нарушение технологии производства, что повлечёт за собой колоссальные убытки, поэтому данную операцию ремонта важно произвести в максимально быстрый срок.

Для транспортировки технической воды в выпускной квалификационной работе рассматривается трубопровод, изготовленный из низколегированной стали. В данном случае используется для изготовления трубопровода - сталь 09Г2С. Водяной технологический трубопровод, как правило эксплуатируется при условиях: температура воды (пара) не более 120 ° С , давление до 0,07 МПа. Сталь 09Г2С хорошо сваривается всеми известными способами сварки плавлением, поэтому необходимо выбрать наиболее производительный способ сварки.

Применение для ремонта трубопровода воды тройниковых отводов в современных условиях весьма актуально.

Цель данной работы – сокращение длительности ремонта в экстренных условиях за счет внедрения более производительного способа сварки тройниковых отводов и оборудования для его осуществления.

1 Анализ конструкции трубопровода технической воды

Технологический трубопровод является неотъемлемой частью котельных установок. Котельная установка – это сооружение, в котором осуществляется нагрев рабочей жидкости и дальнейшая транспортировка на объекты. Котельная может передавать как горячую воду, так и пар [1,2,3]. Передача ресурса от котельной установки к объектам, производится посредством технологического трубопровода. Трубопровод считается технологическим, если он эксплуатируется на промышленном предприятии для транспортировки воды, пара, сырья, полуфабрикатов, реагентов, топлива и т.п., а также для проведения технологического процесса и эксплуатации оборудования [2]. Подбор материала трубопровода производится исходя из того, какой ресурс проходит по данному трубопроводу. Для транспортировки технической воды в данной работе рассматривается трубопровод, изготовленный из низколегированной стали, которая используется для изготовления сварных конструкций - сталь 09Г2С. Для водяного технологического трубопровода существуют рабочие условия, такие как: температура воды (пара) не более 120 °С и давление до 0,07 МПа.

1.1 Описание конструкции трубопровода

В данной работе рассматривается технологический трубопровод (рисунок 1.1.), который состоит из следующих комплектующих узлов.

1. Трубы прямые бесшовные (позиции 2,4,6,8,10) — диаметром 219 мм, толщиной 8 мм [4].
2. Тройник равнопроходный бесшовный (позиция 5) – диаметром 219мм, толщиной 8 мм [5].
3. Отводы секторные сварные (позиции 3,9) — диаметром 219 мм, толщиной 8 мм [6].
4. Фланцы воротниковые (позиции 1,7,11) — поковка [7].

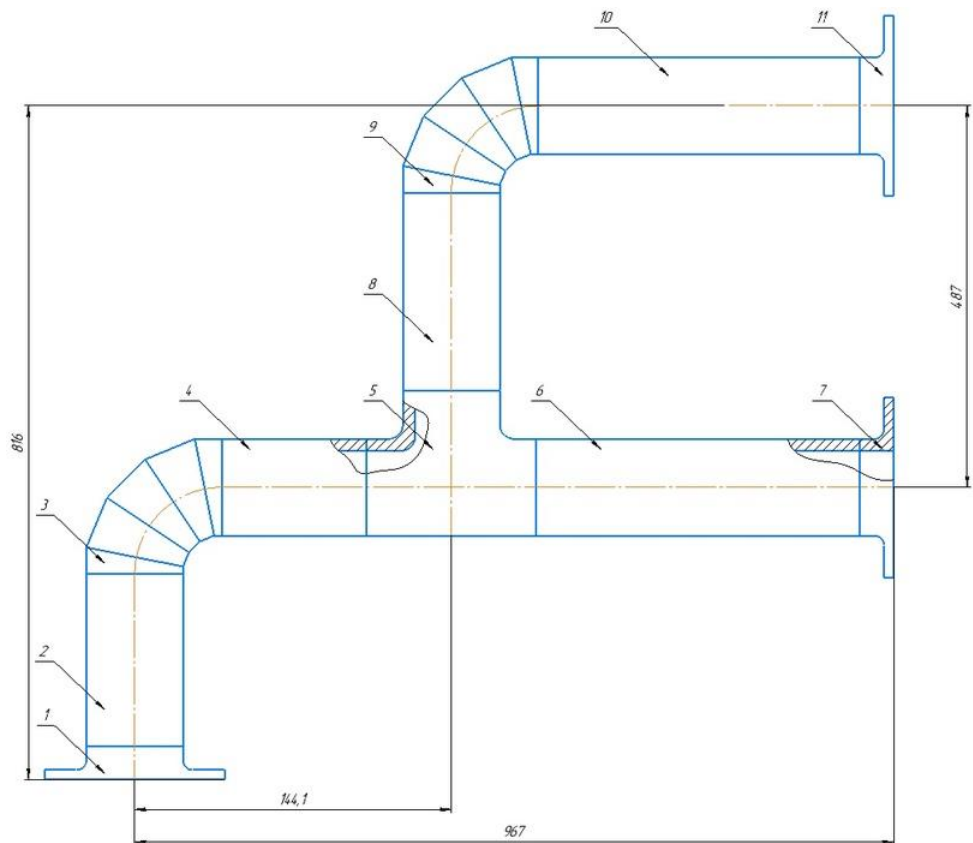


Рисунок 1.1 – Участок технологического трубопровода воды

1.2 Характеристика материала трубопровода

В качестве материала трубопровода в данной работе выбрана сталь 09Г2С. Сталь конструкционная низколегированная предназначена для сварных конструкций и широко применяется при производстве труб и другого металлопроката. Детали, изготовленные из данной стали, работают при температурах от -70 до $+425$ под давлением. Сталь 09Г2С обладает хорошей свариваемостью, что позволяет проводить сварочные работы без предварительного подогрева и термообработки после сварных работ.

В работе приведены таблицы 1.1 и 1.2, содержащие информацию о химическом составе и физико-механические свойства рассматриваемой стали.

Таблица 1.1 - Химический состав стали 09Г2С в процентном содержании [4]

С	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	N	As	S	P
до 0,12	0,5 – 0,8	1,3 – 1,7	до 0,3	до 0,3	до 0,3	до 0,008	до 0,08	до 0,04	до 0,035

Таблица 1.2 - Физико-механические свойства стали 09Г2С при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ [4]

Плотность ρ , кг/м ³	Температура плавления $T_{пл}$, °C	Предел прочности σ_B , МПа	Предел текучести σ_T , МПа	Относительное удлинение δ , %
7850	1500	500	350	21

Маркировка стали 09Г2С означает следующее: в данной стали присутствует 0,09% углерода, буква Г указывает на содержание марганца, а цифра, следующая дальше на процент, итого 2% марганца, буква «С» - наличие кремния, менее 1%. У данной стали есть отечественные аналоги: 09Г2, 09Г2ДТ, 09Г2Т, 10Г2С. Благодаря высокой механической прочности, сталь 09Г2С применяют в прокате различных строительных конструкций [4]. Из-за низкого содержания углерода в данной стали, сварка стали 09Г2С проста, так как она не закаливается и не перегревается в процессе сварки, благодаря чему не происходит снижение пластичных свойств и увеличению зернистости. Данная сталь не склонна к отпускной хрупкости и ее вязкость не снижается после отпуска [4].

1.3 Типовой технологический процесс сборки и сварки трубопровода

Базовым способом сварки является ручная дуговая покрытым электродом.

Перед процессом сборки и сварки необходимо провести входной контроль. Прежде всего, проверяется наличие клейм, маркировок, а также

сертификатов завода изготовителя на поступившие детали, для подтверждения их назначения. При отсутствии этих данных, поступившие детали не допускаются к дальнейшей обработке, без проведения дополнительных испытаний, которые подтвердят соответствия требованиям.

Сборка разбивается на следующие технологические операции.

1. Подготовка кромок труб.
2. Сборка стыков трубопроводов.
3. Прихватка стыков трубопроводов.
4. Сварка стыков трубопровода.

Подготовка кромок производится следующим путем. Согласно ГОСТ 14771-76 выбирается форма разделки концов труб, исходя из толщины стенки, минимального наружного диаметра и выбранного способа сварки[8]. После выбора и последующей разделки концов трубы, требуется обязательно осуществить зачистку кромок механическим способом. Поверхность должна быть зачищена до металлического блеска на ширину 120 ± 5 мм, включая торцы, скошенные кромки, и прилегающие к ним поверхности. Далее производится сборка стыков труб. Согласно РД 153-34.1-003-01, стыки труб необходимо собирать в последовательности, обеспечивающей свободный подход к стыкам для их сварки и контроля качества швов, а также для переварки стыков [1],

Сборку следует производить на специальном стенде, обеспечивающем правильное взаимное расположение элементов. Однако ремонт, рассмотренный в данной ВКР, производится в условиях, когда не предусматривается полный демонтаж, поэтому используются временные опоры на расстоянии не более 1 м от стыка, чтобы исключить провисание труб, и снизить нагрузку на сварной шов при сварке [19]. Временные опоры убираются после полной сварки всего сечения трубы.

При сборке стыков труб рекомендуется использовать центровочные приспособления. Предпочтение отдается инвентарным, непривариваемым к трубам приспособлениям [1]. Прямолинейность труб в месте стыка

(отсутствие переломов) и смещение кромок проверяют линейкой длиной 400мм, прикладывая ее в трех-четырех местах по окружности стыка. В правильно собранном стыке максимально допустимый просвет между концом линейки и поверхностью трубы должен быть не более 1.5мм на расстоянии 200мм от стыка, в сваренном стыке – не более 3мм. Необходимо предусмотреть возможность свободной усадки металла шва в процессе сварки, категорически запрещается выполнять сборку стыка с натягом. После того, как учтены указанные требования и рекомендации, переходят к выполнению прихваток.

Собранные стыки труб и других элементов необходимо прихватывать в нескольких местах. Прихватки на месте пересечения швов не допускаются. Прихваточные швы рекомендуется выполнять тем же способом сварки, что и корневой. Корневой слой шва выполняется ручной дуговой сваркой. Прихватки выполняются ручным дуговым способом покрытыми электродами [1].

В соответствие с руководящим документом сварка стыков трубопроводов происходит таким способом: корневую часть – ручной дуговой сваркой покрытым электродом (РДС). Остальное сечение – ручной дуговой сваркой покрытыми электродами (РДС). При этом стык сваривают без остающегося подкладного кольца. При прихватке должен применяться тот же присадочный материал, который используется для сварки корневого слоя. Прихватки должны быть расположены равномерно по периметру стыка, но не рекомендуется ставить прихватки на потолочный участок стыка. К качеству прихваток предъявляются такие же требования, как и к сварному шву, поэтому прихватки необходимо выполнять с полным проваром [1].

Подбор сварочного материала и выбор режимов прокали также описывается в рекомендательном документе. Для ручной дуговой сварки стыков трубопроводов из углеродистых, низколегированных и высоколегированных сталей необходимо применять электроды, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 9466, ГОСТ 9467, ГОСТ 10052 [1].

Марка электродов выбирается в зависимости от марки свариваемой стали 09Г2С. В базовой технологии это - УОНИ 13/55.

Перед сваркой стыков и испытаниями электроды должны быть прокалены по режиму, приведенному в соответствующем документе или этикетке. Если данная информация отсутствует, необходимо выбрать режим прокалики по таблице, приведенной в РД (таблица 1.3) [1]. Прокалка электродов может производиться не более трех раз. Если после трехкратной прокалики электроды показали неудовлетворительные сварочно-технологические свойства, то применение их для сварочных работ не допускается. Выбрав электродные материалы, подбираются режимы прокалики.

Таблица 1.3 – Выбор электродного материала и режимов прокалики [1]

Способ сварки	Электродный материал	Температура прокалики, °С	Время прокалики, ч
РДС	УОНИ 13/55	360±20	2±0,5

Контроль качества прихваток проводится визуально. Если при визуальном контроле, обнаружены недопустимые дефекты, их следует удалить механическим способом.

По нормам, приведенным в РД, выбирается число прихваток. Диаметр трубопровода в данной работе составляет 219мм, что соответствует категории «свыше 100 до 426», говорящей о том, что число прихваток будет составлять 3 - 4, с протяженностью одной прихватки в 30 – 40 мм.

После прихватки стыков труб, рекомендуется продолжить сварку стыков. Для низколегированных теплоустойчивых сталей, промежутков времени между окончанием выполнения прихваток и началом сварки стыков, должен быть не более 4 часов [1]. В процессе сварки должен быть обеспечен полный провар корня шва и заделка кратера. После наплавки каждого валика, необходимо полностью удалить шлак после его охлаждения.

При обнаружении дефекта, следует удалить его механическим путем, до «голового» металла, и заново заварить. Сварку данной стали требуется проводить непрерывно, если же по иным причинам это не удалось достичь, сварное соединение трубопроводов обязательно подлежит контролю УЗД по всему периметру шва. Независимо от технологии наложения облицовочного слоя, выполненного ручной дуговой сваркой, он должен отвечать таким требованиям, как:

- иметь равномерную чешуйчатость с размером чешуек 1 – 1,5 мм;
- отсутствие западаний между валиками;
- иметь плавный переход от одного валика к другому и к поверхности трубы;
- выпуклость шва следует выдержать в пределах, указанных в РД;
- перекрытие крайними валиками кромок труб должен быть 1 – 3 мм.

В данной работе производится сварка трубопровода из стали 09Г2С, толщиной стенки в 8 мм. Данные критерии нам понадобятся для определения требования к температуре окружающего воздуха при сварке и прихватке элементов трубопровода. Исходя из таблицы, приведенной в РД, при номинальной толщине металла <10мм, минимальная температура для подогрева составляет -20 °С окружающего воздуха [1]. С учетом того, что данный ремонт трубопровода проводился в весенний период, с температурой наружного воздуха в 10 °С, подогрев не применялся.

После завершения сварочных работ трубопровода, требуется независимо от имеющегося оборудования провести визуально-измерительный контроль (ВИК) [20]. При помощи увеличительного стекла, измерительных приборов и шаблонов, проверяется геометрия сварного шва. После ВИК применяются другие, более точные методы контроля, такой как: ультразвуковой. Если при проведении неразрушающегося контроля, были выявлены дефекты, то потребуются переварить участок с дефектом. Если уже нет возможности произвести сварку, данный трубопровод не допускается к эксплуатации.

1.4 Рекомендации руководящих документов по выбору способов сварки трубопровода и сварочного материала

В данной работе производится сварка трубопровода, работающего под давлением с температурой воды в 90 градусов. По данным условиям эксплуатации подобраны рекомендации руководящего документа: РД-153-34.1-003-01. «Сварка, термообработка и контроль трубных систем котлов и трубопроводов при монтаже и ремонте энергетического оборудования (РТМ-1с)» [1].

В данном документе описывается технология сборки и сварки стыков труб трубопровода, типы сварных соединений, подбор материалов и методы неразрушающего контроля трубопровода, работающих при давлении до 2,2 МПа и температуре до 425 °С [1].

Для данных работ по ремонту и восстановлению трубопровода, работающего под давлением до 2,2 МПа, согласно данному РД можно применять следующие виды сварки [1]:

- 1) ручная и автоматическая аргодуговая неплавящимся электродом;
- 2) ручная дуговая покрытыми электродами;
- 3) автоматическая под флюсом, механизированная в углекислом газе, механизированная порошковой проволокой;
- 4) газовая ацетилено-кислородная;

В итоге получается, что выбор способа сварки достаточно широк. Из приведенных способов сварки выбирается проектный вариант. Базовым способом сварки является ручная дуговая покрытым электродом, так как ранее производились ремонтные работы конкретно этим способом сварки.

Согласно руководящему документу, для данных работ рекомендуется применять механизированную сварку в среде углекислого газа (двуокиси углерода) и автоматическую сварку под слоем флюса для соединения труб из углеродистых и кремнемарганцовистых сталей. Сталь 09Г2С, относится к такому типу кремнемарганцовистых сталей. Исходя из этого, проектным

вариантом выбирается механизированная сварка плавящимся электродом, так как оправдывается нормативно-технической документацией.

Для механизированной в углекислом газе необходимо применять сварочную проволоку сплошного сечения, удовлетворяющую требованиям ГОСТ 2246 [1]. Марка сварочной проволоки подбирается по приведенной в РД таблице. Поверхность проволоки сплошного сечения должна быть чистой, без окалины, ржавчины, масла и грязи. При необходимости ее очищают от ржавчины и грязи пескоструйным аппаратом или травлением в 5%-ном растворе соляной или ингибированной кислоты. Разрешается очищать проволоку, пропуская ее через специальные механические устройства (в том числе через устройства, заполненные сварочным флюсом, кирпичом, осколками, наждачным кругом и войлочными фильтрами). Перед очисткой бухту проволоки рекомендуется отжечь при 150 - 200 °С в течении 1,5 – 2 часов [1]. Также разрешается очищать проволоку наждачной шкуркой или другим способом до металлического блеска. При проведении очистки проволоки, предназначенной для механизированной сварки, не допускаются ее резкие перегибы. В руководящем документе приведены сводные таблицы с отечественными электродами и проволокой, их химический состав и механические свойства наплавленного металла вышеупомянутого электродного материала, что упрощает подбор электродной проволоки для стали 09Г2С. В связи с этим для механизированной сварки плавящимся электродом выбирается электродная проволока марки Св-08Г2С. Устанавливаются параметры режима прокатки (таблица 1.4).

Таблица 1.4 – Выбор электродного материала и режимов прокатки [1]

Способ сварки	Электродный материал	Температура прокатки, °С	Время прокатки, ч
Механизированная	Св-08Г2С	150-200	1,5-2

Таким образом, исходя из условий эксплуатации трубопровода воды с тройниковыми отводами, учитывая особенности его конструкции и условия

эксплуатации, а также требования нормативных и руководящих документов по сварке и восстановлению трубопроводов, для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Выбрать сварочное оборудование для механизированной сварки плавящимся электродом:

- источник питания сварочной дуги,
- механизм подачи присадочной проволоки,
- центраторы для сборки стыков трубы с тройниковыми отводами,
- конструкцию опоры для сборки стыков наружного трубопровода,
- способ поставки защитного газа.

2. Разработать технологию механизированной сварки плавящимся электродом тройникового отвода в среде защитных газов.

3. Экономически обосновать технологический процесс.

2 Проектирование технологии сборки и сварки тройниковых отводов трубопровода воды

2.1 Выбор способа сварки для ремонта трубопровода

В разделе 1.4 приведены способы сварки, которые рекомендованы нормативной документацией. Учитывая условия проведения ремонта и поставленную цель, проводится обоснование выбора способа сварки.

Ручная аргонодуговая сварка неплавящимся электродом (РАД) при сварке трубопроводов рекомендуется применять для заварки корневого шва. Ремонт производится в экстренных условиях, где целью является ускорение процесса ремонта.

В базовом варианте применяется ручной дуговой способ сварки покрытыми штучными электродами, а в проектном предлагается механизированный способ сварки в среде защитных газов. Но кроме этих способов сварки применяются и другие способы получения неразъемных соединений. (рисунок 2.1).

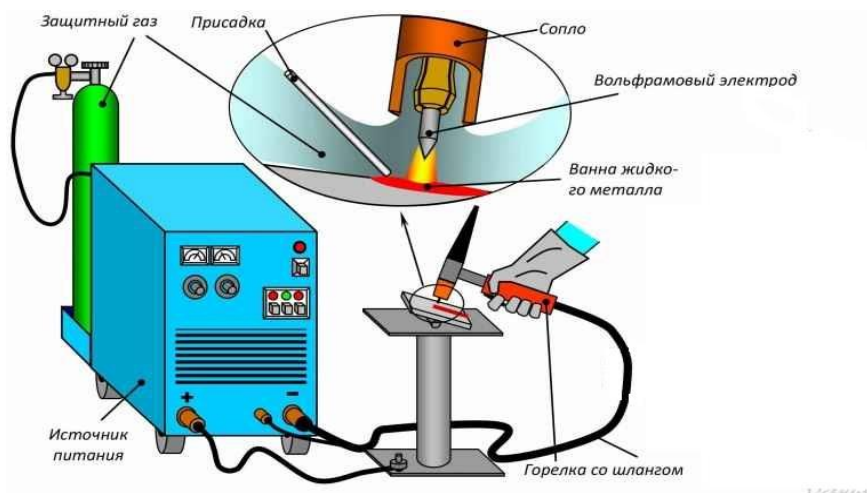


Рисунок 2.1 – Схема ручной аргонодуговой сварки

Данный способ сварки чаще всего применяется при сварке цветных металлов и сплавов, а также легированных сталей, а не низколегированных. У данного вида сварки есть свои достоинства: возможность получить надежное соединение благодаря эффективной защите области выполнения

шва, незначительный нагрев свариваемых частей, что позволяет использовать технологию для сварки сложных по конфигурации заготовок. Но в нашей работе важна высокая производительность и легкость использования. В нормативной документации говорится о том, что прихваточные швы и корневой проход рекомендуется производить РАД. В проектируемой технологии сборки и сварки прихваточные швы и корневой шов не планируется проводить РАД.

Автоматическая аргодуговая сварка неплавящимся электродом имеет высокую производительность, относительно других способов сварки, рекомендуемых в РД. Использование этого метода сварки является нецелесообразным и экономически невыгодным для конкретного трубопровода. Кроме этого оборудование для автоматической аргодуговой сварки неплавящимся электродом является весьма громоздким, чего в данной работе необходимо избежать.

Автоматическая сварка под флюсом, имеет те же достоинства и недостатки, что и автоматическая аргодуговая сварка неплавящимся электродом. Поэтому данный способ сварки не рассматривается.

Газовая ацетилено-кислородная сварка – одна из самых неподходящих видов, предложенных в РД, для данного ремонта. Газовая ацетилено-кислородная сварка - неэффективная для сварки металла толщиной 8 мм, что делает его низко производительным [21; 22; 23]. Однако данный способ сварки рекомендуется для полевых ремонтов тонкостенного металла до 3-5 в условиях отсутствия электропитания [9].

Механизированная сварка плавящимся электродом сплошного сечения в среде углекислого газа в рассмотренных условиях является наиболее подходящим из предоставленных в РД вариантов (рис. 2.2). Производительность сварки этого способа в полтора-два раза выше, чем у ручных вариантов [10]. Механизированная сварка плавящимся электродом сплошного сечения в среде углекислого газа подходит для ремонтных работ по многим критериям: современное оборудование для механизированной

сварки не является габаритным, что облегчает транспортировку оборудования и подготовку к сборке и сварке; сварочным материалом в данном случае является сварочная проволока, которая имеет относительно малую стоимость. Средством защиты металла является не просто CO₂, а смесь газов аргона и углекислоты, в соотношении 75% и 25 %, что снижает разбрызгивание электродной проволоки в процессе сварки. Согласно авторам работы [11], применение такой смеси обеспечит плавные переходы с валика шва на основной металл, хорошее формирование металла шва, также данная смесь обладает сочетанием отличных технологических и металлургических свойств.

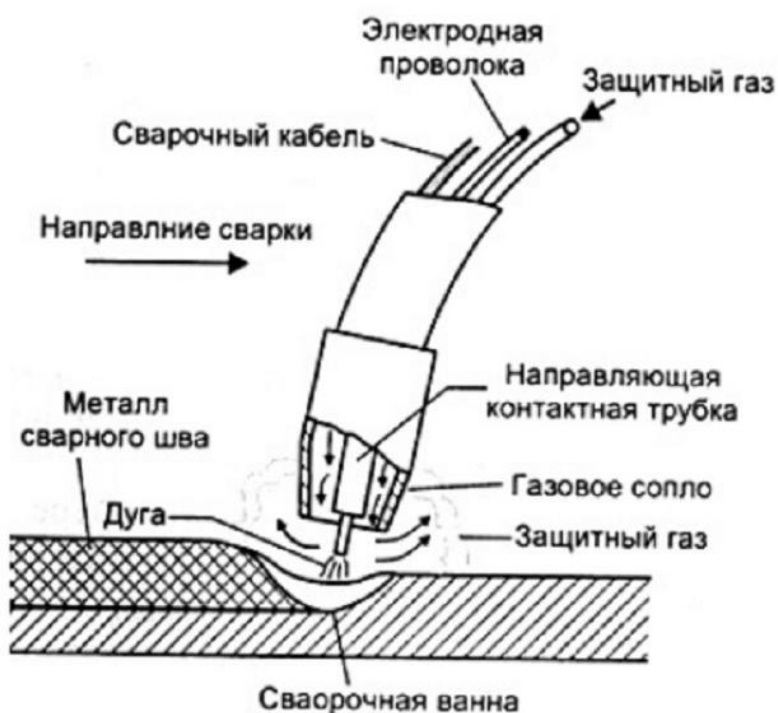


Рисунок 2.2 – Механизированная сварка в среде защитного газа

Механизированная сварка порошковой проволокой в среде защитного газа отличается от механизированной сварки плавящимся электродом сплошного сечения газовой защитой места сварки [10]. Преимуществом этого вида сварки является: наиболее качественное легирование металла шва; отсутствие надобности в газовой защите, так как порошковая проволока обеспечивает необходимую защиту металла шва. Но в сравнении с обычной

проволокой сплошного сечения, данная проволока имеет большую стоимость, что при выборе между сваркой в защитных газах и сваркой порошковой проволокой является экономически не выгодно. Несмотря на достоинства данного способа, применение в данном случае не имеет смысла, так как Украина продала авторские права на рецепты порошковой проволоки и оборудование для сварки США.

Таким образом, в проектном варианте применяется механизированная сварка плавящимся электродом сплошного сечения в защитной среде смеси углекислого газа и аргона, в соотношении 75% и 25 % с разделкой кромок. Корневой шов и последующие швы, а также облицовочный шов выполняются одним и тем же способом.

2.2 Определение параметров режима механизированной сварки плавящимся электродом сплошного сечения

Для определения параметров механизированной сварки в среде защитных газов используется метод расчета предложенный А.М. Попковым [12]. На рисунке 2.3 приведена схема расчета сечения шва. При толщине стенки трубы 8 мм предусматривается разделка кромок, которая показана на схеме для расчета. Все действия расчета производятся согласно работе [12].

Расчет начинается с определения площади сечения расплавленных кромок F_p , которую можно определить по формуле (1)

$$F_p = e \cdot s - F_3 - 2 \cdot F_n, \quad (1)$$

где e - ширина шва, мм;

s - толщина свариваемого металла, мм;

F_3 – площадь расплавленного металла, который находится в пределах зазора кромок, мм² ;

F_n – площадь под поверхностью сварного шва, необходимая для расчета F_p , мм² .

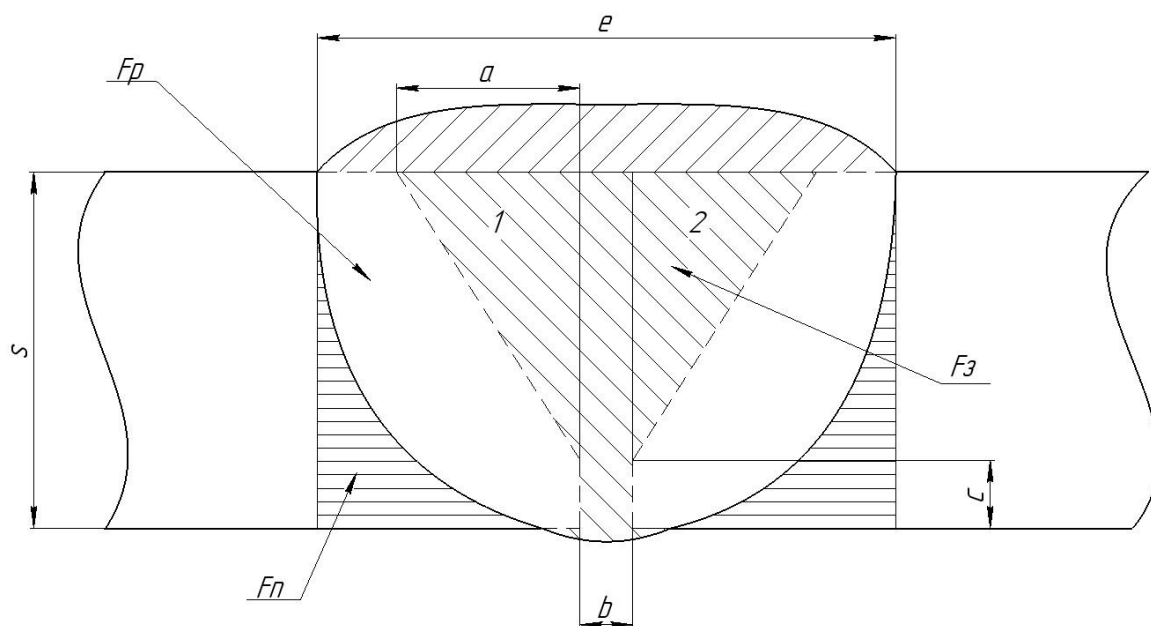


Рисунок 2.3 – Схема для определения режимов механизированной сварки в защитных газах со скосом двух кромок

Площадь F_3 , является суммой двух треугольников F_1 , F_2 и площади зазора между ними. Площадь зазора равна $b \cdot s$, где b – зазор между притуплениями кромок.

Обратившись к ГОСТ 14771-76 [8], определим расчетные параметры шва: $e = 10$ мм, $b = 1$ мм, $s = 1$ мм. Далее определяются площадь F_n , по формуле (2):

$$F_n = \frac{1}{6} \cdot e \cdot s \quad (2)$$

Площадь F_3 определяется следующей формулой:

$$F_3 = b \cdot s + F_1 + F_2 \quad (3)$$

Рассчитаем площади F_1 , F_2 , как площади прямоугольных треугольников (4):

$$F_1 = F_2 = \frac{1}{2} \cdot a \cdot (s - c) \quad (4)$$

В формуле (4), a – катет треугольника, получим его при помощи программы КОМПАС-3D™. Катет составит 4,15 мм. Подставим известные данные в формулу (4).

$$F1 = F2 = \frac{1}{2} * a * (s - c) = \frac{1}{2} * 4,15 * (8 - 1) = 14,525 \text{ мм}^2$$

После того, как рассчитаем площадь F, подставим данные в формулу (3):

$$F3 = b * s + F1 + F2 = 1 * 8 + 14,525 + 14,525 = 37,05 \text{ мм}^2$$

Далее рассчитаем Fп:

$$F_{\text{п}} = \frac{1}{6} * e * s = \frac{1}{6} * 10 * 8 = 13,333 \text{ мм}^2$$

После расчета полученные данные подставим в формулу (1):

$$F_p = e * s - F3 - 2F_{\text{п}} = 10 * 8 - 37,05 - 2 * 13,333 = 16,9 \text{ мм}^2$$

Определив Fp, рассчитаем ток сварки I_{св} и напряжение сварки U_{св}.

$$I_{\text{св}} = \frac{-k + \sqrt{k^2 + 4 \cdot r \cdot n}}{2r} \quad (5)$$

$$U_{\text{св}} = 0,04 \cdot I_{\text{св}} + 26 - 10\sqrt{d_{\text{э}}} \quad (6)$$

Для дальнейшего расчета требуется определить коэффициенты k, r, n по формулам:

$$r = 0,04\eta \quad (7)$$

$$k = (26 - 10\sqrt{d_{\text{э}}})\eta \quad (8)$$

$$n = Mv_{\text{св}} \cdot F_p \quad (9)$$

где η – тепловой КПД, который для механизированной сварки равен 0,308,

$d_{\text{э}}$ – диаметр сварочной проволоки, мм;

M – расход тепловой энергии на нагрев и расплавление для данного случая равен 9,8 Дж/мм³;

$v_{\text{св}}$ – скорость сварки, мм/с, принимаем среднюю равную 7,5 мм/с.

Подставим все известные данные в формулы, и рассчитаем коэффициенты:

$$r = 0,04\eta = 0,04 * 0,308 = 0,01232$$

$$k = (26 - 10\sqrt{d_{\text{э}}})\eta = (26 - 10\sqrt{1,6}) * 0,308 = 4,118$$

$$n = Mv_{св} * Fp = 9,8 * 7,5 * 16,9 = 1242,15$$

Теперь подставляем коэффициенты в формулы (5) и (6), тогда :

$$I_{св} = \frac{-\kappa + \sqrt{\kappa^2 + 4 \cdot r \cdot n}}{2r} = \frac{-4,118 * \sqrt{78,171}}{0,02464} = 192 \text{ А,}$$

$$U_{св} = 0,04 * I_{св} + 26 - 10\sqrt{dэ} = 0,04 * 192 + 26 - 10\sqrt{1,6} = 21\text{В}$$

Благодаря расчетам, *определены* параметры режима механизированной сварки в среде защитных газов плавящимся электродом, на основании которых проводится подбор сварочного оборудования. Источник питания для сварки в данном случае должен обеспечить величину сварочного тока ~ 192 А и напряжение 21 В.

2.3 Выбор источника питания и горелки для механизированной сварки в среде защитных газов

После расчетов величины тока и напряжения, необходимых для восстановления трубопровода, подбирается оборудование, которое должно соответствовать следующим требованиям:

- 1 MIG/MAG сварка;
- 2 Компактность;
- 3 Малый вес оборудования;
- 4 Номинальный ток (200-250) А;
- 5 Рабочее напряжение в пределах (20-30) В;

В соответствии с ориентировочными параметрами режима сварки, полученными в результате расчета, выбирается отечественный сварочный инвертор «Форсаж-302» в комплекте с механизмом подачи электродной проволоки. Данный аппарат выпускается для MIG/MAG сварки: аргонодуговой (ручной) и механизированной сварки плавящимся электродом. Это в дальнейшем позволит использовать данный сварочный

аппарат для других сварочных работ. Характеристики данного источника питания приведены в таблице 2.1 [13].

Таблица 2.1 - Технические характеристики «Форсаж-302» [13]

Характеристика	Количественная величина
Диапазон регулировки напряжения в режиме МИГ/МАГ, В	10 – 30
Диапазон регулировки сварочного тока в режиме МИГ/МАГ, А	20 – 315
Напряжение холостого хода, В	- в активном режиме – 70-100 - в безопасном режиме – <12
Максимальная мощность сети питания, кВА	17
Дистанционное управление	+
Напряжение питания механизма подачи проволоки, В	24
Габариты, мм	425x185x355
Масса, кг	14,3

Кроме источника питания, понадобится механизм подачи проволоки. Для более корректной работы используется механизм подачи проволоки «МПП ФОРСАЖ-МП» от того же производителя – Рязанского приборостроительного завода. В таблице 2.2 приведены характеристики механизма подачи проволоки [13]. Внешний вид инвертора и механизма подачи электродной проволоки приведены на рисунках 2.4 и 2.5. На рисунке 2.4 около механизма подачи проволоки показана катушка с электродной проволокой сплошного сечения.



Рисунок 2.4 – Сварочный инвертор «Форсаж-302» и механизм подачи проволоки «МПП ФОРСАЖ-МП»

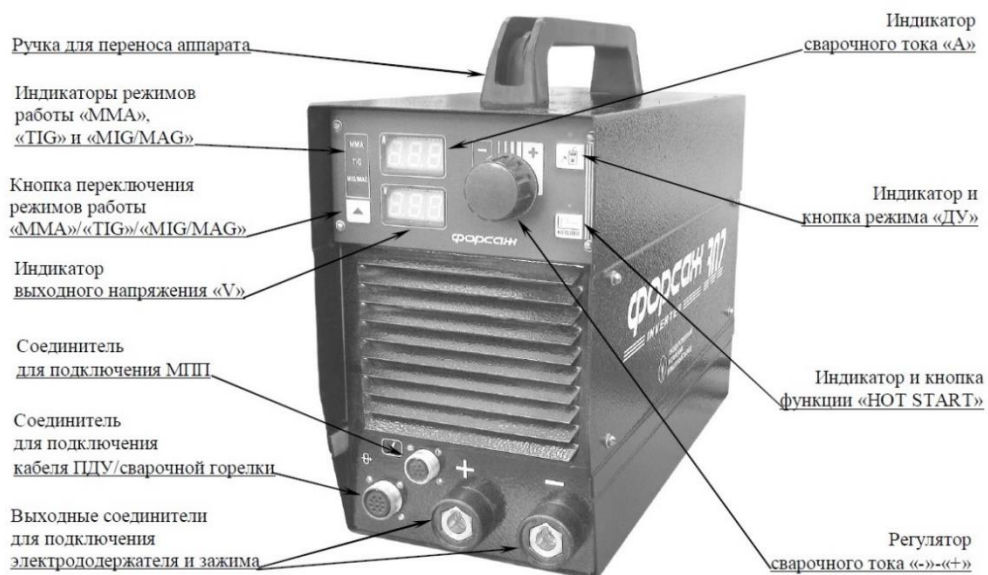


Рисунок 2.5 – Панель управления «Форсаж-302»

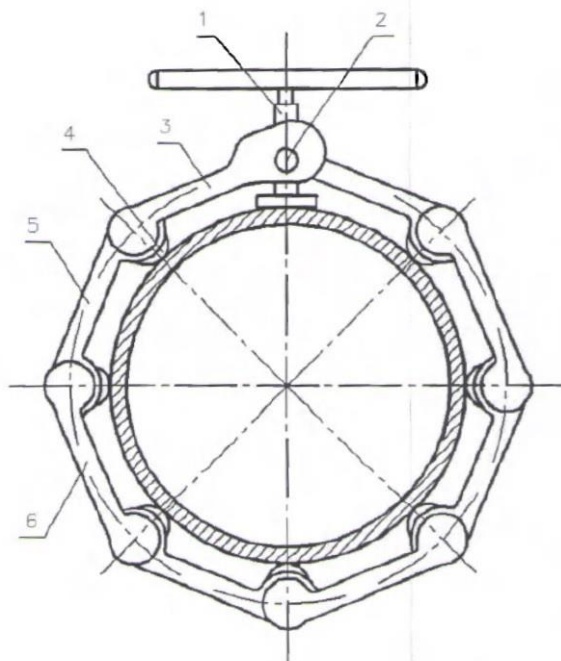
Таблица 2.2 – Технические характеристики механизма подачи проволоки МПП ФОРСАЖ-МП [14]

Характеристика	Количественная величина
Рабочий диапазон напряжения питания (постоянного тока), В	22-30
Ток, потребляемый при работе, А	5, не более
Диаметр сварочной проволоки, мм	0,6 – 2,0
Диапазон плавного регулирования скорости подачи сварочной проволоки, м/мин	0,5– 17,5
Мощность мотора-редуктора, ВА	120
Число роликов механизма подачи, шт	4
Диаметр кассеты для сварочной проволоки, мм	300
Габаритные размеры МПП, мм	750x275x440, не более
Масса МПП, кг	12,5

2.4 Выбор центровочного устройства и опоры

Для сборки стыков труб и тройниковых отводов требуется использовать центровочное оборудование. РД указывает на то, что предпочтительно использовать инвентарные приспособления, которые не привариваются к изделию [1]. Так как трубопровод, на котором производятся ремонтные работы, расположен в горизонтальном положении, для стыковки тройника с трубопроводом подойдет обычный внешний центратор. Принято решение использовать наружный центратор с шарнирными рычагами, за счет его простоты и доступности (рисунок 2.6).

На рисунке 2.7 приведена схема закрепления трубопровода к тройниковым отводам для сварки.



1 – винт натяжной, 2 – замыкающая крестовина, 3 – замок накладной, 4 – ролики, 5 – звено внутренне, 6 – звено наружное

Рисунок 2.6 - Центратор наружный с шарнирными рычагами

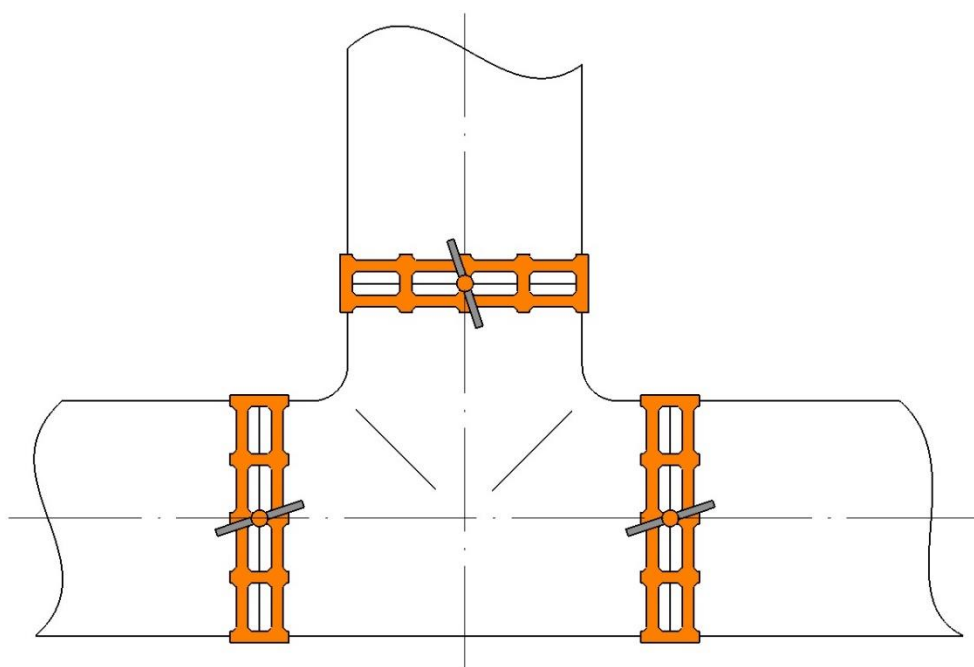


Рисунок 2.7 – Схема закрепления готового трубопровода к сварке

Для того чтобы не допустить провисания конструкции, требуется использовать опоры или подвесные конструкции. Так как ремонт выполняется в полевых условиях, подвесные конструкции невозможно использовать из-за отсутствия балок над трубопроводом. Согласно ОСТ 36-146-88 выбирается опора корпусная, хомутовая (рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 – Опора скользящая хомутовая

От приварных корпусов решено отказаться, в пользу экономии времени и оперативности действий. Скользящие хомутовые опоры предназначены для крепления труб из углеродистой и низколегированной стали при строительстве технологических трубопроводов наружным диаметром (18 – 1420) мм, транспортирующих вещества с температурой от 0 до 450 °С и условным давлением до 10 МПа при температуре окружающей среды до минус 70 °С [15].

2.5 Разработка технологии сборки и сварки тройникового отвода трубопровода

Технологический процесс восстановления трубопровода в экстренных условиях включает следующие операции.

2.5.1 Вырезка тройника

Операция заключается в том, чтобы удалить дефектный участок трубопровода котельной установки, из-за течи вследствие коррозии. Данная операция производится с использованием ацетилено-кислородной резки. Резку требуется проводить по сварным швам, соединяющий тройник с трубопроводом. В данной операции используется следующее оборудование: газовый ацетиленовый резак, баллон с кислородом, баллон с ацетиленом, шланги, редуктор, манометр, защитные очки для газорезки, брезентовые рукавицы, брезентовая спецодежда. Перед началом работы требуется проверить оборудование и соблюдать правила безопасности. Режимы резки выбирается из таблицы, согласно которой расход ацетилена $Q_{C_2H_2} = 10 \text{ м}^3/\text{ч}$, расход кислорода $Q_{O_2} = 0,5 \text{ м}^3/\text{ч}$. Ширина реза $h = 3 \pm 1 \text{ мм}$ [9].

2.5.2 Входной контроль

Ответственное лицо проводит проверку следующих пунктов.

Проверить наличие сертификатов и сопроводительных документов на равнопроходный бесшовный тройник, визуально осмотреть деталь на предмет мелких дефектов, сколов и трещин. Если вышеупомянутая документация отсутствует, деталь не допускается к эксплуатации.

При помощи измерительного прибора произвести замер толщины стенки и диаметра тройника. Толщина металла должна составлять 8мм, а внешний диаметр 219мм.

Проверить сварочное оборудование и материалы. Оборудование, используемое в данной работе, должно быть аттестовано и иметь паспорт завода-изготовителя, подтверждающей пригодность данного экземпляра оборудования для предназначенной работы. На сварочные материалы также должны иметься сертификаты, которым должен соответствовать. Проверить

наличие этикеток или бирок с проверкой полноты указанных в них данных. Каждая партия сварочной проволоки перед выдачей на производственный участок должна быть проконтролирована посредством осмотра поверхностей проволоки в каждой бухте (катушке). Она не должна содержать окалины, налета ржавчины, задиров, вмятин, и других дефектов [1].

Произвести контроль защитного газа. Для этого надо наплавить на пластину или трубу валик длиной 100-150 мм и по внешнему виду поверхности наплавки определить ее качество. Наличие пор в металле шва, говорит о том, что газ в данном баллоне бракуется [1].

Произвести осмотр рабочего места, на выявление нарушений техники безопасности, если такие выявлены, до исправления нарушений к работе допускать нельзя. В входном контроле было использовано следующее оборудование: поверенный электронный штангенциркуль, лупа увеличительная, перчатки х/б.

2.5.3 Подготовка кромок трубопровода и тройника к сварке

После устранения дефектного участка трубопровода, требуется подготовить кромки трубопровода и тройника к сварке. После ацетиленокислородной резки, кромкам труб требуется придать форму разделки, и удалить брызги и наплывы металла с поверхности.

Далее производится разделка кромок на трубе и на тройнике. Для этого необходимо соблюдать геометрические размеры, предписанные в нормативной документации и в таблице технологического процесса. Данное стыковое соединение, является неповоротным, кольцевым стыков. Для такого стыка угол разделки будет составлять $35^\circ \pm 2^\circ$, с притуплением кромки $1 \pm 0,5$ мм (рисунок 2.9) [6]. Согласно работам [8] и [16] производится V-образная разделка с притуплением кромок. Все углы и геометрические размеры указаны в таблице технологического процесса.

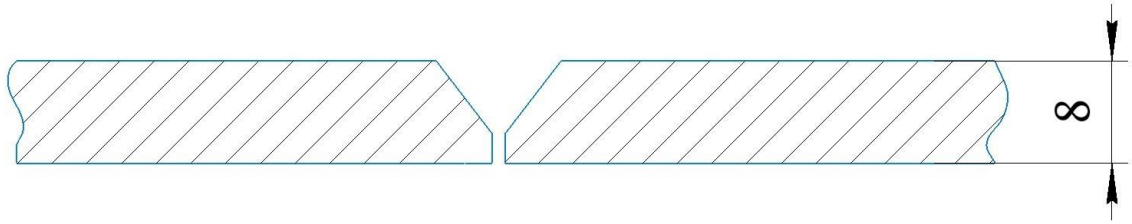


Рисунок 2.9 – V- образная разделка со скосом двух кромок

Для данной операции используется следующее оборудование: угловая шлифовальная машина Hitachi G13SN, с мощностью в 840 Вт, и диском в 125 мм (рисунок 2.10), рукавицы защитные х/б, защитные очки на резинке HAMMER, штангенциркуль электронный.



Рисунок 2.10 – Шлифовальная машина «Hitachi G13SN»

После разделки кромок трубопровода и тройника проверяются полученные размеры, используя электронный штангенциркуль. Если размеры нарушены, и не соответствуют требованиям, то требуется их устранение. Если устранить данную ошибку невозможно, то данные детали не подлежат дальнейшей эксплуатации.

2.5.4 Зачистка кромок

Данная операция будет содержать в себе зачистку и очистку металла поверхности произведенных кромок, от различных загрязнений. Производить зачистку будем вышеупомянутой, угловой шлифовальной машиной Hitachi

G13SN, с чашеобразной насадкой диаметром 75 мм, с длиной ворса щетки 22 мм (рисунок 2.11).

Ширина зачистки будет равна 120 ± 5 мм. После механической зачистки требуется обезжирить поверхность кромок, во избежание попадания масла, грязи, и других загрязнений подобного рода. После завершения данной операции, следует визуально осмотреть поверхность на выявление оставшихся загрязненных поверхностей, если такие обнаружены, требуется произвести повторную очистку.



Рисунок 2.11 – Чашеобразная щетка для угловой шлифовальной машины

В данной операции используется следующее оборудование и инвентарь: угловая шлифовальная машина Hitachi G13SN, чашеобразная щетка диаметром 75 мм, защитные очки HAMMER, рукавицы х/б, ветошь, ацетон.

2.5.5 Сборка тройника с трубопроводом

До сварки потребуется выполнить ряд действий.

Трубопровод находится горизонтально полу на небольшой высоте. Чтобы не допустить провисания конструкции, ставятся арматурные упоры под то место, где монтируется тройник. После этого, с помощью трех центраторов фиксируется тройник с трубопроводом. На рисунке 2.12 показано расположение центраторов при сборке трубопровода и тройника.

После операции фиксации трубопровода, требуется проверить качество данной работы. Вся конструкция должна быть неподвижна, центраторы

должны быть жестко зафиксированы. Не допустить провисания трубопровода. Согласно РД [1], для технологических трубопроводов с рабочим давлением до 2,2 МПа при диаметре труб ≥ 200 мм, которые свариваются без подкладки, смещение кромок не должно превышать $0.15S$, но не более 2 мм [1].

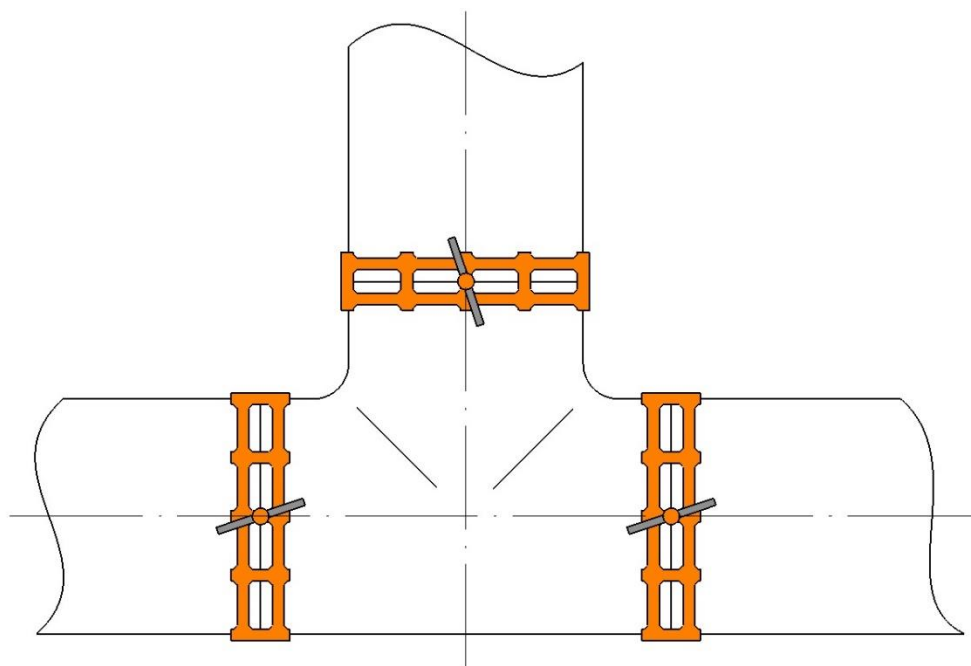


Рисунок 2. 12 – Расположение центраторов при сборке трубопровода и тройника

В связи с демонтажем, вышедшего из строя тройника, посредством ацетилено-кислородной резки, на кромках трубопровода мог остаться лишний металл, для этого стоит дополнительно обработать поверхность УШМ.

2.5.6 Сварка трубопровода

Сварочные работы начинаются с прихваточных швов, равномерно расположенных в 4 местах по окружности трубы. Корень шва будет сформирован тем же способом сварки, как и прихваточный шов. Параметры режима сварки рассчитаны диаметра проволоки 1,6 мм при механизированной сварке в среде защитных газов $Ar + CO_2$ (75%+25%): ток $I_{св} = 192$ А, при напряжении дуги в 21 В, скорость подачи проволоки $d_{пр} = 1,6$

мм равна $V_{\text{шт}} = 160$ м/ч [10]. Так как сварка производится на неповоротном стыке, обваривать трубу приходится во всех пространственных положениях. Для этого режимы сварки уточняются в зависимости от пространственного положения. При сварке корневого шва понижается ток и составит 140А. В вертикальном положении шва ток снижают на 10-15%, в потолочном положении ток уменьшаем на 25-30%. Полученные параметры режима сварки трубы с тройниковым отводом приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Параметры режимов сварки в зависимости от пространственного положения

	Нижнее	Вертикальное	Потолочное
Корневой шов	140 А	125 А	105 А
Заполняющие швы	195 А	175 А	150 А

При вертикальном положении шва сварку выполняют снизу-вверх для поддержания металла шва. При потолочном положении шва и корневой шов, выполняются без колебательных движений, что поспособствует лучшему заплвлению металла. Сварочную горелку рекомендуется держать под углом 45° к касательной плоскости. После выполнения, прихваточных швов их зачищают щеткой с металлическим ворсом. Заполняющий шов рекомендуется заполнять широким швом. Требуется продувать газом рабочую зону стыка до и после сварки. Сварка осуществляется в 4 прохода: первый проход - корневой шов, 3 последующих – заполняющие швы.

В этой операции использовано следующее оборудование: сварочный инвертор «Форсаж-302», механизм подачи проволоки «МПП Форсаж-МП», смесь газов $Ar+CO_2$ в пропорции 75%+25%, шланги, манометры 2 шт, маска сварочная «Ресанта», рукавицы брезентовые, брезентовая рабочая одежда.

2.5.7 Контроль качества сварки трубопровода

По окончании сварочных работ, сварщик оценивает внешний вид сварочного шва при помощи подручных инструментов и универсального

шаблона сварщика (рисунок 2.13). Универсальный шаблон сварщика или УШС, это индивидуальный инструмент измеритель, который может помочь контролировать размер дефектов, основные параметры шовного валика.

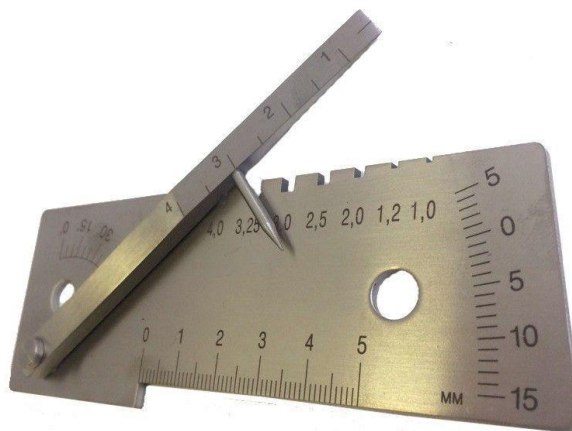


Рисунок 2. 13 – Универсальный шаблон сварщика УШС.

При помощи лупы и осветительной лампы, осматривается шов на предмет наружных дефектов: непроваров, наплывов, трещин, пор, кратеров и т.п. Если данный контроль выявил вышеупомянутые дефекты, то сварное соединение не допускается для дальнейшей стадии контроля. Если же ВИК не выявил внешних дефектов, сварной шов проходит следующий этап контроля.



Рисунок 2.14 – Дефектоскоп ультразвуковой УСД-60

В данной работе применяется ультразвуковой контроль (УЗК). Проводится данный контроль квалифицированным персоналом. Данный контроль может указать на различные неоднородности металла шва, трещины, неметаллические включения и др. При наличии дефектов внутри сварочного шва, деталь не допускается к эксплуатации. При обнаружении наметить места дефектов мелом, керном или специальным маркером, и по возможности произвести вырезку данного участка, с дальнейшей переваркой.

В данной работе было использовано следующее оборудование: универсальный шаблон сварщика УШС, лупа канцелярская, штангенциркуль электронный, дефектоскоп ультразвуковой УСД-60 (рисунок 2.14), перчатки х/б.

Таким образом, при проектировании технологического процесса сборки и сварки тройниковых отводов трубопровода воды в экстремальных условиях проведен расчет параметров режима механизированной сварки плавящимся электродом в смеси защитных газов проволокой $d=1,6$ мм, выбрано оборудование: инвертор Форсаж 302 с механизмом подачи присадочной проволоки ФОРСАЖ-МП, центровочное устройство и опора. Выполненные работы позволяют разработать технологический процесс восстановления трубопровода воды.

3 Безопасность и экологичность проекта

3.1 Сущность технологического процесса

Ремонт технологического трубопровода воды будет производиться в монтажных условиях, посредством замены дефектного участка трубопровода.

Проектный технологический процесс, который используется в данной выпускной квалификационной работе, можно представить следующим образом. В начале требуется удалить дефектный участок трубопровода, которым является равнопроходный бесшовный тройник, при помощи ацетилено-кислородной резки, он подлежит дальнейшей утилизации и в ремонте больше не используется. Далее требуется произвести зачистку и подготовку кромок трубопровода после резки. После зачистки производится сборка трубопровода уже вместе с замененной деталью, и фиксируется центраторами. Производится сварка трех неповоротных стыков при помощи механизированной сварки в среде защитных газов. По окончании сварки требуется провести визуально-измерительный контроль, а затем ультразвуковой контроль.

3.2 Анализ опасных и вредных факторов

В процессе восстановительных работ много опасных и вредных производственных факторов, которые могут привести к травмам, ожогам, и другим пагубным последствиям. Присутствуют такие факторы, как большой вес детали, высокая температура металла, высокое напряжение, вредные газы, получаемые при сварке, острые кромки после вырезки дефектного участка, инструмент, требующий повышенного внимания, и опыта работы.

Для подробного рассмотрения вредных и опасных факторов при восстановлении технологического трубопровода их разделяют на технологические операции, которые приводятся в таблице 3.1.

Таблица 3.1 Анализ опасных и вредных факторов

№ п/п	Операции	Источник опасности	Факторы
1	Вырезка тройника	Трубопровод диаметром 219 мм, ацетилено-кислородный резак, баллон ацетилена, баллон технического кислорода	Горячий металл, брызги металла, газовое оборудование (баллоны), пары металла и газ
2	Подготовка кромок к сварке	Шлифовальная машинка с диаметром абразивного круга 75 мм, металлическая щетка в виде насадки, ацетон	Движущиеся и вращающиеся механизмы, подвижные части оборудования, заусенцы, искры от шлифовальной машинки, воспламеняющие вещества
3	Сборка трубопровода	Центраторы внешние, тройник равнопроходный бесшовный	Большой вес тройника, острые кромки, большой вес центраторов
4	Сварка стыков трубопровода	Источник питания «Форсаж-302», баллоны с газовой смесью (Ar/CO ₂)	Высокая температура металлической поверхности, высокое напряжение, повышенное инфракрасное и ультрафиолетовое излучение, брызги расплавленного металла, высокая концентрация газов, пыли и сварочных аэрозолей

3.3 Мероприятия по уменьшению влияния

Проанализировав опасные и вредные факторы при восстановительных работах трубопровода, используются следующие мероприятия (таблица 3.2).

Таблица 3.2. Методы снижения влияния опасных факторов

№ п/п	Операции	Факторы	Мероприятия
1	Вырезка тройника	Горячий металл, брызги металла, газовое оборудование (баллоны), пары металла и газ	Инструктаж, допуск рабочего при наличии квалификации, спецодежда, перчатки, защитные очки, проветривание помещения
2	Подготовка кромок к сварке	Движущиеся и вращающиеся механизмы, подвижные части оборудования, заусенцы, искры от шлифовальной машинки, воспламеняющие вещества	Инструктаж, допуск рабочего при наличии квалификации, предупреждающие надписи и таблички, ограждения, защитная одежда и очки.
3	Сборка трубопровода	Большой вес конструкции тройника, острые кромки, большой вес центраторов	Инструктаж, спецодежда, перчатки, дополнительные рабочие для подъема детали на необходимую высоту
4	Сварка стыков трубопровода	1) Высокая температура металлической поверхности 2) Высокое напряжение 3) Ультрафиолетовое и инфракрасное излучение 4) Брызги расплавленного металла 5) Высокая концентрация газов, пыли и сварочных аэрозолей	1) Спецодежда, перчатки 2) Заземление, изоляция 3) Маска сварщика, спецодежда 4) Спецодежда 5) Вентиляция, респираторы

Требуется проводить инструктажи по технике безопасности при проведении ремонтных работ на объекте. Согласно ТИ РО-040-2003, и РД 153-34.1-003-01, можно получить основные рекомендации и инструкции по охране труда.

3.4 Заключение по разделу

При выполнении данного раздела выпускной квалификационной работы были обнаружены опасные и вредные факторы, которые присутствуют на восстановительных работах технологического трубопровода котельной установки.

После анализа вредных и опасных факторов, были рассмотрены решения для устранения или снижения их влияния.

Были подобраны мероприятия для повышения безопасности, и снижения риска возникновения новых факторов.

При строгом соблюдении данных мероприятий и соблюдении правил техники безопасности, исключается риск получения различных повреждений и вреда здоровью.

4 Экономическая эффективность технологии восстановления

В данной работе целью является повышение производительности процесса работ по восстановлению трубопровода воды, за счет внедрения механизированной сварки в среде защитных газов, вместо ручной дуговой сварки покрытыми электродами. В данном разделе приводится технико-экономическое обоснование внедренного способа и представление статей расхода для восстановления трубопровода в монтажных условиях.

В таблице 4.1 приведены сравнительные данные базового и проектного вариантов.

Таблица 4.1. Краткие теоретические сведения о сравниваемых вариантах

Базовый вариант	Проектный вариант
<p>Ручная дуговая сварка покрытыми электродами.</p> <p>Сварка выполняется штучными электродами УОНИ 13/55, что недостаточно хорошо обеспечивает защиту сварного шва.</p> <p>Процесс сопровождается испарениями металла и металлических включений из жидкого расплава, поступающих напрямую к сварщику.</p> <p>Скорость процесса минимальная по сравнению с механизированной сваркой.</p> <p>Прерываемость процесса сопровождается РДС из-за замены электрода.</p> <p>Перегрев оборудования также сказывается на скорости всего процесса.</p> <p>Процесс РДС не обеспечивает такого качества шва, какого можно добиться при механизированной сварке в среде защитного газа.</p>	<p>Механизированная сварка в среде защитных газов проволокой сплошного сечения.</p> <p>Сварка выполняется при помощи сварочной горелки, из которой подается проволока, и сопла, из которого подается защитный газ.</p> <p>Сварочная проволока Св-08Г2С повышает качество сварного шва куда лучше, чем электрод УОНИ 13/55.</p> <p>Защитный газ обеспечивает хорошую защиту сварочной ванны, что также повышает качество сварного соединения.</p> <p>В отличие от ручной дуговой сварки процесс непрерывный, так как не требуется замены электрода, подача проволоки осуществляется автоматически.</p> <p>Сварка в среде защитных газов обеспечивает получение аккуратного, чистого шва за счет того, что не образуется шлака, который нужно отбивать.</p>

Исходные данные для экономических расчетов, позволяющих оценить эффективность разработанного технологического процесса, приведены в таблице 4.2

Таблица 4.2. Исходные данные для расчета экономической эффективности

№ п/п	Показатель	Условное обозначение	Единица измерения	Варианты	
				Базовый	Проектный
1	Цена присадочного материала: электроды УОНИ 13/55 3 мм; проволока Св08ГС 1,6 мм	Ц _{эл}	₽ /кг	195	215
2	Коэф. транспортно-заготовительных расходов	К _{тз}	-	1,05	1,05
3	Часовая тарифная ставка (6-й разряд)	С _ч	₽ /час	166,22	166,22
4	Коэффициент доплат к основной заработной плате	К _д	-	1,82	1,82
5	Процент отчислений на дополнительную заработную плату	-	%	12	12
6	Коэффициент отчислений на социальные нужды	К _{сн}	%	34	34
7	Балансовая стоимость оборудования	Ц _{об}	₽	42000	83000
8	Норма амортизационных отчислений на оборудование	Н _а	%	18	18
9	Мощность установки	М _у	кВт	9,4	17
10	Коэффициент полезного действия установки	КПД	-	0,7	0,85
11	Стоимость электроэнергии	Ц _{э-э}	кВт	3,5	3,5
12	Удельный расход защитного газа	У _{зг}	Литр/мин	-	12
13	Стоимость защитного газа: Аргон ВЧ, Углекислый газ	Ц _{зг}	₽ /м ³	-	86 ₽ (CO ₂); 320₽ (Ar)
14	Цена используемого инструмента	Ц _{инстр}	₽	3400	3400
15	Площадь, занимаемая оборудованием	S	м ²	1,5	1,5
16	Норма амортизационных отчислений на площадь	Н _{апл}	%	5	5
17	Коэффициент учитыв. затраты на монтаж (демонтаж оборудования)	К _{монт}	-	1,2	1,2
18	Стоимость приспособлений	Ц _{присп}	₽	30000	30000
19	Коэф. цеховых расходов	К _{цех}	-	2,50	2,50
20	Нормативный коэффициент эконом. эффект-ти доп. капитальных вложений	Е _н	-	0,33	0,33
21	Годовая программа выпуска	Н _{пр}	шт	1	1

Перед началом расчета экономической эффективности, требуется определить время затраченное на операцию сварки. Расчеты производятся по методике приведенным в работе [17] для двух вариантов: базового и проектного.

Расчет нормы штучного времени на выполняемые технологические операции проводится по работе [17].

Базовый вариант:

$$t_{шт} = t_{п-з} + t_0 + t_в + t_{отл} + t_{обсл.} + t_{н.п.} = 2,1 + 42,16 + 6 + 2,1 + 3,37 + 60 = 115,73 \text{ мин}$$

Проектный вариант:

$$t_{шт} = t_{п-з} + t_0 + t_в + t_{отл} + t_{обсл.} + t_{н.п.} = 4,81 + 96,227 + 14,43 + 4,81 + 7,7 + 60 = 188 \text{ мин}$$

где $t_{п-з} = 0,05 \%$ от t_0 – подготовительно – заключительное время (учитывается только в единичном и мелкосерийном производстве). Учитывая, что годовая программа выпуска $N_{пр}$ в данном случае равна 1, то данный параметр следует рассчитать;

$t_0 = t_M$ – основное (машинное) время. Для процесса сварки это время работы сварочного оборудования, то есть время горения дуги [17];

$t_в$ – вспомогательное время $t_в = 5-25 \%$ от t_0 , в зависимости от особенностей технологического процесса [17];

$t_{отл.}$ – время на отдых и личные надобности $t_{отл.} = 5 \%$ от t_0 ;

$t_{обсл.}$ – время обслуживания рабочего места $t_{обсл.} = 8 \%$ от t_0 ;

$t_{н.п.}$ – время неустраимых перерывов, предусмотренных технологическим процессом, определяется по картам технологического процесса.

Для определения основного времени, требуется рассчитать следующие величины.

Базовый вариант:

$$t_o = \frac{60 \cdot M_{\text{напл.мет}} \cdot L_{\text{ш(в)}}}{I_{\text{св}} \cdot \alpha_{\text{н}}} = \frac{60 \cdot 630 \cdot 2,062}{90 \cdot 9} = 96,227 \text{ мин};$$

$L_{\text{ш(в)}}$ - длина швов (валиков) в изделии, м [14];

где $I_{\text{св}}$ - сила сварочного тока, А, для РДС $I_{\text{св}} = 90$ А,

для механ. сварки в среднем $I_{\text{св}} = 225$ А (среднее значение с учетом пространственных положений);

$\alpha_{\text{н}}$ - коэффициент наплавки, для низкоуглеродистых сталей $\alpha_{\text{н}} = 9 \text{ г}/(\text{А} \cdot \text{час})$,

$L_{\text{ш(в)}}$ - длина швов (валиков) в изделии, м, тогда

$$t_{\text{п-з}} = 0,05 \cdot t_o = 0,05 \cdot 96,227 = 4,81 \text{ мин};$$

$$t_{\text{в}} = (0,05 \div 0,25) \cdot t_o = 0,05 \cdot 96,227 \dots 0,25 \cdot 96,227 = 4,81 \dots 24,057 \text{ мин}, \text{ берем}$$

среднее значение = 14,43 мин;

$$t_{\text{отл.}} = 0,05 \cdot t_o = 0,05 \cdot 96,227 = 4,81 \text{ мин};$$

$$t_{\text{обсл.}} = 0,08 \cdot t_o = 0,08 \cdot 96,227 = 7,7 \text{ мин};$$

$$t_{\text{н.п.}} = 60 \text{ мин (для необходимых выключений оборудования)}.$$

Проектный вариант:

$$t_o = \frac{60 \cdot M_{\text{напл.мет}} \cdot L_{\text{ш(в)}}}{I_{\text{св}} \cdot \alpha_{\text{н}}} = \frac{60 \cdot 460 \cdot 2,062}{150 \cdot 9} = 42,16 \text{ мин};$$

$$t_{\text{п-з}} = 0,05 \cdot t_o = 0,05 \cdot 42,16 = 2,108 \text{ мин};$$

$$t_{\text{в}} = (0,05 \div 0,25) \cdot t_o = 0,05 \cdot 42,16 \dots 0,25 \cdot 42,16 = 2,108 \dots 10,54 \approx 6 \text{ мин};$$

$$t_{\text{отл.}} = 0,05 \cdot t_o = 0,05 \cdot 42,16 = 2,108 \text{ мин};$$

$$t_{\text{обсл.}} = 0,08 \cdot t_o = 0,08 \cdot 42,16 = 3,373 \text{ мин};$$

$$t_{\text{н.п.}} = 60 \text{ мин}.$$

Массу наплавленного металла определим следующей формуле:

Базовый вариант:

$$M_{\text{напл.мет.}} = \rho \cdot F_{\text{н}} \cdot 10^{-3} = 7,8 \cdot 81 \cdot 10^{-3} = 0,63 \text{ кг/м};$$

Проектный вариант:

$$M_{\text{напл.мет.}} = \rho \cdot F_{\text{н}} \cdot 10^{-3} = 0,46 \text{ кг/м};$$

где ρ - плотность наплавленного металла, г/см³ (для низкоуглеродистых сталей $\rho = 7,8$ г/см³); $F_{\text{н}}$ - площадь поперечного сечения шва, мм².

Теперь рассчитаем площадь $F_{\text{н}}$ поперечного сечения сварного шва. Данный параметр определяется следующим образом:

Базовый вариант:

$$F_{\text{н}} = F_1 + F_2 + F_3 = 21 + 30 + 30 = 81 \text{ мм}^2;$$

В базовом варианте 3 прохода.

где $F_1 = (6 \div 8) \cdot d_{\text{эл.}} = 7 \cdot 3 = 21 \text{ мм}^2$ – первый (корневой) проход (расчет ведется по среднему показателю);

$$F_{\text{н}} = (8 \div 12) \cdot d_{\text{эл.}} = 10 \cdot 3 = 30 \text{ мм}^2$$
 – последующие проходы.

Проектный вариант:

В проектном варианте 4 прохода

$$F_{\text{н}} = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 = 11,2 + 16 + 16 + 16 = 59,2 \text{ мм}^2;$$

$$F_1 = (6 \div 8) \cdot d_{\text{эл.}} = 7 \cdot 1,6 = 11,2 \text{ мм}^2;$$

$$F_{\text{н}} = (8 \div 12) \cdot d_{\text{эл.}} = 10 \cdot 1,6 = 16 \text{ мм}^2.$$

Также определим общую длину швов для каждого варианта. Длина швов рассчитывается исходя из длин кольцевых стыков и количества стыков (n):

Базовый и проектный вариант:

$$L_{\text{ш}} = \pi D \cdot n = 3,14 \cdot 219 \cdot 3 = 2062,98 \text{ мм} = 2,063 \text{ м};$$

Для наглядности полученных вычислений, внесем данные по времени изготовления в отдельную таблицу 4.3.

Таблица 4.3. Расчет нормы штучного времени на выполнение операции

Вариант	t_o	$t_{п-з}$	t_b	$t_{отл}$	$t_{обсл}$	$t_{н.п}$
Базовый	96,2	4,8	14,4	4,8	7,7	60
Проектный	42,2	2,1	6	2,1	3,4	60

Расчет капитальных вложений проводится следующим образом: для определения общих капитальных вложений воспользуемся формулой (4.1):

Базовый вариант:

$$K_{общ.} = K_{пр.} + K_{соп.} = 71,4 + 0 = 71,4 \text{ руб}; \quad (4.1)$$

Проектный вариант:

$$K_{общ.} = K_{пр.} + K_{соп.} = 83 + 25000 = 25083 \text{ руб};$$

где $K_{пр.}$ - прямые капитальные вложения в оборудование, руб ;

$K_{соп.}$ - сопутствующие капитальные вложения в оборудование, которое закупается для проектного варианта, руб.

Прямые капитальные вложения рассчитываются для обоих вариантов, сопутствующие – только для проектного варианта.

Базовый вариант:

$$K_{пр.} = n_{об.} \cdot Ц_{об.} \cdot k_3 = 1 \cdot 42000 \cdot 0,0017 = 71,4 \text{ руб}; \quad (4.2)$$

Проектный вариант:

$$K_{пр.} = n_{об.} \cdot Ц_{об.} \cdot k_3 = 1 \cdot 83000 \cdot 0,001 = 83 \text{ руб}.$$

где $n_{об.}$ - количество единиц оборудования, шт.;

$Ц_{об.}$ - цена единицы оборудования, руб.,

k_3 - коэффициент загрузки оборудования [.

Базовый вариант:

$$k_3 = \frac{n_{\text{об.расч}}}{n_{\text{об.прин}}} = \frac{0,0017}{1} = 0,0017; \quad (4.3)$$

Проектный вариант:

$$k_3 = \frac{n_{\text{об.расч}}}{n_{\text{об.прин}}} = \frac{0,001}{1} = 0,001.$$

Базовый вариант:

$$n_{\text{об.расч}} = \frac{N_{\Gamma} \cdot t_{\text{шт}}}{\Phi_{\text{эф}} \cdot 60} = \frac{1 \cdot 188}{1818 \cdot 60} = 0,0017; \quad (4.4)$$

Проектный вариант:

$$n_{\text{об.расч}} = \frac{N_{\Gamma} \cdot t_{\text{шт}}}{\Phi_{\text{эф}} \cdot 60} = \frac{1 \cdot 116}{1818 \cdot 60} = 0,001;$$

где N_{Γ} – годовая программа выпуска,

$\Phi_{\text{эф}}$ - эффективный фонд времени работы оборудования.

Базовый и Проектный вариант:

$$\Phi_{\text{эф}} = (D_{\text{раб.}} \cdot T_{\text{см.}} - D_{\text{пред.}} \cdot T_{\text{сокр.}}) \cdot S \cdot (1 - k_{\text{р.п.}}) = 1818 \text{ ч}; \quad (4.5)$$

где $D_{\text{раб.}}$ - количество рабочих дней в году; (247) ;

$T_{\text{см.}}$ - продолжительность рабочей смены, час, (8 ч) ;

$D_{\text{пред.}}$ - количество предпраздничных дней в году, (6ч) ;

$T_{\text{сокр.}}$ - сокращенная рабочая смена (7ч), час;

S - количество рабочих смен, (1 смена);

$k_{\text{р.п.}}$ - коэффициент потерь времени работы оборудования на ремонт и

переналадку (0,06).

Для выполнения принятой $N_{\text{пр}}$ принимаем целое число единиц оборудования ($n_{\text{об.прин}}$). Для этого $n_{\text{об.расчетн}}$ округляем до ближайшего

целого большего числа. Для базового и проектного варианта $n_{об.прин}$ будет принята 1 единица оборудования.

Далее рассчитаем сопутствующие капитальные вложения:

$$K_{соп.} = K_{монт.} + K_{дем.} + K_{плоч.} = 16600 + 8400 = 25000 \text{ руб}; \quad (4.6)$$

где $K_{монт.}$ - затраты на монтаж нового оборудования, руб.;

$K_{дем.}$ - затраты на демонтаж старого оборудования, руб.;

$K_{плоч.}$ - дополнительные затраты на производственные площади под новое оборудование, руб.,

$$K_{монт.} = \Sigma(n_{об.} \cdot Ц_{об.} \cdot k_{монт.}) = 1 \cdot 83000 \cdot 0,2 = 16600 \text{ руб}; \quad (4.7)$$

где $k_{монт.}$ - коэффициент монтажа, принимаем = 0,2 .

$$K_{дем.} = \Sigma(n_{об.} \cdot Ц_{об.} \cdot k_{дем.}) = 1 \cdot 42000 \cdot 0,2 = 8400 \text{ руб}; \quad (4.8)$$

где $k_{дем.}$ - коэффициент демонтажа, принимаем = 0,2 .

Затраты на площадь, дополнительно занимаемую под новое оборудование, рассчитываются по формуле:

$$K_{плоч.} = \left[(S_{плоч.}^{пр.} - S_{плоч.}^{баз.}) \cdot Ц_{плоч.} \cdot k_{д.пл.} \cdot k_3 \right] = 0,$$

так как $Ц_{плоч.} = 0$.

Удельные капитальные вложения в оборудование (капитальные вложения на одно изделие) рассчитываются для двух сравниваемых вариантов.

Базовый вариант:

$$K_{уд.}^{баз.} = \frac{K_{общ.}^{баз.}}{N_{Г}} = \frac{71,4}{1} = 71,4 \text{ руб};$$

Проектный вариант:

$$K_{уд.}^{пр.} = \frac{K_{общ.}^{пр.}}{N_{Г}} = \frac{25083}{1} = 25083 \text{ руб}.$$

Дополнительные капитальные вложения в оборудование рассчитываются для определения более капиталоемкого варианта:

$$K_{\text{доп.}} = K_{\text{общ.}}^{\text{пр.}} - K_{\text{общ.}}^{\text{баз.}} = 25083 - 71,4 = 25012,6 \text{ руб.}$$

Рассчитываем затрат на материалы.

Базовый вариант:

$$ЗМ = ЗМ_{\text{осн.}} + ЗМ_{\text{техн.}} + ЗМ_{\text{всп.}} = 0 + 430,4 \text{ руб}; \quad (4.9)$$

Проектный вариант:

$$ЗМ = ЗМ_{\text{осн.}} + ЗМ_{\text{техн.}} + ЗМ_{\text{всп.}} = 0 + 366,45 \text{ руб};$$

где $ЗМ_{\text{осн.}}$ - затраты на основной материал, руб.;

$ЗМ_{\text{техн.}}$ - затраты на технологические материалы, руб.;

$ЗМ_{\text{всп.}}$ - затраты на вспомогательные материалы, руб.

«К технологическим материалам при сварке, наплавке и пайке относятся материалы, которые остаются в шве после его формирования. Это плавящиеся электроды, сварочная проволока, сварочная лента, присадки, припои» [17, с.8].

«К вспомогательным материалам при сварке, наплавке и пайке относятся материалы, которые не остаются в шве после его формирования. Это неплавящиеся электроды, защитные газы, флюсы, покрытия» [17, с.8].

Рассчитаем затраты на основной материал по следующей формуле:

$$ЗМ_{\text{осн.}} = Н_{\text{м}} \cdot Ц_{\text{м}} \cdot k_{\text{т.з.}}, \quad (4.10)$$

где $Н_{\text{м}}$ - норма расхода основного материала на одно изделие, кг;

$Ц_{\text{м}}$ - цена одного кг основного материала, руб.;

$k_{\text{т.з.}}$ - коэффициент транспортно-заготовительных расходов (по данным предприятия),

$ЗМ_{\text{осн.}} = 0$, так как при ремонте на технологическом трубопроводе котельной установки, будет использовано ранее закупленное изделие.

Затраты на технологические и вспомогательные материалы рассчитываются по следующим формулам.

Базовый вариант:

$$З_{М_{св.}} = З_{эл.(пр.)} = 430,4 \text{ руб};$$

Проектный вариант:

$$З_{М_{св.}} = З_{св.пров.} + З_{з.г.} = 234 + 132,45 = 366,45 \text{ руб}, \quad (4.11)$$

где $З_{эл.(пр.)}$, $З_{св.пров.}$ – затраты на электродный материал для сварки, руб.

$З_{эл.(пр.)}$ в свою очередь рассчитывается следующим образом.

Базовый вариант:

$$З_{М_{эл.(пр.)}} = Н_{эл.(пр.)} \cdot Ц_{эл.(пр.)} = 2,207 \cdot 195 = 430,4 \text{ руб};$$

Проектный вариант:

$$З_{М_{эл.(пр.)}} = Н_{эл.(пр.)} \cdot Ц_{эл.(пр.)} = 1,091 \cdot 215 = 234 \text{ руб}; \quad (4.12)$$

где $Н_{эл.(пр.)}$ – норма расхода электродов или проволоки, кг;

$Ц_{эл.(пр.)}$ – цена электродов или проволоки, руб. за 1 кг.

Норму расхода электродного материала рассчитаем следующим образом:

Базовый вариант:

$$Н_{эл.(пр.)} = У \cdot L_{ш(в)} = 1,07 \cdot 2,063 = 2,207 \text{ кг};$$

Проектный вариант:

$$Н_{эл.(пр.)} = У \cdot L_{ш(в)} = 0,529 \cdot 2,063 = 1,091 \text{ кг}; \quad (4.13)$$

где: $У$ – удельная норма расхода сварочных материалов по длине шва, кг/м;

$L_{ш(в)}$ – длина шва или наплавляемого валика на изделии, м

Базовый вариант:

$$Y = k_p \cdot M_{\text{напл.мет.}} = 1,7 \cdot 0,63 = 1,07 \text{ кг/м};$$

Проектный вариант:

$$Y = k_p \cdot M_{\text{напл.мет.}} = 1,15 \cdot 0,46 = 0,529 \text{ кг/м}; \quad (4.14)$$

где k_p - коэффициент расхода сварочных материалов, учитывающий потери электродного металла при сварке и наплавке, равен 1,7 для РДС, 1,15 для механизированной сварки.

Затраты на защитный газ рассчитываются считать для аргона и для углекислоты при механизированной сварке по формуле:

$$\text{Для аргона: } Z_{\text{з.г.}} = N_{\text{з.г.}} \cdot C_{\text{з.г.}} = 379,84 \cdot 320 \cdot 10^{-3} = 121,55 \text{ руб};$$

$$\text{Для углекислоты: } Z_{\text{з.г.}} = N_{\text{з.г.}} \cdot C_{\text{з.г.}} = 126,61 \cdot 86 \cdot 10^{-3} = 10,9 \text{ руб};$$

Итого: $121,55 + 10,9 = 132,45$ руб.,

где $N_{\text{з.г.}}$ - норма расхода защитного газа на 1 погонный метр сварного шва, л;

$C_{\text{з.г.}}$ - цена защитного газа, руб./м³.

Норму расхода защитных газов рассчитывают по формуле:

$$N_{\text{з.г.}} = U_{\text{з.г.}} \cdot L_{\text{ш(в)}} + U_{\text{доп}} = 245,2 \cdot 2,063 + 0,6 = 506,45 \text{ л}, \quad (4.15)$$

где $U_{\text{з.г.}}$ - удельная норма расхода защитного газа на 1 погонный метр шва,;

$U_{\text{доп}}$ - дополнительный расход газа на подготовительно-вспомогательные операции (продувку газовых коммуникаций перед сваркой, защиту электрода и остывающего металла после сварки и настройку режимов), литр/мин.

Так как используется смесь газов, полученную норму расхода защитного газа разделим в пропорции 75/25, где 75% - аргон, 25% - углекислый газ.

Итого для аргона норма расхода получается 379,8 литров, для CO₂ – 126,6 литров.

Удельную норму расхода защитного газа на 1 погонный метр сварного шва или наплавленного валика можно определить по формуле:

$$U_{з.г.} = q_{з.г.} \cdot t_{01} = 12 \cdot 20,436 = 245,23 \text{ л/м}; \quad (4.16)$$

где $q_{з.г.}$ - норма расхода защитного газа при сварке, в зависимости от вида сварки, литр/мин;

t_{01} - основное время сварки 1 погонного метра шва, (мин).

$$t_{01} = \frac{t_0}{L_{ш(в)}} = \frac{42,16}{2,063} = 20,44 \text{ мин}; \quad (4.17)$$

где t_0 – основное время сварки изделия.

Дополнительный расход газа, возникающий при продувке шлангов, определяют по формуле:

$$U_{\text{доп.}} = t_{\text{в}}^{\text{п}} \cdot q_{з.г.} = 0,05 \cdot 12 = 0,6 \text{ л/м}; \quad (4.18)$$

где $t_{\text{в}}^{\text{п}}$ - вспомогательное время, необходимое для продувки шлангов, мин, (при сварке плавящимся электродом $t_{\text{в}}^{\text{п}} = 0,05$ мин.)

Теперь рассчитаем затраты на электроэнергию:

Базовый вариант:

$$Z_{\text{э-э}} = \frac{P_{\text{об}} \cdot t_0}{\eta \cdot 60} \cdot \text{Ц}_{\text{э-э}} = \frac{2,16 \cdot 96,23}{0,7 \cdot 60} \cdot 3,5 = 17,32 \text{ руб}; \quad (4.19)$$

Проектный вариант:

$$Z_{\text{э-э}} = \frac{P_{\text{об}} \cdot t_0}{\eta \cdot 60} \cdot \text{Ц}_{\text{э-э}} = \frac{3,15 \cdot 42,16}{0,85 \cdot 60} \cdot 3,5 = 9,1 \text{ руб}; \quad (4.19)$$

где $P_{\text{об}} = I_{\text{св}} \cdot U_{\text{д}}$ - полезная мощность оборудования кВт ;

Базовый вариант:

$$P_{\text{об}} = I_{\text{св}} \cdot U_{\text{д}} = 90 \cdot 24 = 2160 \text{ Вт} = 2,16 \text{ кВт};$$

Проектный вариант:

$$P_{об} = I_{св} \cdot U_{д} = 150 \cdot 21 = 3150 \text{ Вт} = 3,15 \text{ кВт}; \quad (4.20)$$

где η - коэффициент полезного действия оборудования ;

$I_{св}$ - сила сварочного тока, А;

$U_{д}$ - напряжение на дуге, В;

$\Pi_{э-э}$ - цена 1 кВт·часа электроэнергии (3,5 руб).

Далее требуется рассчитать затраты на содержание и эксплуатацию технологического оборудования.

Базовый вариант:

$$Z_{об} = A_{об} + P_{т.р} = 786,68 + 0,009 \approx 789,69 \text{ руб};$$

Проектный вариант:

$$Z_{об} = A_{об} + P_{т.р} = 1153 + 0,011 \approx 1153 \text{ руб}; \quad (4.21)$$

где $A_{об}$ - амортизационные отчисления на оборудование, руб.; $P_{т.р}$ - затраты на текущий ремонт оборудования, руб.;

Амортизационные отчисления на оборудование.

Базовый вариант:

$$A_{об} = \frac{\Sigma \Pi_{об} \cdot N_a \cdot t_{шт}}{\Phi_{эф} \cdot 100 \cdot k_{в.н}} = \frac{42000 \cdot 20 \cdot 188}{1818 \cdot 100 \cdot 1,1} = 789,68 \text{ руб} [14];$$

Проектный вариант:

$$A_{об} = \frac{\Sigma \Pi_{об} \cdot N_a \cdot t_{шт}}{\Phi_{эф} \cdot 100 \cdot k_{в.н}} = \frac{83000 \cdot 24 \cdot 115,73}{1818 \cdot 100 \cdot 1,1} = 1153 \text{ руб}; \quad (4.22)$$

где $\Pi_{об}$ - цена единицы технологического оборудования, руб.;

N_a - норма амортизационных отчислений на технологическое оборудование (20% для РДС, 24% для механизированной сварки); $k_{в.н}$ - коэффициент выполнения норм = 1,1.

Затраты на текущий ремонт оборудования рассчитываются по формуле (4.23):

Базовый вариант:

$$P_{\text{т.р}} = \frac{\Sigma C_{\text{об}} \cdot N_{\text{т.р}} \cdot k_3}{\Phi_{\text{эф}} \cdot 100} = \frac{42000 \cdot 24 \cdot 0,0017}{1818 \cdot 100} = 0,009 \text{ руб};$$

Проектный вариант:

$$P_{\text{т.р}} = \frac{\Sigma C_{\text{об}} \cdot N_{\text{т.р}} \cdot k_3}{\Phi_{\text{эф}} \cdot 100} = \frac{83000 \cdot 24 \cdot 0,001}{3654 \cdot 100} = 0,011 \text{ руб}; \quad (4.23)$$

где $C_{\text{об}}$ - цена единицы технологического оборудования, руб.;

$N_{\text{т.р}}$ - норма отчислений на текущий ремонт оборудования, принимаем = 24%;

k_3 - коэффициент загрузки оборудования.

Далее определим затраты на содержание инструментов и приспособлений.

«Затраты на содержание и эксплуатацию сборочно-сварочных приспособлений как элемента основных фондов предприятия рассчитываем только в том случае, если срок их службы составляет не менее 1 года» [17, с.15].

Базовый вариант:

$$Z_{\text{присп.}} = \frac{C_{\text{присп}} \cdot N_{\text{а присп}} \cdot k_3}{100 \cdot T_{\text{присп}} \cdot N_{\Gamma}} = \frac{30000 \cdot 12 \cdot 0,0017}{100 \cdot 5 \cdot 1} = 1,22 \text{ руб};$$

Проектный вариант:

$$Z_{\text{присп.}} = \frac{C_{\text{присп}} \cdot N_{\text{а присп}} \cdot k_3}{100 \cdot T_{\text{присп}} \cdot N_{\Gamma}} = \frac{30000 \cdot 12 \cdot 0,001}{100 \cdot 5 \cdot 1} = 0,72 \text{ руб}; \quad (4.24)$$

где: $C_{\text{присп}}$ - цена используемых сборочно-сварочных приспособлений, руб.;

$N_{\text{а присп.}}$ - норма амортизационных отчислений на приспособления, % (12%);

$T_{\text{присп}}$ - срок службы приспособлений, лет (5 лет).

«Затраты на содержание и эксплуатацию рабочего инструмента как элемента основных фондов предприятия рассчитываем только в том случае, если срок его службы составляет не менее 1 года» [17, с.16].

Базовый вариант:

$$Z_{\text{инстр.}} = \frac{C_{\text{инстр.}} \cdot N_{\text{а инстр.}} \cdot t_{\text{шт}}}{100 \cdot T_{\text{инстр.}} \cdot \Phi_{\text{эф.}} \cdot 60} = \frac{3400 \cdot 15 \cdot 188}{100 \cdot 26280 \cdot 1818 \cdot 60} \approx 0 ;$$

Проектный вариант:

$$Z_{\text{инстр.}} = \frac{C_{\text{инстр.}} \cdot N_{\text{а инстр.}} \cdot t_{\text{шт}}}{100 \cdot T_{\text{инстр.}} \cdot \Phi_{\text{эф.}} \cdot 60} = \frac{3400 \cdot 15 \cdot 115,73}{100 \cdot 26280 \cdot 1818 \cdot 60} \approx 0 ; \quad (4.25)$$

где $C_{\text{инстр.}}$ - суммарная цена используемого инструмента, руб.;

$N_{\text{а инстр.}}$ - норма амортизационных отчислений на рабочий инструмент, % (15%);

$T_{\text{инстр.}}$ - срок службы инструмента, лет, (при выполнении расчетов перевести в часы, 26280 часов).

Далее рассчитаем затраты на эксплуатацию и содержание производственных площадей:

Базовый вариант:

$$Z_{\text{пл.}} = \frac{S_{\text{пл.}} \cdot C_{\text{пл.}} \cdot N_{\text{а пл.}} \cdot k_{\text{д.пл.}} \cdot k_3}{100 \cdot N_{\Gamma}} = \frac{1,5 \cdot 200 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 0,0017}{100 \cdot 1} = 0,77 \text{ руб}$$

Проектный вариант:

$$Z_{\text{пл.}} = \frac{S_{\text{пл.}} \cdot C_{\text{пл.}} \cdot N_{\text{а пл.}} \cdot k_{\text{д.пл.}} \cdot k_3}{100 \cdot N_{\Gamma}} = \frac{1,5 \cdot 2000 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 0,001}{100 \cdot 1} = 0,45 \text{ руб}$$

(4.26)

где $S_{\text{пл.}}$ - производственная площадь, занимаемая оборудованием, м^2 (1,5 м^2);

$C_{\text{пл.}}$ - цена 1 м² занимаемой производственной площади (2000 руб);

$N_{\text{а пл.}}$ - норма амортизационных отчислений на производственные площади (3%);

$k_{\text{доп.пл.}}$ - коэффициент, учитывающий дополнительную производственную площадь равной 5

Теперь требуется рассчитать фонд заработной платы и социальные отчисления:

«Фонд заработной платы основных производственных рабочих состоит из основной и дополнительной заработной платы» [17, с.16].

Базовый вариант:

$$\text{ФЗП} = \text{ЗПЛ}_{\text{осн}} + \text{ЗПЛ}_{\text{доп}} = 946,89 + 94,7 = 1041,59 \text{ руб};$$

Проектный вариант:

$$\text{ФЗП} = \text{ЗПЛ}_{\text{осн}} + \text{ЗПЛ}_{\text{доп}} = 583,86 + 58,39 = 642,25 \text{ руб}.$$

Основная заработная плата определяется по формуле:

Базовый вариант:

$$\text{ЗПЛ}_{\text{осн}} = C_{\text{ч}} \cdot t_{\text{шт}} \cdot k_{\text{зпл}} = 166,22 \cdot 3,13 \cdot 1,82 = 946,89 \text{ руб} [14];$$

Проектный вариант:

$$\text{ЗПЛ}_{\text{осн}} = C_{\text{ч}} \cdot t_{\text{шт}} \cdot k_{\text{зпл}} = 166,22 \cdot 1,93 \cdot 1,82 = 583,86 \text{ руб}; \quad (4.27)$$

где $C_{\text{ч}}$ - часовая тарифная ставка рабочего, руб./час ;

$t_{\text{шт}}$ - время изготовления одного изделия, (час);

$k_{\text{зпл}}$ - коэффициент начислений на основную заработную плату = 1,82.

«Дополнительная заработная плата основных производственных рабочих определяется по формуле» [17, с.17]:

Базовый вариант:

$$ЗПЛ_{\text{доп}} = \frac{k_{\text{д}}}{100} \cdot ЗПЛ_{\text{осн}} = \frac{10}{100} \cdot 946,89 = 94,7 \text{ руб};$$

Проектный вариант:

$$ЗПЛ_{\text{доп}} = \frac{k_{\text{д}}}{100} \cdot ЗПЛ_{\text{осн}} = \frac{10}{100} \cdot 583,86 = 58,39 \text{ руб}; \quad (4.28)$$

где $k_{\text{д}}$ – коэффициент соотношения между основной и дополнительной заработной платой, % (10%, 1 смены горячих и тяжелых работ).

Отчисления на социальные нужды рассчитаем по следующей формуле.

Базовый вариант:

$$O_{\text{с.н}} = \frac{N_{\text{соц}} \cdot \PhiЗП}{100} = \frac{36,6 \cdot 1041,59}{100} = 381,22 \text{ руб};$$

Проектный вариант:

$$O_{\text{с.н}} = \frac{N_{\text{соц}} \cdot \PhiЗП}{100} = \frac{36,6 \cdot 642,25}{100} = 235,06 \text{ руб}; \quad (4.29)$$

где $N_{\text{соц}}$ – норма отчислений на социальные нужды = 36,6%.

После всех расчетов приступаем к расчету себестоимости ремонта.

Данный расчет начинается с расчета технологической себестоимости ремонта изделия.

Базовый вариант:

$$C_{\text{тех}} = ЗМ + З_{\text{э-э}} + З_{\text{об}} + З_{\text{площ}} + \PhiЗП + O_{\text{с.н}} = 430,4 + 17,32 + 789,69 + 0,77 + 1041,59 + 381,22 = 2661 \text{ руб}$$

Проектный вариант:

$$C_{\text{тех}} = ЗМ + З_{\text{э-э}} + З_{\text{об}} + З_{\text{площ}} + \PhiЗП + O_{\text{с.н}} = 366,45 + 9,1 + 1153 + 0,45 + 642,25 + 235,1 = 2406,35 \text{ руб}$$

Далее рассчитаем цеховую себестоимость:

Базовый вариант:

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{тех}} + P_{\text{цех}} = 2661 + 2367,23 = 5028,23 \text{ руб};$$

Проектный вариант:

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{тех}} + P_{\text{цех}} = 2406,35 + 1459,65 = 3866 \text{ руб}; \quad (4.30)$$

где $P_{\text{цех}}$ - общепроизводственные (цеховые) расходы, руб.

Цеховые (общепроизводственные) расходы относятся к косвенным затратам на изготовление (ремонт) продукции, это накладные расходы по управлению цехом и его обслуживанию.

Базовый вариант:

$$P_{\text{цех}} = k_{\text{цех}} \cdot \text{ЗПЛ}_{\text{осн}} = 2,5 \cdot 946,89 = 2367,23 \text{ руб};$$

Проектный вариант:

$$P_{\text{цех}} = k_{\text{цех}} \cdot \text{ЗПЛ}_{\text{осн}} = 2,5 \cdot 583,86 = 1459,65 \text{ руб}; \quad (4.31)$$

где $k_{\text{цех}}$ - коэффициент общепроизводственных расходов, принимаем $= 2,5$.

Далее рассчитываем производственную себестоимость:

Базовый вариант:

$$C_{\text{произв}} = C_{\text{цех}} + P_{\text{произв}} = 5028,23 + 1704,4 = 6732,63 \text{ руб};$$

Проектный вариант:

$$C_{\text{произв}} = C_{\text{цех}} + P_{\text{произв}} = 3866 + 1050,95 = 4916,95 \text{ руб}, \quad (4.32)$$

где $P_{\text{произв}}$ - общехозяйственные (общезаводские) расходы, руб .

«Общехозяйственные (общезаводские) расходы относятся к косвенным затратам на изготовление продукции, это накладные расходы по управлению производством продукции на предприятии и обслуживанию предприятия» [17, с.18].

Базовый вариант:

$$P_{\text{произв.}} = k_{\text{произв}} \cdot \text{ЗПЛ}_{\text{осн}} = 1,8 \cdot 946,89 = 1704,4 \text{ руб};$$

Проектный вариант:

$$P_{\text{произв.}} = k_{\text{произв}} \cdot \text{ЗПЛ}_{\text{осн}} = 1,8 \cdot 583,86 = 1050,95 \text{ руб.}, \quad (4.33)$$

где $k_{\text{произв}}$ - коэффициент общехозяйственных расходов, принимаем =

1,8.

«Если рассматриваемое изделие представляет собой узел, который входит в состав более крупного изделия, расчет себестоимости заканчиваем производственной себестоимостью» [17, с.18].

Закончив расчеты, составляем калькуляцию себестоимости ремонта технологического трубопровода воды, результаты которой сведем в таблицу 4.4.

Таблица 4.4. Калькуляция себестоимости ремонта изделия

Статьи затрат	Условные обозначения	Базовый вариант	Проектный вариант
1. Затраты на материалы	Z_M	430,4	366,45
2. Затраты на электрическую энергию	$Z_{э-э}$	17,32	9,1
3. Затраты на содержание и эксплуатацию технологического оборудования	$Z_{об}$	789,69	1153
4. Затраты на содержание и эксплуатацию сборочно-сварочных приспособлений	$Z_{присп}$	1,22	0,72
5. Затраты на содержание и эксплуатацию рабочего инструмента	$Z_{инстр}$	0	0
6. Затраты на содержание и эксплуатацию производственных площадей	$Z_{площ}$	0,77	0,45
7. Затраты на заработную плату основных производственных рабочих (ФЗП)	ФЗП	1041,59	642,25
8. Отчисления на социальные нужды	$O_{с.н}$	381,22	235,1
Технологическая себестоимость	$C_{тех}$	2661	2406,4
Цеховая себестоимость	$C_{цех}$	5028,2	3866
Общехозяйственные (общезаводские) расходы	$P_{произв}$	1704,4	1050,95
Производственная себестоимость	$C_{произв}$	6732,63	4916,95

Определим снижение себестоимости:

$$\Delta C_{\text{полн}} = \frac{C_{\text{полн}}^{\text{баз}} - C_{\text{полн}}^{\text{пр}}}{C_{\text{полн}}^{\text{баз}}} \cdot 100\% = \frac{6732,63 - 4916,95}{6732,63} \cdot 100\% = 26,97\% [.$$

Проведем расчет показателей экономической эффективности предлагаемого проекта.

1) Годовой экономический эффект по формуле (4.34).

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\Gamma} &= \left[\left(C_{\text{полн}}^{\text{баз}} + E_{\text{н}} \cdot K_{\text{уд}}^{\text{баз}} \right) - \left(C_{\text{полн}}^{\text{пр}} + E_{\text{н}} \cdot K_{\text{уд}}^{\text{пр}} \right) \right] \cdot N_{\Gamma} = \\ &= [(6732,63 + 0,33 \cdot 71,4) - (4916,95 + 0,33 \cdot 25083)] \cdot 1 = (6759,19 - 13194,34) = -6435,15 \text{ руб} \end{aligned}$$

где $E_{\text{н}}$ – нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности. В сварочном производстве $E_{\text{н}} = 0,33$;

$C_{\text{полн}}^{\text{баз}}$ и $C_{\text{полн}}^{\text{пр}}$ – полная себестоимость продукции (базовая и проектная) .

2) Рассчитаем ожидаемую прибыль от снижения себестоимости ремонта:

$$\text{Пр}_{\text{ож}} = \mathcal{E}_{\text{у.Г}} = \left(C_{\text{полн}}^{\text{баз}} - C_{\text{полн}}^{\text{пр}} \right) \cdot N_{\Gamma} = (6732,63 - 4916,95) \cdot 1 = 1815,68 \text{ руб}$$

Так как это процесс ремонта, то прибыль, полученная в процессе ремонта, являться чистой, потому что не облагается налогом на продажу.

3) Рассчитаем срок окупаемости капитальных вложений:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{общ}}^{\text{пр}}}{\text{Пр}_{\text{ож}}} = \frac{25083}{1815,68} = 13,8 \approx 14 \text{ лет};$$

Согласно работе [17], такое внедрение считается неэффективным. Но это и не входит в поставленную цель работы, так как остановка подачи воды через технологический трубопровод на более длительный период, приведет к большим убыткам, и дополнительным операциям.

Теперь рассчитаем повышение производительности и снижение трудоемкости:

Снижение трудоемкости:

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{t_{\text{шт}}^{\text{баз}} - t_{\text{шт}}^{\text{пр}}}{t_{\text{шт}}^{\text{баз}}} \cdot 100\% = \frac{188 - 115,73}{188} = 38,44\% ;$$

Повышение производительности:

$$\Delta \text{ПТ} = \frac{100 \cdot \Delta t_{\text{шт}}}{100 - \Delta t_{\text{шт}}} = \frac{100 \cdot 38,44}{100 - 38,44} = \frac{3844}{61,56} = 62,4\% .$$

Выводы по разделу «Экономическая эффективность проектного технологического процесса»:

За счет внедрения механизированной сварки в среде защитных газов в процесс ремонта, получено повышение производительности на 62%, и снижена трудоемкость 38,44%, что является хорошим результатом. Это указывает на то, что в условиях экстренного ремонта трубопровода механизированная сварка в среде защитных газов более производительный процесс, чем ручная дуговая сварка покрытым электродом. Благодаря внедрению нового оборудования, получены такие положительные эффекты как: снижение времени сварочных работ до 116 минут по сравнению с базовыми, который равен 188 минутам. Это хорошо, как с технической безопасности, так и с экономической. Полученный сварной шов при помощи механизированной сварки, является качественным, а приобретение нового оборудования позволит производить в дальнейшем ремонт на котельной установке более эффективно, чем с базовым способом РДС.

Заключение

При выполнении выпускной квалификационной работы достигнута цель по снижению времени, затраченного на ремонтные работы по восстановлению технологического трубопровода горячей воды, за счет внедрения более производительного способа механизированной сварки плавящимся электродом в защитных газах..

Механизированная сварка в среде защитных газов позволила снизить трудоемкость и увеличить производительность.

В данной работе подобраны параметры режима сварки, выбрано оборудование (источник питания, механизм подачи присадочной проволоки, конструкция центраторов и опоры)), необходимое для проведения ремонта, сварочные материалы.

Проведенный анализ доступных данных, благодаря чему получена дополнительная информация для разработки технологии ремонта технологического трубопровода воды с тройниковыми отводами..

В результате производительность процесса повышена на 62%, трудоемкость снижена на 38%, при том, что себестоимость снижена на 27%. Согласно полученным данным можно сделать вывод, что поставленная в выпускной квалификационной работе цель выполнена.

Список используемых источников

1. РД 153-34.1-003-01. Сварка, термообработка и контроль трубных систем котлов и трубопроводов при монтаже и ремонте энергетического оборудования. – М. : Изд-во Энергомаш, 2001. – 124с.
2. ГОСТ 32569-2013. Трубопроводы технологические стальные. Требования к устройству и эксплуатации на взрывопожароопасных и химически опасных производствах. – М.: Изд-во стандартов, 2013.- 54 с.
3. ГОСТ Р 55173-2012. Установки котельные. Общие технические требования. - М.: Изд-во стандартов, 2012. - 44 с.
4. ГОСТ 8732-78. Трубы стальные бесшовные горячедеформированные.- М.: Изд-во стандартов, 1978. - 24 с
5. ГОСТ 17380-2001 (ИСО 3419-81). Детали трубопроводов бесшовные приварные из углеродистой и низколегированной стали. Общие технические условия. - М.: Изд-во стандартов, 2001. - 24 с.
6. ОСТ 34-10-748-97. Детали и сборочные единицы трубопроводов из углеродистой и низколегированной сталей на $P_{раб} < 2,2$ МПа (22 кгс/см^2), $t \leq 425$ °С для тепловых электростанций. Соединения сварные стыковые. Типы, конструктивные элементы и размеры. – Введ. 1998-03-01. – СПб. : Изд-во Севзапэнергомонтажпроект, 1997. – 17 с.
7. ГОСТ 12821-80. Фланцы стальные приварные встык на P_u от 0,1 до 20,0 МПа (от 1 до 200 кгс/кв. см). Конструкция и размеры. - М. : Изд-во стандартов, 1992. – 21 с.
8. ГОСТ 14771-76. Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. - М. : Изд-во стандартов, 1976. – 24 с.
9. Шустик А.Г. Справочник по газовой резке, сварке и пайке / А.Г. Шустик, В.П. Савченко, А.М. Табунщик. – Киев. : Тэхника, 1989. – 104 с.
10. Потапьевский А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. / А.Г. Потапьевский. – М. : Машиностроение, 1974. – 240 с.

11. Патон, Б. Е., Римский, С. Т., Галинич, В. И. Применение защитных газов в сварочном производстве [Электронный ресурс] / Автоматическая сварка: науч.-произв. журн. – 2014. - №6. – С.17-24. - Режим доступа: <http://patonpublishinghouse.com/> - (дата обращения 15.04.2020).

12. Попков, А.М. Расчет параметров режима дуговой сварки угловых и стыковых швов // Сварочное производство. 1998. – № 7.– с.3–5.

13. Сварочный полуавтомат «Форсаж-302»: [Электронный ресурс] // Сварочные технологии. Сварочный полуавтомат «Форсаж-302». Технические характеристики, 2008-2020 / Режим доступа: <http://www.welding-russia.ru/catalog.html?itemid=15688/>. (Дата обращения: 03.05.2020).

14. Механизм подачи проволоки МПП ФОРСАЖ-МП: [Электронный ресурс] // Сварочные технологии. Механизм подачи проволоки МПП ФОРСАЖ-МП. Технические характеристики, 2008-2020 / Режим доступа: <http://www.welding-russia.ru/catalog.html?itemid=15692/>. (Дата обращения: 03.05.2020).

15. ОСТ 36-146-88*. Опоры стальных технологических трубопроводов на Ру до 10 МПа. Технические условия. - СПб. : Изд-во Севзапэнерго-монтажпроект, 1990. – 78 с.

16. Сорокин, В.Г. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин [и др.]. - М. : Изд-во Машиностроение, 1989. – 640 с.

17. Краснопевцева И.В. Методическое пособие по выполнению экономической части дипломного проекта производственно-технологического характера для студентов специальности 150700.02.65 и направления подготовки 15.03.01 [Текст] / И. В. Краснопевцева. — Тольятти : ТГУ, 2015. — с.32.

18. Егоров А.Г. Правила оформления выпускных квалификационных работ для бакалавриата и специалитета: учеб.-метод. пособие по выполнению дипломного проекта [Текст] / А.Г. Егоров, Г.Н. Уполовникова, И.А. Живоглядова. – Тольятти.: ТГУ, 2011. – с. 8-87.

19. A. M. Pokrovskii & O. A. Volokhovskaya & V. G. Leshkovtsev & G. Ya. Panovko. Assessment of trunk-pipeline survivability taking into account residual welding stresses [Electronic resource] / A. M. Pokrovskii & O. A. Volokhovskaya & V. G. Leshkovtsev & G. Ya. Panovko. – Электрон. Текстовые дан. - Springerlink, 2007. - Access mode: <https://www.springerlink.com/> – (дата обращения 23.04.2020).

20. G. Senthil Kumar & U. Natarajan & S. S. Ananthan. Vision inspection system for the identification and classification of defects in MIG welding joints [Electronic resource] / G. Senthil Kumar & U. Natarajan & S. S. Ananthan. – Электрон. текстовые дан. – Springerlink, 2014.- Access mode: <https://www.springerlink.com/> – (дата обращения 23.04.2020).

21. Mohsen Mohammadijoo & Laurie Collins & Hani Henein & Douglas G. Ivey. Evaluation of cold wire addition effect on heat input and productivity of tandem submerged arc welding for low-carbon microalloyed steels [Electronic resource] / Mohsen Mohammadijoo & Laurie Collins & Hani Henein & Douglas G. Ivey. – Электрон. текстовые дан. – Springerlink, 2017.- Access mode: <https://www.springerlink.com/> – (дата обращения 13.04.2020).

22. A. B. Rothwell. Welding metallurgy and process development research for the gas pipeline industry [Electronic resource] / Rothwell A.B., Dorling D. V., Glover A. G. – Электрон. текстовые дан. – Springerlink, 1990.- Access mode: <https://www.springerlink.com/> – (дата обращения 25.04.2020).

23. Satish Garg. Optimisation of High Frequency Seam Welding Parameters By Taguchi Method [Electronic resource] / Satish Garg, SS Banwait and Ravneet Kumar. - Asian Journal of Engineering and Applied Technology (2016). – Access mode: <https://rd.springer.com/article/10.1007/s11661-016-3335-8/> - (дата обращения 25.04.2019).