

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ 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 кафедры)

15.03.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Оборудование и технология сварочного производства»

(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Технология восстановления технологического трубопровода»

Студент	<u>Р.А. Стряхилев</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Руководитель	<u>Г.М. Короткова</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Консультанты	<u>И.В. Краснопевцева</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
	<u>А.Н. Москалюк</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
	<u>В.Г. Виткалов</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
	<u>М.М. Бажутина</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Ельцов
(учёная степень, звание, И.О. Фамилия)

_____ (личная подпись)

« _____ » _____ 2018 г.

Тольятти 2018

АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке и проектированию технологии восстановления трубопровода воды тепловой электростанции. Анализ известных данных показывает, что в современном производстве редко применяют восстановительные работы при помощи сварки, так как считается, что проще купить новую деталь трубопровода и заново установить ее. Но трубопровод теплоэлектростанций – ответственный узел предприятия, поэтому в ряде случаев нельзя ждать поступления новой детали от изготовителя, требуется ремонт на месте. В этих случаях применяется сварка.

В данной работе автором рассматривается применение механизированной сварки в среде защитных газов. Этот способ считается более производительным по сравнению с базовым способом ремонтной сварки – ручной дуговой. Путем сравнения автор определяет преимущества от внедрения новой технологии.

При выполнении работы рассмотрены и обозначены новые возможности от применения механизированной сварки для данного случая. В ходе выполнения работы автором разработана и расписана проектная технология восстановления трубопровода теплоэлектростанции. Также обоснованы преимущества предлагаемой технологии.

В работе отмечается, что предложенный способ ремонта имеет частный характер, поэтому он применим только в тех случаях, когда это технологически и экономически обосновано.

Объем бакалаврской работы составляет 79 страниц, а также включает 25 рисунков, 12 таблиц, 23 источника и 6 листов графической части формата А1.

ABSTRACT

The bachelor's thesis is dedicated to the development and design of technology for the recovery of the water pipeline of a thermal power station. The analysis of the known data shows that in modern production restoration is rarely made by means of welding, since it is believed that it is easier to buy a new part of the pipeline and re-install it. But the pipeline of thermal power plants is the responsible site of the enterprise, therefore in some cases it is impossible to wait for the delivery of a new spare from the manufacturer, on-site repair are required. Welding is used in these cases.

In this paper, the author considers the use of mechanized welding in the protective gas environment. This method is considered more productive than the basic method of repairing welding - manual arc welding. By means of comparison, the author determines the advantages of implementing a new technology.

While working on the thesis, new possibilities from the use of mechanized welding for this case are considered and indicated. In the course of the research, the author has worked out and outlined the design technology for the recovery of the thermal power plant pipeline. The advantages of the proposed technology are also grounded.

The volume of the bachelor's thesis is 79 pages, and it contains 26 figures, 12 tables, 23 sources and 6 broadsheets of graphic part of A1 formats.

СОДЕРЖАНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ	6
1	Анализ конструкции технологического трубопровода ТЭЦ	7
	1.1. Описание участка технологического трубопровода	7
	1.2. Описание секторного отвода	8
	1.3. Свойства материала трубопровода	10
	1.4. Анализ износа технологического трубопровода при эксплуатации	11
	1.5. Рекомендации РД-153-34.1-003-01 и ОСТ 34-10-748-97 по выбору способа сварки, материалов и контроля технологического трубопровода	14
2	Разработка технологии подготовки трубопровода к ремонтным работам	18
	2.1. Базовая технология сборки и сварки отвода	18
	2.2. Выбор способа сварки для ремонта трубопровода	20
	2.3. Технология удаления дефектного участка	24
	2.4. Требования к проведению и результату ремонта	26
3	Проектирование технологии восстановления технологического трубопровода	28
	3.1. Расчет параметров режима сварки	28
	3.2. Выбор сборочно-сварочного оборудования для восстановления трубопровода	31
	3.3. Описание готового проекта технологического процесса	38
4	Экономическая эффективность проектного технологического процесса	51
5	Безопасность и экологичность проекта	72

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	76
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ	77

ВВЕДЕНИЕ

Технологический трубопровод используется для подачи и отведения холодной и горячей воды в производственных помещениях, в частности на тепловых электростанциях. На участке трубопровода, который рассматривается в данной работе, имеется деталь, которая служит для соединения труб под определенным углом – секторный сварной отвод.

При эксплуатации технологического трубопровода именно эта деталь подвержена повышенному воздействию горячей воды и пара, соответственно велика вероятность образования коррозионного дефекта на ее поверхности. Также стоит учитывать тот факт, что дефект уже может быть получен в ходе изготовления или проведения сварочных работ по сборке этой детали. Принимая во внимание то, насколько трубопровод важная часть инфраструктуры предприятия, ремонт должен быть максимально качественный, продуктивный и быстрый.

Применение сварочных технологий в современном производстве крайне велико. С помощью сварки осуществляются как изготовление, так и ремонт изделий, эксплуатируемых во многих отраслях промышленности. Один из самых распространенных и простых способов ремонта технологического трубопровода – ручная дуговая сварка. Этот способ все еще является приоритетным способом сварки, по мнению многих. В случае с ремонтом такой конструкции, как технологический трубопровод, приходится часто применять ручной способ сварки.

Учитывая большое влияние сварки на процессы производства в нынешнее время, встает вопрос о качестве, производительности и экономической выгоде проведения сварочных работ.

Цель данной работы – снижение длительности восстановления (ремонта) технологического трубопровода в экстренных условиях за счет внедрения более производительного способа сварки и соответствующего оборудования.

1 Анализ конструкции технологического трубопровода ТЭЦ

ТЭЦ, или теплоэлектроцентраль - это тепловая электростанция, которая помимо производства энергии осуществляет также электроснабжение, горячее водоснабжение и теплоснабжение промышленных и жилых объектов.

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 [3].

На теплоэлектростанциях или теплоэлектроцентралях технологические трубопроводы служат в основном для подачи воды и пара. Помимо этого, также производится подача мазута, природного газа, отвод продуктов переработки и т.п.

Так как технологические трубопроводы имеют широкий диапазон применения, то и подбор материала для изготовления труб будет зависеть от вида эксплуатации. Технологический трубопровод для подачи воды, рассматриваемый в данной работе, изготавливается из конструкционной низколегированной стали, которая часто используется для сварных конструкций – сталь 09Г2С. Рабочие условия для водяного технологического трубопровода — температура воды (пара) не более 120 °С, давление до 0,07 МПа.

1.1. Описание участка технологического трубопровода

В данной работе рассматриваемый технологический трубопровод (рис. 1.1.) состоит из следующих комплектующих изделий:

1) Фланцы воротниковые (позиции 1,3,4,10,14) — поковка ГОСТ 12821-80.

2) Трубы прямые бесшовные (позиции 2,5,7,9,11,13) — диаметром 377 мм, толщина 9 мм — ГОСТ 8732-78. Отрезаются согласно КД.

3) Отводы секторные сварные (позиции 6,8) — диаметр 377 мм, толщина 9 мм — ОСТ 34-10-752-97, ТС – 583.000 серия 5.903-13.

4) Тройник равнопроходный (позиция 12) – диаметр 377 мм, толщина 9 мм – ГОСТ 17376.

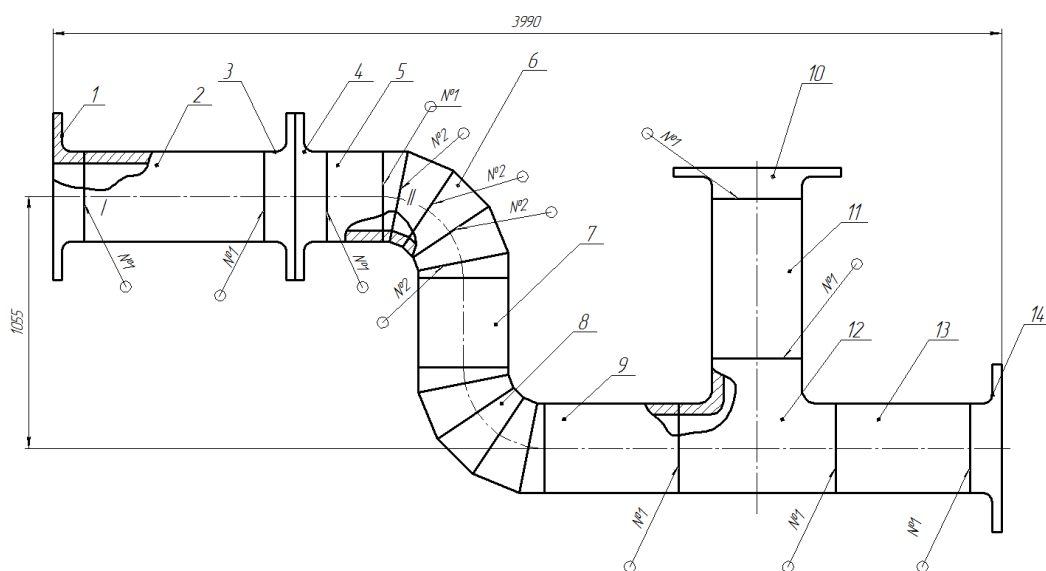


Рисунок 1.1 – Рассматриваемый участок технологического трубопровода

1.2. Описание секторного отвода

На рассматриваемом технологическом трубопроводе в данной работе операция ремонта осуществляется на секторном сварном отводе 6 (рис. 1.1.). Отвод имеет диаметр 377 мм и толщину стенки 9 мм, такую же, что и у всего трубопровода. Согласно нормативным документам, вес данной сварной конструкции составляет 84,3 кг. Как видно на чертеже, отвод состоит из пяти секторов, два из которых – крайние и одна их сторона приваривается под прямым углом к патрубкам 5 и 7 (рис. 1.1.) – такие сектора называются концевыми, а те три сектора, которые большего размера и находящиеся посередине – промежуточные. Все сектора стыкуются для сварки под

определенными углами, значения которых прописаны в нормативной документации.

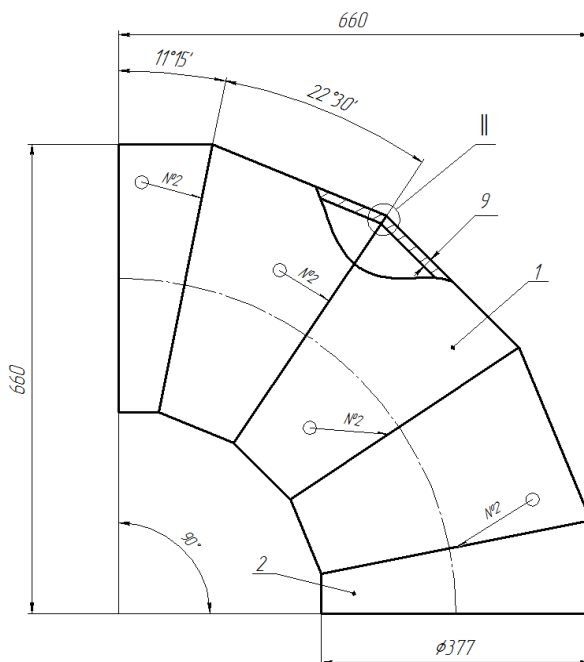


Рисунок 1.2 – Сварной секторный отвод 90° 377×9

Данная деталь предназначена для изменения направления прямого участка трубы под определенным градусом. Отвод секторный сварной изготавливается согласно со стандартом ОСТ 34.10.748-97 (данный стандарт предписывается для труб для пара и воды), где указано, что отводы такого типа бывают разного вида, а именно с углом поворота рабочей среды на 15°, 22°30', 30°, 45°, 60°, 90°. Диапазон допустимых диаметров сварных отводов лежит в пределах от 108 до 1420 мм. Конструкция сварного отвода считается менее надежной, но более дешевой, чем другие типы конструкции этой детали. На данный момент изготавливаются отводы следующих типов: крутоизогнутые (рис. 1.3, а), сварные секторные (рис. 1.2), штампосварные (рис. 1.3, б).



Рисунок 1.3 – Типы конструкции трубопроводных отводов

Сварные секторные отводы применяются в трубопроводах, работающих под низким давлением (до 2,5 МПа) и при температуре до +425° [2]. Как правило, они выполняются из низколегированной или углеродистой стали, чаще всего их изготавливают из низкоуглеродистых сталей 09Г2С, 17ГС, 17Г1С по ГОСТ 19281-89 и стали 20 по ГОСТ 1050-88. Сварные секторные отводы имеют широкое применение во многих отраслях промышленности. Сварка таких отводов – сложный процесс, соответственно, сварщик, выполняющий изготовление такой детали должен обладать высоким уровнем квалификации.

1.3. Свойства материала трубопровода

В качестве материала для технологического трубопровода в данной работе выбрана сталь 09Г2С. Данная сталь классифицируется как низколегированная и часто применяется для создания сварных конструкций. Применение металлоконструкций из стали 09Г2С подразумевает работу под давлением и в диапазоне температур от – 70 до + 425 °С. Сталь 09Г2С обладает неограниченной свариваемостью, а значит, при проведении сварочных работ не требуется предварительный подогрев, а также термообработка после сварки. Хорошая свариваемость этой стали обуславливается низким содержанием углерода (~ 0,09 %) (табл.1.1) [9]. Ниже приведены наглядные данные о химическом составе и физико-механических свойствах данной стали.

Таблица 1.1 - Химический состав стали 09Г2С в процентном содержании [9]

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 $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ для листового сортамента [9]

Плотность $\rho, \text{ кг/м}^3$	Температура плавления Тпл, $^{\circ}\text{C}$	Предел прочности $\sigma_B, \text{ МПа}$	Предел текучести $\sigma_T, \text{ МПа}$	Относительное удлинение $\delta, \%$
7850	1500	500	350	21

Низколегированная сталь 09Г2С характерна повышенным содержанием марганца и кремния (табл. 1.1), о чем говорит маркировка («Г» – марганец; «С» – кремний). Заменителями данной стали являются следующие марки: 09Г2ДТ, 09Г2Т, 09Г2, 10Г2С. Сталь 09Г2С считается не склонной к отпускной хрупкости, это означает, что после проведения отпуска показатель вязкости не уменьшается. Также данная сталь является устойчивой к образованию трещин.

Сталь данной марки за счет имеющихся свойств используют для производства износостойких конструкций, таких как швеллеры, балки и уголки. Сталь 09Г2С имеет широкий диапазон температур для эксплуатации – возможность работать при $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$, что позволяет применять данную сталь в самых жестких климатических условиях [9]. Физико-механические свойства ст. 09Г2С для листового сортамента при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ приведены в табл.1.2.

Таким образом, для стали 09Г2С при содержании углерода 0,09% можно рекомендовать все способы сварки плавлением.

1.4 Анализ износа технологического трубопровода при эксплуатации

Так как в данной работе рассматривается технологический трубопровод воды, то, соответственно, велика вероятность коррозионного износа. Сварной секторный отвод является важной частью узла данного трубопровода, а также он обладает немалым количеством сварных швов, герметичность которых напрямую зависит от коррозионного влияния воды и горячего водяного пара в данном случае.

Само по себе железо активно корродирует. Процесс коррозии в данном случае является самопроизвольным возвращением железа в более стабильное состояние – в оксид, карбонат, сульфид и/или т.п., так как для железа это более энергетически выгодное состояние, как и для большинства металлов в природе [6]. Поэтому использование низколегированной стали целесообразно по причине того, что в составе таких сталей содержатся элементы, которые либо препятствуют коррозии, либо замедляют её. Если обратить внимание на химический состав стали 09Г2С (табл. 1.1), то можно заметить такие элементы как хром и никель, которые выполняют антикоррозионную функцию, помимо улучшения физико-механических свойств данной стали. Данные легирующие элементы отличаются повышенной коррозионной стойкостью, но при этом их наличие в составе данной стали повышает ее стоимость. Вообще одними из самых коррозионностойких металлов считаются благородные металлы, но их высокая стоимость, а также малая доступность не позволяют использовать их в промышленных масштабах.

Но, даже принимая во внимание тот факт, что в составе легированных сталей есть добавки, препятствующие распространению коррозии, а также коррозионному разрушению, следует знать, что практически все металлические промышленные сплавы разрушаются в агрессивных средах. Соответственно, понятия об абсолютной стойкости металла против коррозии не существует. Так что при описании степени стойкости металла или сплава

к коррозионному износу следует говорить о величине и скорости распространения этого износа.

На рисунке 1.4 изображено фото коррозии стали, полученное при помощи электронного микроскопа с 400-кратным увеличением. Данное изображение позволяет наглядно рассмотреть характер распространения оксидных включений в металле. Как можно заметить, коррозия образуется равномерно на всей площади участка металла, помещенного в агрессивную среду. Это говорит о том, что коррозионный износ может иметь как локальный характер, так и узконаправленный, в зависимости от металла и среды.

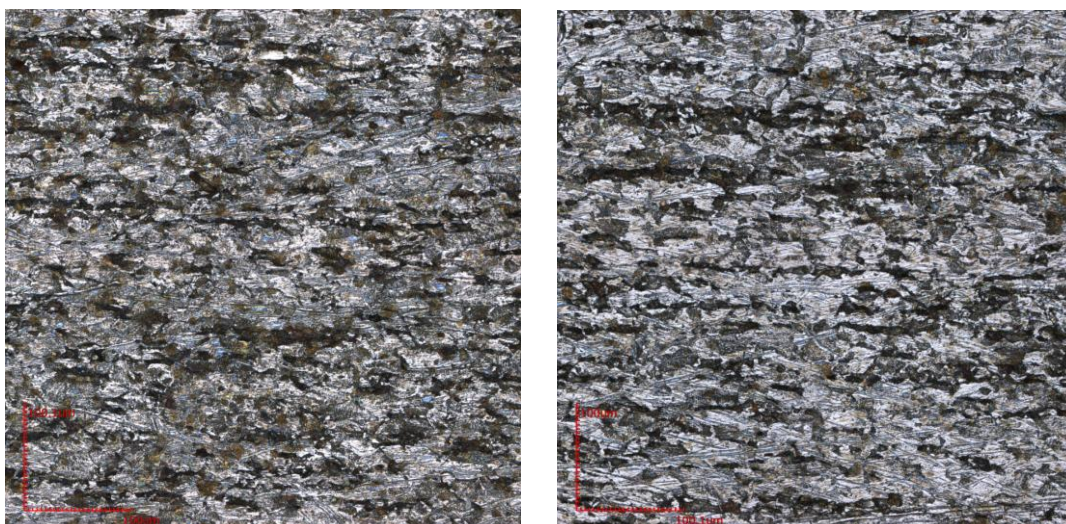


Рисунок 1.4 – Фото коррозии низкоуглеродистой стали при 400-кратном увеличении.

Помимо исходных свойств металла, определяющих его восприимчивость к воздействию среды, немаловажную роль также играет фактор термического влияния, который появляется на стадии производства конструкции (сварка, термообработка и т.п.). Также в этот промежуток производства изделия могут образовываться сварочные дефекты, такие как непровары, наплывы, подрезы, которые приводят к появлению внутренних и остаточных напряжений. Все эти вышеописанные факторы пагубно влияют на восприимчивость сварного шва к воздействию среды.

Для сварных соединений из низколегированной стали характерна сплошная коррозия при эксплуатации в природных средах (вода, почва, атмосфера). Коррозия такого типа может быть разных видов: равномерной (а), сосредоточенной на шве (б), сосредоточенной в ЗТВ (в), сосредоточенной на основном металле (г) (рис. 1.5.); поверхность, подверженная коррозии, на рисунке показана пунктирной линией [2].

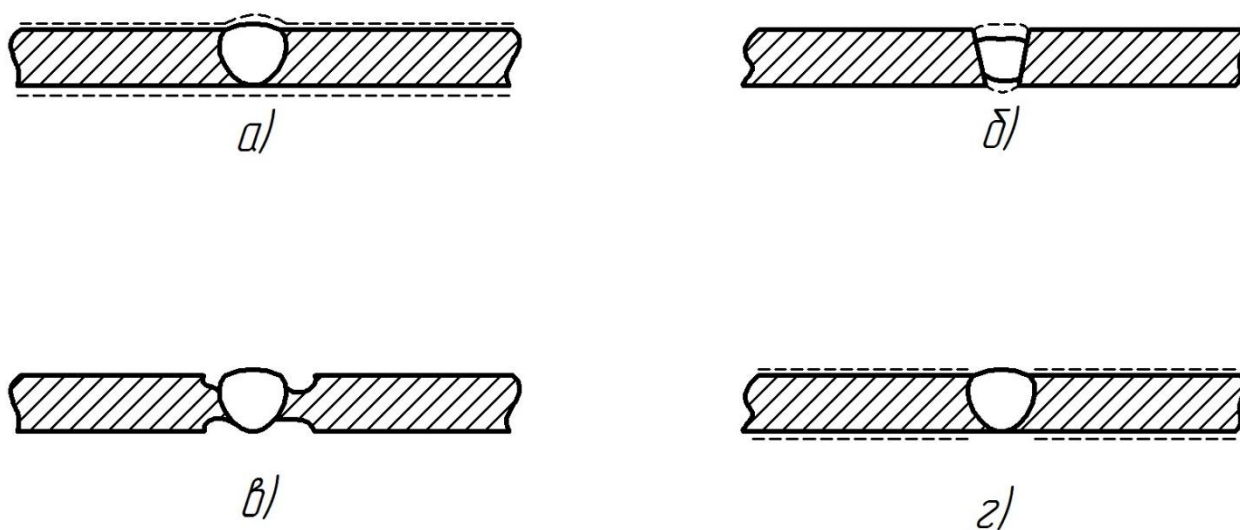


Рисунок 1.5 – Виды сплошной коррозии, характерной для низколегированных сталей [5].

1.5 Рекомендации РД-153-34.1-003-01 и ОСТ 34-10-748-97 по выбору способа сварки, материалов и контроля технологического трубопровода

Для тематики данной ВКР при выборе допустимых Ростехнадзором способов сварки, сварочных материалов, приспособлений, методов контроля подходят нормативно-технические документы РД-153-34.1-003-01 «Сварка, термообработка и контроль трубных систем котлов и трубопроводов при монтаже и ремонте энергетического оборудования. РТМ-1с.» и ОСТ 34-10-748-97 «Детали и сборочные единицы трубопроводов из углеродистой и низколегированной сталей на Рраб <2,2 МПа (22 кгс/см²), t ≤ 425 °С для

тепловых электростанций. Соединения сварные стыковые. Типы, конструктивные элементы и размеры». В данных документах описывается технология сборки и сварки стыков труб технологического трубопровода, перечень требуемых сварочных материалов (электроды, проволока, защитный газ, флюс), типы допустимых сварных соединений, конструкции деталей, кромок, сборочных единиц, необходимые методы неразрушающего контроля для трубопроводов, работающих при давлении не более 2,2 МПа и $t < 425$ °С. В дальнейшем при описании базовой технологии и разработки проектной технологии, все нормативно-технические данные будут взяты из этих документов.

Согласно вышеуказанному РД, для изготовления или ремонта изделий трубопроводных систем с рабочим давлением до 2,2 МПа, регламентированных в данном документе, подходят следующие виды сварки:

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

Рекомендуемым способом для сварки стыков труб и других комплектующих изделий (отводы, тройники и т.п.) из углеродистых и кремнемарганцовистых сталей является механизированная сварка в среде защитных газов [1]. Стоит отметить, что сталь 09Г2С как раз относится к типу кремнемарганцовистых сталей, то есть выбор механизированной сварки оправдан нормативно-технической документацией. Однако в [1] описывается требование о том, что проварка корневого шва желательно должна осуществляться ручной или автоматической аргонодуговой сваркой в среде аргона неплавящимся электродом, вне зависимости от выбранного способа сварки для заполнения разделки.

Что касается сборки, то рекомендуется собирать стыки труб таким образом, чтобы обеспечить проведение сварки, а также последующего

контроля, с необходимой доступностью к стыкам. В данном случае, при учете конструктивных особенностей секторного отвода, сектора стоит сваривать поочередно, начиная с первого полусектора и заканчивая последним полусектором.

Также имеется требование о необходимых условиях хранения электродного материала и флюса. В предназначенном для этого помещении должна поддерживаться температура $t \geq 15 \text{ }^\circ\text{C}$, а относительная влажность воздуха должна составлять не более 50% [1]. Здесь же помимо сварочного оборудования и материалов должна находиться печь для прокалики электродов. Склад электродного материала и место работы (сварки) требуется защитить от воздействия ветра, особенно влажного, сквозняков, различного вида атмосферных осадков. Также в этих местах должно находиться оборудования первичного пожаротушения.

Марка покрытого электрода для ручной дуговой сварки и сварочной проволоки для механизированной сварки выбирается согласно таблице 1.3 и при этом выбранный электродный материал должен соответствовать требованиям ГОСТ 9466-75, ГОСТ 9467-75, ГОСТ 10052-75 и ГОСТ 2246-70 [1]. Режимы прокалики покрытых электродов и проволоки перед сваркой также указаны в таблице 1.3. Также данные режимы можно выбирать согласно соответствующим документам типа ОСТ, ТУ и РД. Прокаливание покрытых электродов более трех раз не производится. Количество прокалок порошковой проволоки не ограничено. Если покрытые электроды после трех прокалок показывают неудовлетворительные сварочно-технологические свойства, то их не допускают до эксплуатации на сварочных работах, выполняемых по настоящему РД [1].

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

Способ сварки	Электродный материал	Температура прокалики, $^\circ\text{C}$	Время прокалики, ч
РДС	УОНИ 13/55	360 ± 20	$2 \pm 0,5$

Механизированная	Св-08Г2С	150-200	1,5-2
------------------	----------	---------	-------

Перед началом сварочных работ сварщик обязательно должен проверить правильность сборки, величину зазора, смещения, геометрических размеров разделки и т.п. Крайне желательно использовать центрирующие устройства для стыковки деталей, причем такими, которые не нужно приваривать к трубным деталям. Кромки деталей должны быть зачищены и обезжирены до начала сборки, ширина зачистки регламентируется РД [1].

Для механизированной сварки РД рекомендует применять в качестве источника питания однопостовые сварочные выпрямители с жесткой вольт-амперной характеристикой, сварку требуется вести на постоянном токе обратной полярности. Расход углекислого газа варьируется в пределах 900-1200 л/ч [1].

Контроль качества сварочных работ и готового изделия должен быть систематическим, то есть он должен производиться на разных этапах производства или ремонта. Такой вид контроля подразумевает входной контроль, операционный и приемочный. Виды подходящего приемочного контроля в данном случае, которые разрешены Ростехнадзором, следующие: визуально-измерительный (ВИК), ультразвуковой, радиографический, капиллярный, магнитопорошковый. Ультразвуковой и радиографический контроль проводятся только после ВИК. ВИК является обязательным видом контроля, вне зависимости от применяемого способа сварки, материалов и оборудования [20]. Перед началом ВИК требуется зачистить поверхность металла шва, а также прилегающей зоны, от загрязнений, брызг и окалины. ВИК проводится при помощи увеличительного стекла с 4-7-кратным увеличением, либо просто невооруженным глазом. При выявлении с помощью ВИК дефекты, которые являются недопустимыми: трещины, наплывы, непровары, кратеры, прожоги, свищи, различные неметаллические включения [1].

Ультразвуковой и радиографический контроль (100%) должны проводиться по всему периметру стыков. Ультразвуковой контроль предназначается только для швов с полным проплавлением [1].

2 Разработка технологии подготовки трубопровода к ремонтным работам

2.1. Базовая технология сборки и сварки отвода

Существует несколько вариантов процесса сборки и сварки секторного отвода. Выбор того или иного способа зависит от многих факторов, в том числе от возможностей производства, целевого назначения отвода и его геометрических параметров. Например, для особо ответственных трубопроводных сетей изготовление отвода подразумевает использование автоматических способов сварки с целью обеспечения максимально высокого качества металла шва. При этом не каждое предприятие может позволить себе использовать дорогостоящие автоматические аппараты для сборки/сварки, поэтому приходится применять более простые и дешевые способы сварки. Поэтому при выборе базовой технологии изготовления секторного отвода решено было остановиться на ручной дуговой сварке.

Несмотря на многообразие различных способов сварки, как автоматических, так и механизированных, в нашей стране ручная дуговая сварка покрытыми электродами все еще имеет высокий процент применения на производстве по сравнению с остальными способами сварки. Простота процесса и относительно дешевое оборудование обуславливает столь широкое применение. Однако медлительность рабочего процесса, а также далеко не самая лучшая защита металла шва подразумевает применение РДС лишь на тех конструкциях, к которым нет крайне высоких эксплуатационных требований.

Так как проектирование технологического процесса по восстановлению трубопровода ТЭЦ на примере секторного отвода будет подробно описано в главе 3, то в данном параграфе технология сборки и сварки описана лишь в общих чертах, без уточнения о материалах, приспособлениях, режимах, геометрических параметрах и сварочном оборудовании.

Изготовление секторного отвода начинается с входного контроля. На этом этапе необходимо проконтролировать заготовки-сектора в соответствии с нормативной документацией [1]. Также требуется проверить наличие сопроводительной документации к деталям. Сектора, не прошедшие входной контроль не допускаются к эксплуатации. Далее следуют подготовительные операции, которые заключаются в создании разделки кромок, зачистки рабочей поверхности от загрязнений, масел и т.п. Производить очистку зоны сварки необходимо во избежание попадания органических и/или масляных включений в сварочную ванну. Если это не соблюдать, то в металле шва может образоваться внутренний дефект, который приведет к потере физико-механических свойств конструкции.

Далее следует сборка секторов для сварки встык. Согласно [1], сборку можно осуществлять при помощи различных центрирующих или позиционирующих приспособлений. Важно отметить, что сектора собираются и свариваются поочередно, соответственно не требуется производить сборку сразу пяти секторов отвода с расчетом проварить все швы за один раз. При ручной дуговой сварке секторов отводов небольших диаметров сборку можно производить на сварочных столах, используя различные средства закрепления. Главное в данной операции – соблюдать требуемые в документации [1;2], а также в таблице технологического процесса (лист 3 и 4) зазоры, смещения поверхностей и углы стыковки секторов между собой.

По окончанию сборки следует приступить к операции сварки. Согласно параграфу 1.4 главы 1, для создания корневого шва необходимо использовать аргонодуговую сварку неплавящимся вольфрамовым электродом. Выбор между ручным и автоматическим способом аргонодуговой сварки осуществляется в зависимости от условий производства. Сначала делаются прихватки в четырех местах по диагонали, затем провар корня шва, при этом тем же способом сварки, что и корневой проход. Последующие проходы – заполняющие – осуществляются ручной дуговой сваркой покрытыми

электродами (для базового варианта). Количество проходов определяется исходя из диаметра электрода и толщины свариваемого металла. По окончании сварки усиление шва не снимается и механически не обрабатывается.

По завершению сварочных работ по изготовлению отвода, в обязательном порядке необходимо провести контроль сварных швов. В первую очередь, вне зависимости от имеющегося оборудования, проводится визуально-измерительный контроль (ВИК). При помощи увеличительного стекла, измерительных приборов и шаблонов выявляется наличие видимых дефектов, проверяется геометрия сварного шва. После этого пользуются другими методами неразрушающего контроля – ультразвуковой, радиационный, магнитопорошковый и т.п. При выявлении дефекта требуется по возможности переварить дефектный участок шва, в остальных случаях, когда это сделать невозможно, деталь (отвод) не подлежит эксплуатации.

2.2. Выбор способа сварки для ремонта трубопровода

Для обоснованного выбора способа сварки стоит обратиться к параграфу 1.5. главы 1, в которой рассматриваются рекомендованные нормативной документацией способы, материалы, оборудование и т.п. В дальнейшем, при подборе нужного нам способа стоит руководствоваться характерными особенностями условий проведения ремонта трубопровода. Так как восстановительные работы проводятся в экстренных условиях, то предпочтение стоит отдать такому способу и оборудованию, которые являются одновременно мобильными и простыми в использовании.

Так как в предыдущем параграфе было сказано, что за базовый вариант восстановления взят ручной дуговой способ сварки покрытыми штучными электродами, то очевидно, что в качестве проектного варианта данный способ не рассматривается. Здесь же стоит отметить, что несмотря на то, что в параграфе 1.5. уже обозначено, что предпочтение отдается механизированному способу сварки, в данной главе важно рассмотреть

другие имеющиеся варианты, их достоинства и недостатки, а также возможность использовать эти способы в перспективе.

Ручная аргодуговая сварка неплавящимся электродом (рис 2.1). Данный способ сварки чаще применяется для сварочных работ по цветным металлам и сплавам, а также по легированным сталям, нежели по низкоуглеродистым. Помимо этого, ручной способ подразумевает низкую производительность, а как раз это в данной работе планируется исправить. Но несмотря на все вышесказанное, в нормативной документации говорится о том, что этим способом можно осуществлять прихваточные швы и корневой проход. Следовательно, в зависимости от вида сварочных работ, возможностей производства, а также эксплуатационных требований, РАД сварка все равно при проектировании технологического процесса для создания корневого шва. В данной работе РАД сваркой не будут производиться прихваточные швы и корневой шов.

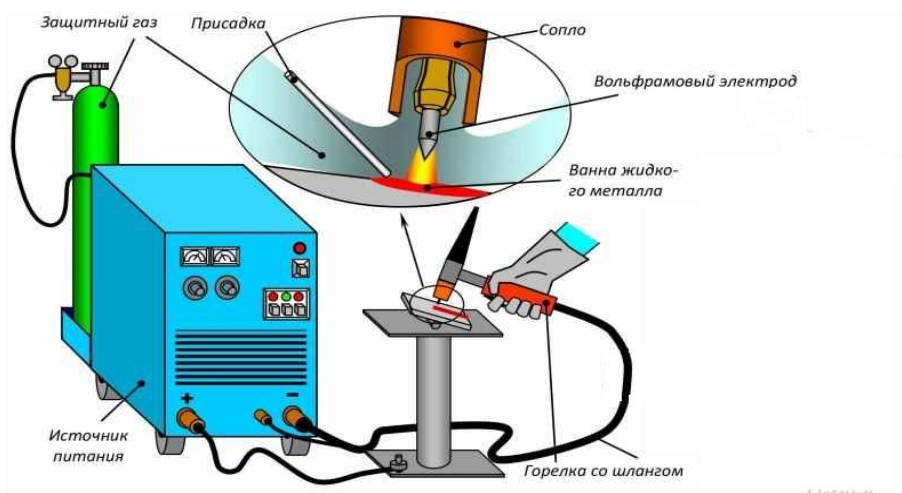


Рисунок 2.1 – Схема ручной аргодуговой сварки

Автоматическая аргодуговая сварка неплавящимся электродом. Этот способ сварки может похвастаться высокой производительностью, по сравнению с другими способами, рекомендованными РД. Но при этом его использование в условиях, рассматриваемых в ВКР, нецелесообразно за счет того, что в экстренных ситуациях на ТЭЦ такой установкой воспользоваться почти невозможно. В данной работе желательно рассматривать компактное и

мобильное оборудование. Автоматическую установку для сварки кольцевых стыков секторов нельзя отнести к такому типу оборудования.

Газовая ацетилено-кислородная сварка. На фоне всех остальных способов, рекомендованных РД, газовая сварка является одним из самых неподходящих в конкретно рассматриваемой ситуации. Во-первых, велико тепловое воздействие пламени горелки, что может привести к недопустимым повреждениям металла. Во-вторых, для выбранной в ВКР толщины металла – 9 мм – газовую сварку использовать неэффективно, она применима к толщинам до 3-5 мм. Также здесь имеет место быть низкая производительность, что очевидно для данного способа. Учитывая большой объем сварочных работ, также не рекомендуется использовать данный способ с точки зрения безопасности. Несмотря на это, данный способ может быть рекомендован в полевых условиях ремонта, за счет отсутствия потребности в электрооборудовании и простоте пользования.

Автоматическая сварка под флюсом. Данный способ имеет те же достоинства и недостатки, что и способ автоматической аргонодуговой сварки. Использование в данной ВКР нецелесообразно.

Механизированная сварка плавящимся электродом сплошного сечения в среде углекислого газа (рис.2.2). Данный рекомендованный способ является наиболее подходящим вариантом в рассматриваемых условиях. Производительность данного способа в полтора-два раза выше, чем у ручных вышеописанных вариантов [8]. При этом современное оборудование для механизированной сварки/наплавки не является большим и громоздким, что позволяет использовать его на ТЭЦ в экстренных условиях ремонта. Также сварочная проволока, которая используется в качестве электродного материала, имеет относительно не высокую стоимость, особенно в случае сварки низколегированной стали. Углекислый газ является тоже является недорогим средством защиты металла шва. При этом в [1] говорится о том, что можно изменять параметры или материалы, если это не вредит процессу, поэтому в данной ВКР рассматривается применение не просто CO₂, а смеси

газов аргона (Ar) и углекислоты (CO₂) в процентном соотношении 75% и 25% соответственно. Применение такой смеси газов обеспечивает хорошее формирование металла шва, плавные переходы с валика шва на основной металл, а также данная смесь обладает сочетанием отличных технологических и металлургических свойств [12].

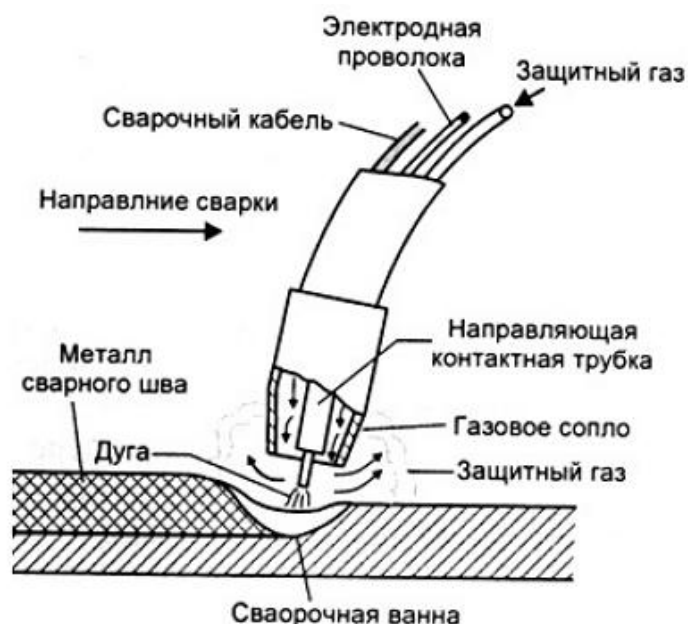


Рисунок 2.2 – Механизированная сварка в среде защитного газа

Механизированная сварка порошковой проволокой в среде защитного газа [8]. Отличается от вышеупомянутого способа лишь применением порошковой проволоки в качестве электродного материала. Порошковая самозащитная проволока обладает рядом преимуществ, по сравнению с проволокой сплошного сечения: отсутствие потребности в газовой защите – наполнение проволоки создает необходимую защиту металла шва [23]; более качественное и насыщенное легирование металла шва. Тем не менее, применение такой проволоки в данной ВКР не имеет смысла, так как цель – повышение производительности, а не качества металла шва.

Исходя из всего вышеописанного, выбор механизированной сварки проволокой сплошного сечения в среде защитных газов подтвержден и обоснован.

2.3. Технология удаления дефектного участка

Процесс восстановления трубопровода ТЭЦ путем замены неработоспособного секторного отвода начинается с удаления дефектного участка. В данной ВКР рассматривается вариант, когда сварные швы оказались подвержены коррозионному разрушению. В таком случае весь секторный отвод подлежит утилизации, а на его место приваривается новый, только что сваренный в условиях ТЭЦ. Операцию удаления отвода в данной работе решено было производить при помощи ацетилено-кислородной резки. Данный способ резки считается самым производительным, что немаловажно, так как цель данной работы – повышение производительности ремонта. Также к достоинствам такой резки можно отнести высокое качество реза, что тоже важно для сохранения в целостности металла трубы.

В составе всех газокислородных резаков в обязательном порядке есть три неотъемлемые части – газовый баллон, ствол, наконечник. Ствол представляет собой рукоятку с ниппелями, которые служат для присоединения газовых шлангов с кислородом и ацетиленом. На рукоятке резака имеются три клапана (рис. 2.3), регулирующих подачу подогревающего и режущего газа (кислорода, O_2), а также рабочего газа (ацетилена, C_2H_2).

На рисунке 2.3 показана конструкция ствола ацетилено-кислородного резака в разрезе. Принцип данного устройства следующий – резак создает одновременно двойное воздействие на металл путем подачи большого количества тепла и направленной кислородной режущей струи. Кислород является в этой смеси режущим газом за счет высокой скорости, полученной благодаря инжектору (рис. 2.3). Инжектор является одним из главных элементов конструкции резака. В ходе процесса разогретый ацетиленом (около $3100\text{ }^{\circ}C$) металл, перешедший в полужидкое/жидкое состояние, выдувается быстрой струей кислорода [21,22].

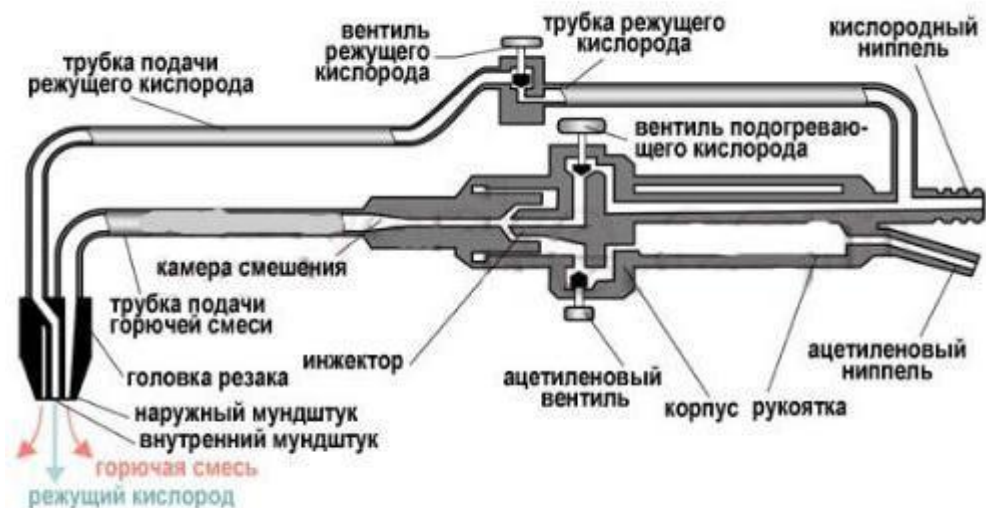


Рисунок 2.3 – Наглядная конструкция газового резака (ствола)

Суть операции вырезки секторного отвода из общего узла трубопровода заключается в том, чтобы удалить отвод, при этом не повредив кромки прямых участков трубы, соединяемых с отводом. Это крайне важный аспект операции, так как на место старого отвода будет приварен новый, соответственно требуется сохранить металл, принадлежащий прямому участку трубы. Для этого рекомендуется вести линию реза по сварному шву, соединяющему дефектный отвод с трубой. Благодаря этому кромки трубы не будут повреждены и при помощи механической обработки их можно будет подготовить для сварки с новым секторным отводом.

При выполнении реза газовое пламя нужно вести так, чтобы на поверхности металла прямого участка трубы оставалось 1-2 мм металла (рис. 2.4). Это снизит шансы того, что в процессе резки сварщик повредит кромки основного металла. В дальнейшем этот металл можно снять механическим путем при помощи шлифовальной машинки, сделав необходимую разделку кромок. Также после окончания резки необходимо зачистить основной металл от брызг, наплывов и других дефектных образований, полученных в ходе операции, если таковые имеются. Данная операция должна выполняться сварщиком с высокой квалификацией из-за высоких требований по технике безопасности при работе газовым оборудованием.

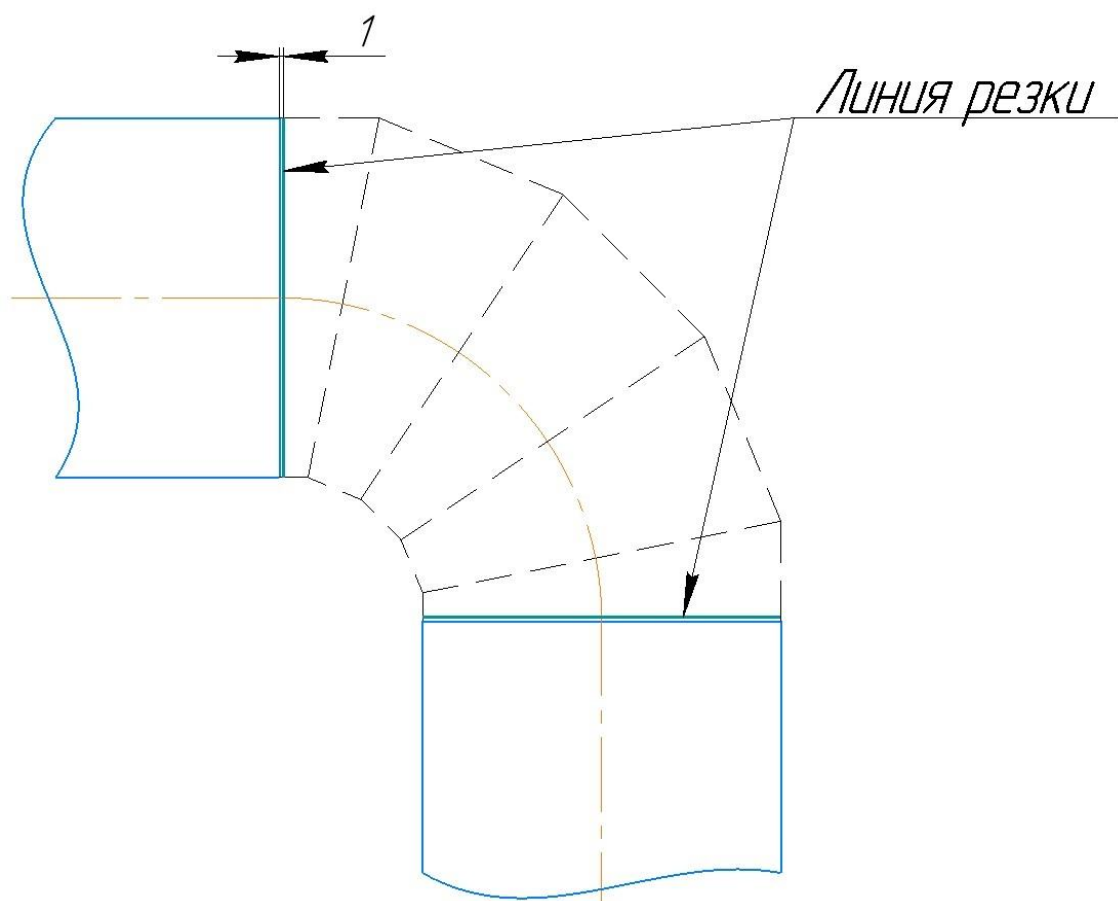


Рисунок 2.4 – Схематическое изображение процесса вырезки отвода с указанной линией реза.

После осуществления резки также требуется зачистить открывшуюся внутреннюю поверхность металла труб от продуктов эксплуатации ТЭЦ, если такие имеются.

2.4. Требования к проведению и результату ремонта

В ходе проведения восстановительных работ планируется снизить время на выполнение операции, повысив производительность примерно в 1,5 раза за счет применения механизированной сварки в среде защитных газов ($Ar + CO_2$) по сравнению с ручной дуговой сваркой. Так как в данном случае ремонт проводится в экстренных условиях непосредственно на ТЭЦ, то ожидается также снижение общего времени, затраченного на ремонт за счет того, что новый отвод изготавливают на ТЭЦ и приваривают сразу после

изготовления. Соответственно, не тратится время за закупку и логистику секторного отвода с завода-изготовителя.

Для проведения данного ремонта потребуется сварщик высокой квалификации. Было решено, что сварочные работы в данном случае выполняются сварщиком 6-го разряда, исходя из особенностей конструкции отвода и монтажных условий.

Остальные требования, касающиеся технологии проведения ремонта, указаны в [1;2], для конкретно данного случая также рассмотрены в главе 1 параграфе 1.5. Требования, предписанные нормативной документацией [1;2] необходимо соблюдать на протяжении всего процесса восстановления.

3 Проектирование технологии восстановления технологического трубопровода

В данной главе необходимо объединить ранее предложенные (глава 1, 2) варианты технологического процесса восстановления трубопровода ТЭЦ, а также выбрать сварочные материалы. Для этого требуется проанализировать уже известные данные, которые указаны в предыдущих главах, определить целесообразность их использования в конкретном рассматриваемом процессе.

Проектирование технологии включает в себя подробное описание технологического процесса, обоснование выбора того или иного оборудования, материалов и приспособлений [13]. Также важным пунктом в данной главе является определение параметров режима сварки. Расчет можно производить вручную, а можно при помощи вычислительной техники [19]. Все предложения, обоснования и расчеты основаны на анализе уже известных ранее решений.

3.1. Расчет параметров режима сварки

При расчете основных параметров режима механизированной сварки в среде защитных газов было решено пользоваться методом расчета А.М. Попкова, д-ра техн. наук Южно-Уральского государственного университета [14].

В данной публикации [14], предлагается метод расчета через определение зоны расплавленного металла в разделке. Данная методика является довольно простой, что позволяет путем несложных вычислений определить требуемые параметры режима.

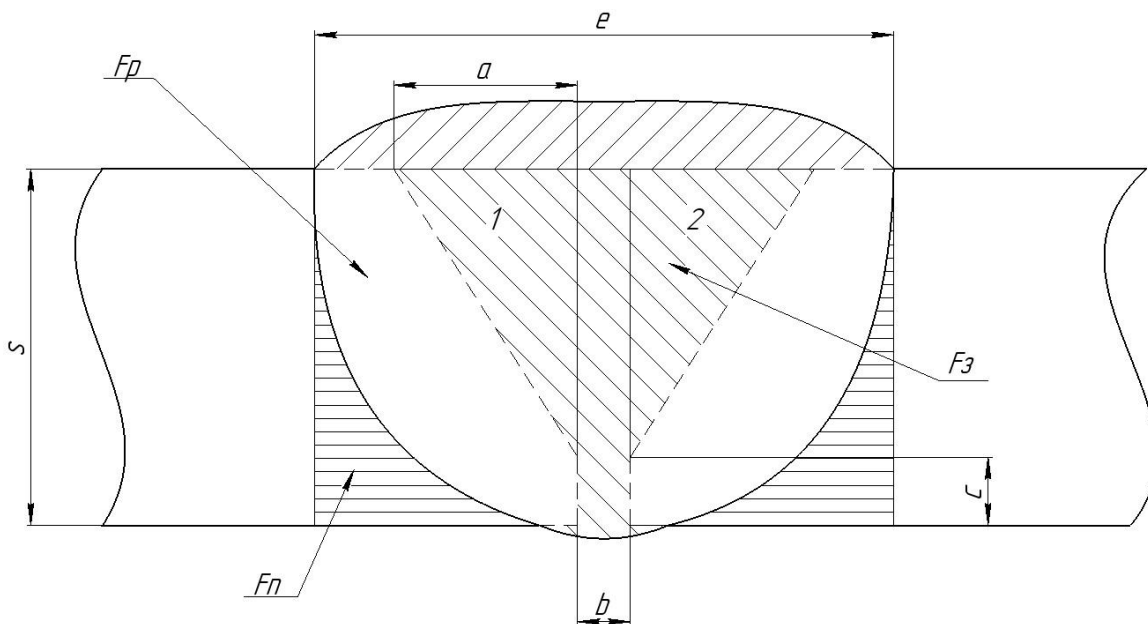


Рисунок 3.1 – Схема для расчета параметров режима при стыковой механизированной сварке в защитных газах по ГОСТ 14771-76 с V-образной разделкой кромок с притуплением

На рисунке 3.1 показана схема с указанием основных зон сварного шва в разрезе. Согласно [14], расчет начинается с определения площади сечения расплавленных кромок F_p , которая определяется по формуле:

$$F_p = e \cdot s - F_z - 2 \cdot F_n \quad (1) [14];$$

где «e» – ширина шва, «s» - толщина свариваемого металла, F_z – площадь расплавленного металла, который находится в пределах зазора кромок, F_n – площадь под поверхностью сварного шва, необходимая для расчета F_p .

Произведение «e · s» представляет собой площадь прямоугольной зоны, ограничивающей сечение сварного шва, без учета усиления этого шва. Площадь F_z высчитывается исходя из конкретно данной схемы (рис. 3.1), а именно как сумма площадей двух треугольников F_1 , F_2 (на схеме обозначены цифрами «1» и «2») и зоны между ними, которая определяется по следующей формуле – «b · s», где b – зазор между притуплениями кромок. Величины расчетных параметров типа «e», «b», «s» взяты согласно ГОСТ 14771-76.

Согласно ГОСТ 14771-76, $e = 13$ мм, $b = 1$ мм, $c = 1$ мм. Площадь F_n высчитывается по уже предложенной в [14] формуле:

$$F_n = \frac{1}{6} \cdot e \cdot s \quad (2) [14].$$

F_3 определим для данного случая следующим образом:

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

Высчитаем площади F_1 , F_2 , как площади прямоугольных треугольников:

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

где «а» – катет такого треугольника, его величина определена при помощи компьютерной программы КОМПАС-3D™, которая составляет 4,8 мм. Подставим известные данные в формулу (4):

$$F_1 = F_2 = \frac{1}{2} \cdot a \cdot (s - c) = \frac{1}{2} \cdot 4,8 \cdot (9 - 1) = 19,2 \text{ мм}^2.$$

Теперь, подставив в формулу (3) полученные значения, определим F_3 :

$$F_3 = b \cdot s + F_1 + F_2 = 1 \cdot 9 + 19,2 + 19,2 = 47,4 \text{ мм}^2.$$

Осталось определить F_n :

$$F_n = \frac{1}{6} \cdot e \cdot s = \frac{1}{6} \cdot 13 \cdot 9 = 19,5 \text{ мм}^2.$$

Рассчитав все требуемые переменные, вычислим F_p по формуле (1):

$$F_p = e \cdot s - F_3 - 2 \cdot F_n = 13 \cdot 9 - 47,4 - 2 \cdot 19,5 = 30,6 \text{ мм}^2.$$

Определив F_p , можно начинать расчет основных параметров, а именно ток сварки $I_{св}$ и напряжение сварки $U_{св}$. Делается это по следующим формулам:

$$I_{св} = \frac{-\kappa + \sqrt{\kappa^2 + 4 \cdot r \cdot n}}{2r} \quad (5) [14];$$

$$U_{св} = 0,04 \cdot I_{св} + 26 - 10 \sqrt{d_э} \quad (6) [14];$$

где k , r , n – это коэффициенты, которые также определяются расчетным путем. Для случая механизированной сварки формулы для коэффициентов следующие:

$$r = 0,04\eta \quad (7) [14];$$

$$k = (26 - 10\sqrt{d_{\text{э}}})\eta \quad (8) [14];$$

$$n = Mv_{\text{св}} \cdot F_p \quad (9) [14];$$

где η – полный тепловой КПД, согласно [14], для механизированного способа сварки он равен = 0,308; $d_{\text{э}}$ – диаметр сварочной проволоки, мм; M – расход тепловой энергии на нагрев и расплавление, в данном случае равен = 9,8 Дж/мм³ [14]; $v_{\text{св}}$ – скорость сварки, мм/с. Скорость сварки примем среднюю – 7,5 мм/с.

Имея все необходимые данные, рассчитаем вышеуказанные коэффициенты по формулам (7, 8, 9):

$$r = 0,04\eta = 0,04 \cdot 0,308 = 0,01232;$$

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

$$n = Mv_{\text{св}} \cdot F_p = 9,8 \cdot 7,5 \cdot 30,6 = 2249,1.$$

Теперь подставляем полученные коэффициенты в формулы (5) и (6):

$$I_{\text{св}} = \frac{-k + \sqrt{k^2 + 4 \cdot r \cdot n}}{2r} = \frac{-4,118 + \sqrt{(4,118)^2 + 4 \cdot 0,01232 \cdot 2249,1}}{2 \cdot 0,01232} =$$

$$= \frac{-4,118 + \sqrt{127,8}}{0,02464} = 294 \text{ A}$$

$$U_{\text{св}} = 0,04 \cdot I_{\text{св}} + 26 - 10\sqrt{d_{\text{э}}} = 0,04 \cdot 294 + 26 - 10\sqrt{1,6} = 25 \text{ B}.$$

Теперь, исходя из полученных расчетных данных (ток и напряжение), можно осуществлять подбор сварочного оборудование. Источник питания для сварки в данном случае должен выдавать необходимую в работе величину сварочного тока (~294 А) и напряжения (25 В).

3.2. Выбор сборочно-сварочного оборудования для восстановления трубопровода

В данном параграфе при выборе оборудования для сборки и сварки следует руководствоваться данными, описанными в п. 1.5. главы 1, п. 2.2. главы 2, п. 3.1. главы 3.

Для определения требуемого в данной работе сборочного приспособления необходимо учитывать особенности конструкции отвода, общее пространственное положение трубопровода, а также условия проводимого ремонта [15]. В данной ВКР рассматривается вариант, когда восстановительные работы проводятся непосредственно на месте аварии. Соответственно, оборудование, предназначенное для сборки должно быть достаточно компактным и переносным. То же касается и всего остального оборудования, используемого в этой работе.

При описании рекомендаций нормативных документов [1;2] было сказано об использовании центровочных приспособлений для качественной сборки стыков. Учитывая конструктивную особенность секторного отвода (рис 3.2), для жесткой стыковки секторов подойдет далеко не каждый центратор. Поверхности двух секторов при стыковке образуют угол относительно друг друга величиной $22^{\circ}30'$. Конструкция обычных центраторов подразумевает их использование на прямолинейных участках трубопровода (рис 3.3, а). Также есть центраторы цепные с двумя упорными винтами, общий вид которых представлен на рисунке 3.3, б. Уникальность конструкции такого центратора заключается в цепях, длину которых можно регулировать. К сожалению, данный центратор не подойдет как при монтаже и сварке уже готового отвода и трубопровода, так и конкретно для сборки секторов. Данный центратор не получится закрепить с отводом, так как в этом случае будет мешать трубопровод. Это говорит о том, что в данном случае необходимо устройство, на котором можно учесть особенность стыковки секторов. Поэтому в этой работе предлагается специальный сварочный стол марки VTM (рис. 3.4) в качестве приспособления для сборки

[15]. В комплекте со столом идет набор креплений, зажимов и фиксаторов. Такой набор устройств позволит осуществить качественную сборку для осуществления прихваточных швов.

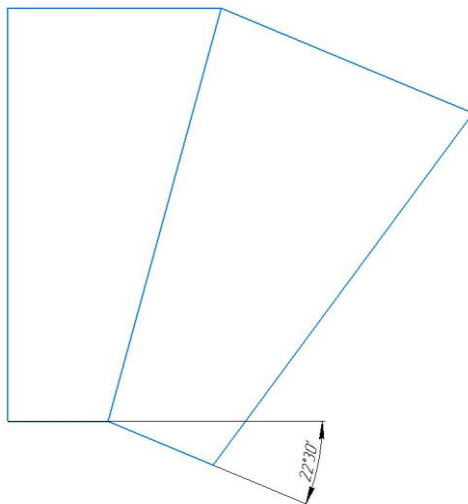
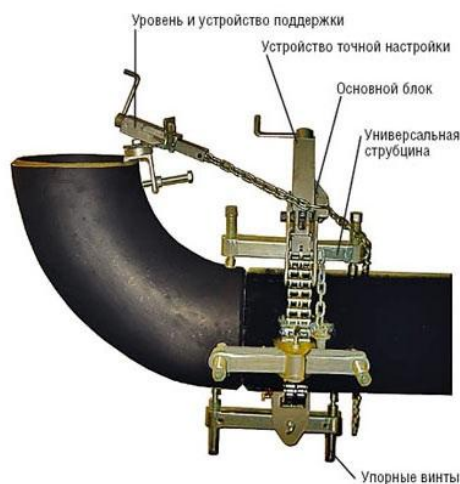


Рисунок 3.2 – Угол стыковки секторов отвода

Операция сборки и сварки секторов будет производиться на специальном сварочном столе с набором зажимов и креплений, с помощью которых можно будет позиционировать сектора при сварке так, как удобно сварщику. Такое приспособление в совокупности с центратором, указанным выше, дает возможность варить швы в нижнем положении, что упрощает процесс и обеспечивает дополнительное качество.



а)



б)

Рисунок 3.3 – Центраторы для сварки труб: а) центратор наружный для сварки прямолинейных участков; б) центратор цепной для сварки отводов с трубами

Для монтажа и закрепления уже готового отвода также потребуется центрирующее устройство. Сам трубопровод находится в горизонтальной плоскости. В таком случае для закрепления и стыковки отвода с трубопроводом подойдет обычный внешний центратор (рис. 3.3, а, рис. 3.5). На рисунке 3.5 [11] указаны основные элементы наружного центратора с шарнирными рычагами: 1 – винт натяжной, 2 – замыкающая крестовина, 3 – замок накладной, 4 – ролик(и), 5 – звено внутреннее, 6 – звено наружное. Недостатком такой конструкции центратора значится малая доступность стыка для сварки. Тем не менее, такой центратор позволяет осуществить прихваточные швы. Схема закрепления отвода показана на рисунке 3.6, где видно, как расположены центраторы относительно всей конструкции. При этом одних центраторов в этом случае может быть недостаточно, для дополнительной опоры желательно добавить под отвод упоры в виде стола, арматуры и т.п., по возможности.



Рисунок 3.4 – Стол для сварочных работ

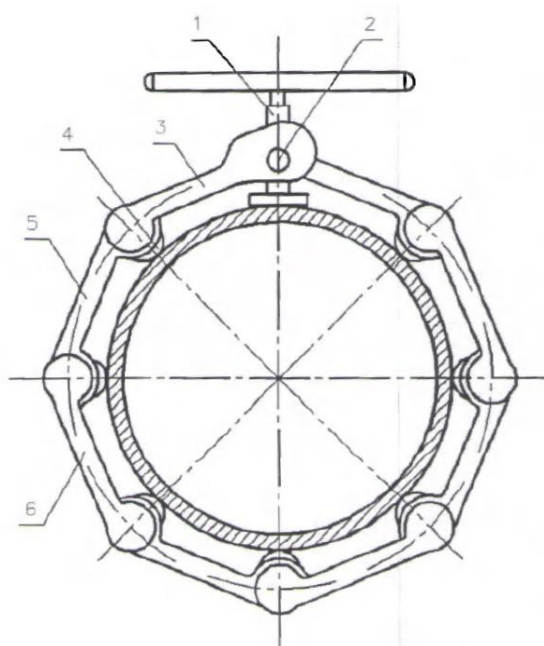


Рисунок 3.5 – Центратор наружный с шарнирными рычагами

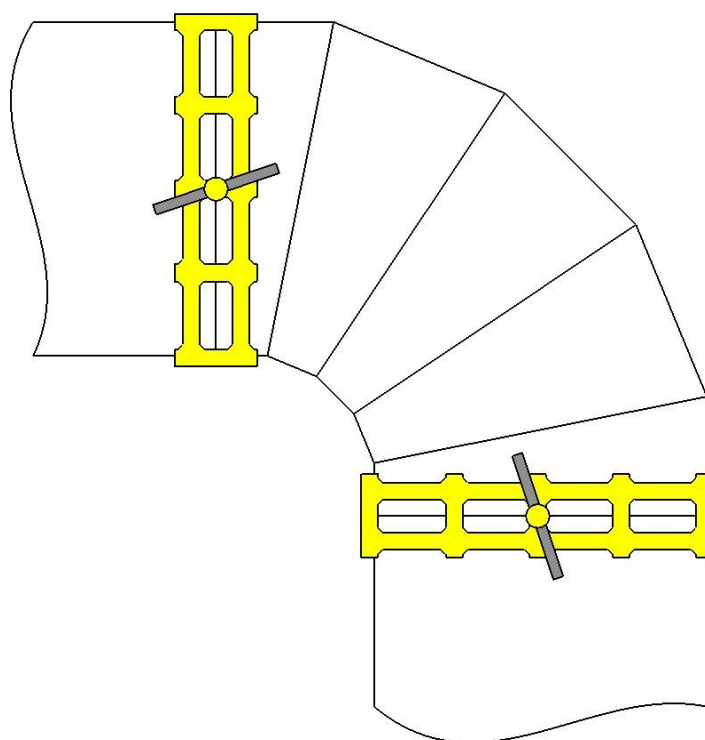


Рисунок 3.6 – Схема закрепления готового отвода при монтаже.

Выбор источника питания. Как уже было выше сказано в параграфе 3.1, при выборе источника питания требуется исходить из требуемой для сварки

величины тока и напряжения. Следовательно, необходимо подобрать оборудование, которое будет соответствовать следующим требованиям:

- MIG/MAG сварка;
- Компактность;
- Относительно малый вес оборудования;
- Номинальный ток не менее 294 А;
- Рабочее напряжение в пределах 20-30 В.

Учитывая все вышеописанные особенности, в качестве источника питания решено выбрать сварочный полуавтомат «Форсаж-302» отечественного производства. Данный аппарат предназначен как для МИГ/МАГ сварки, так и для ручной дуговой и аргодуговой сварки. Основные технические характеристики [17] этого устройства представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Технические характеристики сварочного полуавтомата «Форсаж-302» [17]

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

Помимо источника питания в данном случае потребуется еще и механизм подачи проволоки. Для удобства в эксплуатации решено взять в качестве подающего механизма МПП ФОРСАЖ-МП от того же производителя. Сварочный полуавтомат и МПП показаны на рисунке 3.7 (а, б). На рисунке 3.8 показана панель блока управления и переключения полуавтомата «Форсаж-302» [17]. Основные технические характеристики МПП ФОРСАЖ-МП указаны в таблице 3.2.



Рисунок 3.7 – Сварочный выпрямитель «Форсаж-302» (а) и механизм подачи проволоки МПП ФОРСАЖ-МП (б)

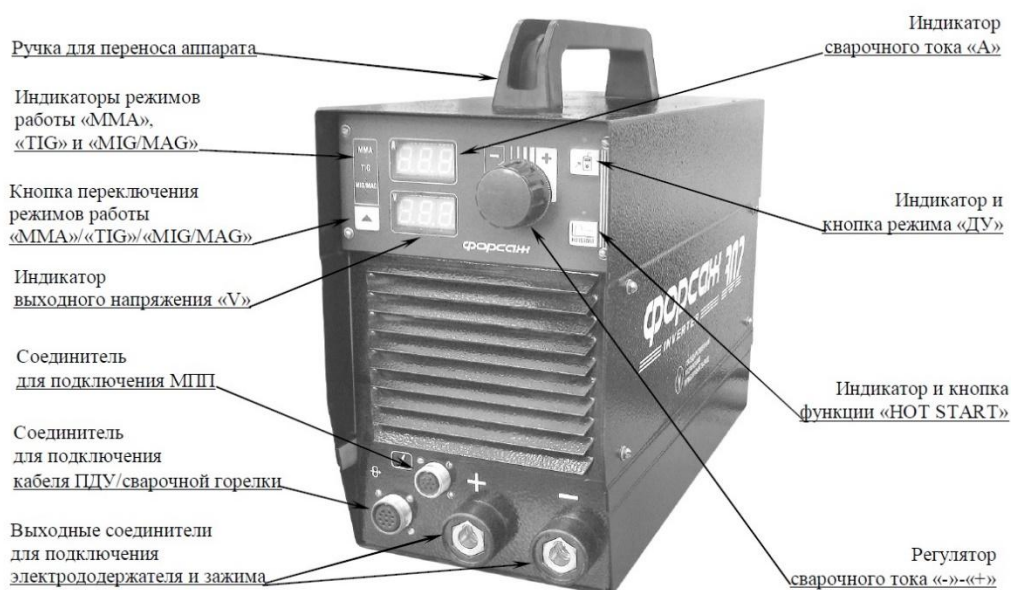


Рисунок 3.8 – Панель управления «Форсаж-302»

Таблица 3.2 – Технические характеристики механизма подачи проволоки МПП ФОРСАЖ-МП [18]

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

Оборудование типа сварочной горелки, рукавов, насадок идет в комплекте со сварочным аппаратом.

3.3. Описание готового проекта технологического процесса восстановления технологического трубопровода

1) Вырезка секторного отвода. Суть операции состоит в удалении из узла технологического трубопровода ТЭЦ дефектного секторного отвода, который не подлежит дальнейшей эксплуатации. Данная операция выполняется сварщиком при помощи ацетилено-кислородной разделительной резки. Резку проводить по сварным швам, соединяющим отвод с трубопроводом. Требуется не задевать газовым пламенем кромки прямолинейных труб, чтобы не повредить их.

В данной операции используется следующее оборудование: газовый резак ацетиленовый, баллон с техническим кислородом, баллон с ацетиленом, редуктор регулировки подачи газа, шланги, манометры, очки газорезчика, рукавицы брезентовые, фартук сварщика.

Все используемое в данной операции оборудование необходимо предварительно проверить перед использованием. Неисправное оборудование не допускается до эксплуатации. Режимы резки берутся согласно таблице технологического процесса. 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 $h = 3 \pm 1 \text{ мм}$ [10]. Требуется строго соблюдать заданные режимы, особенно ширину реза. Вырезанный секторный отвод в дальнейшем не эксплуатируется и подлежит утилизации. Так как вырезка производится в цеховых условиях, необходимо осуществлять процесс в проветриваемом помещении, а также проконтролировать отсутствие легковоспламеняющихся продуктов рядом с местом проведения резки.

2) Входной контроль. В ходе данной операции необходимо проверить новые сектора отвода, которые предназначены для восстановления всего отвода, а также узла трубопровода в целом. В процессе выполнения данной операции требуется сделать следующее:

- необходимо проверить сектора на наличие сертификации детали и прочих сопроводительных документов. При отсутствии подобной документации сектора не подлежат в дальнейшем эксплуатации.

- проверить сектора отвода на наличие дефектов, полученных при их изготовлении, а также коррозионных дефектов. При обнаружении дефектов сектора не использовать в ремонте. Визуально-измерительный контроль 100%.

- проверить сектора отвода на соответствие РД 34.10.752-97, а именно проконтролировать геометрические размеры (толщина металла $s = 9 \text{ мм}$, длины верхней и нижней стенок: для секторов: $a = 300 \text{ мм}$, $b = 150 \text{ мм}$; для полусекторов: $a_1 = 200 \text{ мм}$, $b_1 = 125 \text{ мм}$) [2].

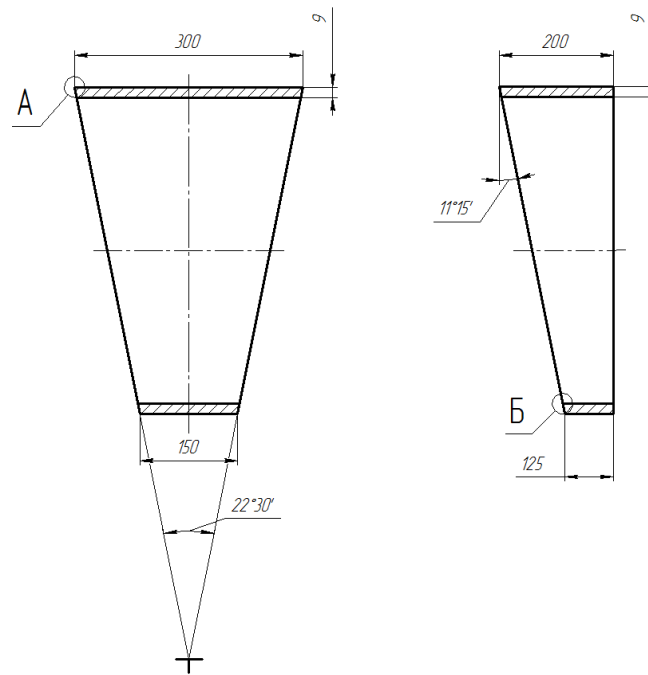


Рисунок 3.9 – Сектор и полусектор отвода 377×9

– проверить исправность сварочного оборудования и материалов. Используемое оборудование и материалы должны быть аттестованы, а также соответствовать требованиям РД 153-34.1-003-01. Неисправное оборудование и материалы на данном этапе стоит заменить на исправное. Также здесь стоит проверить работоспособность остального инструмента, который используется в данном технологическом процессе.

На данном этапе проводится проверка защитных газов. Для этого требуется наплавить валик длиной 100-150 мм на поверхность пластины или трубы из того же материала, что и деталь. При зрительном выявлении внешних дефектов (поры в металле шва), баллоны с данным газом бракуют [1].

Сварочная проволока также подвергается входному контролю. Катушку (бухту) проволоки осматривают на наличие окалины, коррозии, вмятин, задигов и других подобных дефектов и загрязнений [1].

– проверить рабочее место на соответствие технике безопасности. Не начинать дальнейшие операции при несоблюдении правил техники безопасности.

В данной операции используется следующее оборудование: лупа канцелярская с 4-кратным увеличением, штангенциркуль электронный, рукавицы х/б.

3) Подготовка кромок секторов под сварку. Данная операция заключается в создании V-образной разделки кромок с притуплением (рис. 3.10) [2]. Все необходимые углы и геометрические размеры разделки указаны в таблице технологического процесса.

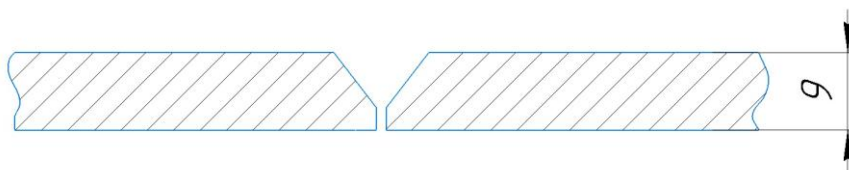


Рисунок 3.10 – V-образная разделка с притуплением кромки

В данной операции используется следующее оборудование: угловая шлифовальная машина «Интерскол» с диаметром абразивного круга 125 мм мощностью 900 Вт (рис 3.11), очки защитные, рукавицы х/б, штангенциркуль электронный.



Рисунок 3.11 – Шлифовальная машина «Интерскол» 125/900

Следует учитывать геометрические особенности данной разделки кромок для этих деталей, показанные на чертеже. Угол разделки составляет $35^\circ \pm 2^\circ$, высота притупления кромки $c = 1 \pm 0,5$ мм [2]. Размерные погрешности указаны в таблице технологического процесса. При диаметре абразивного круга 125 мм скорость его вращения составляет примерно 10 000 об/мин.

По окончании операции проконтролировать размеры сделанной разделки при помощи электронного штангенциркуля. Если размеры не соответствуют требованиям руководящих документов и чертежа, то по возможности исправить данный недостаток. В случае, когда исправить разделку невозможно, весь сектор не подлежит эксплуатации в ходе ремонта.

4) Зачистка кромок. В ходе данной операции необходимо зачистить металл поверхности изготовленных кромок от различного вида загрязнений. Зачистка проводится до металлического блеска с обеих сторон для каждого сектора на ширину, указанную в таблице технологического процесса. Ширина зачистки (обезжиривания) $f = 120 \pm 5$ мм, длина ворса щетки $l = 22$ мм. Также после этого требуется обезжирить поверхность кромок (место сварки), чтобы избежать попадания загрязнений различного рода (масла, грязь и т.п.) в металл сварного шва.

В данной операции используется следующее оборудование: угловая шлифовальная машина «Интерскол» с насадкой в виде чашеобразной металлической щетки диаметром 80 мм (рис 3.12), ацетон, ветошь, рукавицы х/б.



Рисунок 3.12 – Чашеобразная металлическая щетка для зачистки поверхности

После завершения зачистки и обезжиривания рабочей поверхности требуется визуально проверить эту поверхность на наличие оставшихся загрязнений. Если таковые обнаружатся, то необходимо провести повторную зачистку до получения требуемого результата.

5) Сборка секторов. В ходе данной операции необходимо произвести правильную стыковку секторов отвода. Здесь требуется соблюдать заданный угол стыковки, указанный в чертеже, а также в таблице технологического процесса. Сектора стыкуются между собой под углом $22^{\circ}30'$ [2]. Величина зазора стыковки $b = 1 \pm 0,5$ мм. Для этого в данной работе используется специальный сварочный стол с набором креплений, зажимов и фиксаторов, который обеспечит требуемую соосность деталей, необходимую величину зазора, а также предоставит возможность менять положение секторов для ведения сварки в нижнем положении.

В данной операции используется следующее оборудование: сварочный стол с закреплением, штангенциркуль электронный, малка (строительное приспособления для контроля величины углов).

Операция сборки считается законченной в том случае, если соблюдены требования, которые описаны в нормативных документах и таблице технологического процесса. В данном случае требуется проконтролировать величину зазора между деталями, а также величину угла между ними при помощи измерительных инструментов (штангенциркуль, малка). Без проведения контроля размеров сборочная конструкция не допускается к сварке.

Так как в данном случае сварка секторов отвода ведется поочередно, то операции сборки и сварки являются повторяющимися относительно друг друга.

6) Сварка секторов. Данная операция выполняется сварщиком 6-го разряда. Операция начинается с создания прихваточных швов, равномерно распределенных по окружности стыка. Параметры режима сварки для создания прихваточных швов те же самые, что и для сварки корневого шва (ток сварки для прихваток/корневого шва меньше на 30%, чем для заполняющего шва). Выполненные прихваточные швы требуется зачистить при помощи металлической щетки. Сварка осуществляется в пять проходов – первый проход (корневой шов) и четыре остальных прохода – заполнение

разделки. Учитывая особенности стали 09Г2С, сварка проводится без предварительного подогрева и последующей термообработки. Стоит отметить, что обязательно нужно осуществить продувку газом до и после сварки по рабочей зоне стыка.

Сварка швов, кроме корневого, выполняется на режимах, которые были рассчитаны в параграфе 3.1 для данного диаметра проволоки при механизированной сварке в среде смеси защитных газов Ar + CO₂ (75%+25%). Ток сварки $I_{св} = 295$ А, напряжение на дуге $U_{д} = 25$ В, расход газа $Q_{з.г.} = 14$ л/мин, диаметр проволоки $d_{пр} = 1,6$ мм, скорость подачи проволоки $V_{пн} = 160$ м/ч [8]. Соответственно, для прихваточного и корневого шва величина тока сварки будет составлять примерно $\sim 200-210$ А ($295 \cdot 0,7$). Полученный корневой шов сразу после сварки визуально контролируется сварщиком. Не допускается наличие трещин, непроваров, прожогов, пор и другие виды дефектов, которые образуются от несоблюдения параметров режима сварки, а также от неправильно подобранных или некачественных сварочных материалов. Шов, не прошедший первичный визуальный контроль, переваривается.

Заполнение разделки – основная часть данной операции. Здесь сварка ведется на постоянном токе обратной полярности в нижнем положении. Параметры режима сварки указаны в таблице технологического процесса. Сварку осуществлять согласно РД 153-34.1-003-01, ГОСТ 14771-76.

В данной операции используется следующее оборудование: сварочный полуавтомат «Форсаж-302», смесь газов Ar+CO₂, сварочная проволока сплошного сечения Св-08Г2С, баллоны с газом, шланги, манометры 2 шт., механизм подачи проволоки МПП ФОРСАЖ-МП, маска сварочная, рукавицы брезентовые, фартук сварщика.

7) Контроль качества сварки секторов. В ходе данной операции необходимо проверить полученные сварные соединения секторного отвода на соответствия требованиям, установленным заказчиком, нормативным

документом или картой технологического процесса. Эта операция осуществляется в два действия:

1. Визуально-измерительный контроль (ВИК). Проводится сварщиком, который должен оценить внешне состояние изготовленного шва при помощи подручных инструментов и универсального шаблона сварщика (УШС) (рис. 3.13) при освещенности не менее 500 лк. Также помимо основных инструментов, указанных в таблице технологического процесса, для удобства можно использовать дополнительные источники света, а также небольшие зеркала для просмотра швов в труднодоступных местах, так как контроль должен быть 100%. Не допустимо наличие всех видов внешних дефектов и неоднородностей, а именно непровары, наплывы, трещины, поры, кратеры и т.п. Сварное соединение, которое не прошло ВИК, не допускается до дальнейшей стадии контроля, а также до эксплуатации. Помимо проверки на наличие дефектов, также требуется проверить геометрические показатели сварного шва (ширина шва e должна быть не менее 13 мм, высота усиления $g = 2 \pm 1$ мм) [2].



Рисунок 3.13– Универсальный шаблон сварщика

2. Ультразвуковой контроль (УЗК). Проводится сварщиком или дефектоскопистом соответствующей квалификации. На данном этапе операции необходимо полностью проконтролировать сварной шов на наличие внутренних дефектов. К данному типу дефектов относят различные неметаллические включения, неоднородности металла шва, несплавления,

трещины, заключенные внутри сварного шва. При наличии любого вида внутренних дефектов, деталь не допускается до эксплуатации.

В данной операции используется следующее оборудование: лупа канцелярская с 10-кратным увеличением, штангенциркуль электронный, рукавицы х/б, УШС, дефектоскоп ультразвуковой портативный УД9812.

8) Подготовка кромок труб и отвода к сварке. После выполнения вырезки старого дефектного отвода и изготовления нового, требуется приварить новый отвод на место старого. Для этого требуется подготовить поверхность кромок труб к сварочным работам. Как уже описывалось ранее, после ацетилено-кислородной резки кромкам труб требуется придать форму разделки, а также необходимо удалить с прилегающей поверхности брызги металла и наплывы, которые могли образоваться в процессе резки. Помимо вышеописанных указаний, также требуется зачистить и обезжирить внешнюю и внутреннюю поверхность металла на ширину $f = 120 \pm 5$ мм с целью удаления неметаллических включений, металлической крошки и пыли.

Создание разделки также относится и крайним поверхностям секторного отвода. Требуется сделать такую же разделку на крайних полусекторах (рис 3.14), как и на трубе.

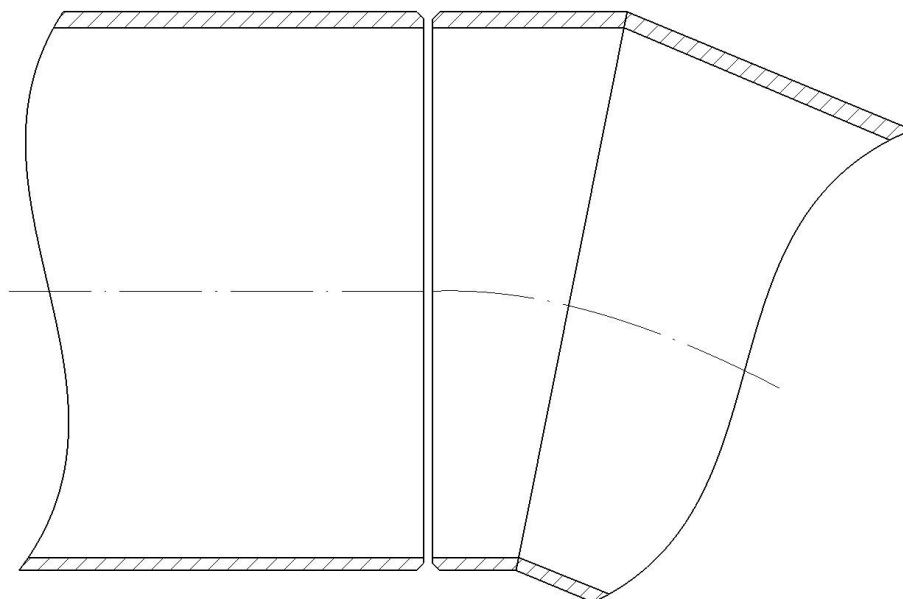


Рисунок 3.14 – Общий вид разделки кромок отвода и трубопровода

Также, как и в операции 6, требуется соблюдать заданные нормативной документацией и таблицей технологического процесса геометрические параметры разделки. В данном случае, стыковое соединение будет отличаться от стыка при сварке секторов, так как здесь обычный стыковой неповоротный кольцевой шов. При таком стыке угол разделки составляет $30^\circ \pm 2^\circ$. При этом остальные размерные параметры разделки остаются без изменений. После выполнения разделки размеры проконтролировать измерительным инструментом.

Еще одним немаловажным пунктом операции является предварительный подогрев. Несмотря на то, что сталь 09Г2С не нуждается в подогреве, его все равно требуется провести из-за того, при вырезке отвода металл кромок мог закалиться, так как температура пламени при ацетиленовой резке достигает 3100°C . Поэтому в данном случае рекомендовано провести предварительный подогрев до температуры $T_{\text{п}} = 250\text{-}300^\circ\text{C}$. Для подогрева применять газовый ацетиленовый резак, используемый ранее в операции удаления отвода. Подогрев не распространяется на новый секторный отвод.

В данной операции используется следующее оборудование: угловая шлифовальная машина «Интерскол» с диаметром абразивного круга $d = 125$ мм и мощностью $P = 900$ Вт, насадка на шлифовальную машинку в виде чашеобразной металлической щетки диаметром 80 мм, ацетон, ветошь, очки защитные, рукавицы х/б, штангенциркуль электронный.

9) Сборка отвода с трубопроводом. Данная операция выполняется двумя рабочими – сварщиком и слесарем, так как вес готового секторного отвода составляет ~ 84 кг [2]. Перед тем, как начинать стыковку отвода с трубопроводом, необходимо подготовить место сварки и сборочные приспособления. Так как трубопровод находится в горизонтальной плоскости на небольшой высоте, то желательно поставить арматурные упоры под место,

где будет находится отвод. После этого требуется зафиксировать два наружных центратора на концах труб, как показано на рисунке 3.15.

По окончании подготовки к сборке, фиксации отвода в центраторах, требуется проконтролировать качество осуществленной сборки. Центраторы должны быть неподвижно зафиксированы, отвод не должен «провисать». 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 в общем [1]. Зазор выставляется по возможности, так как в данном случае после восстановления кромок трубы мог остаться лишний металл на этих кромках.

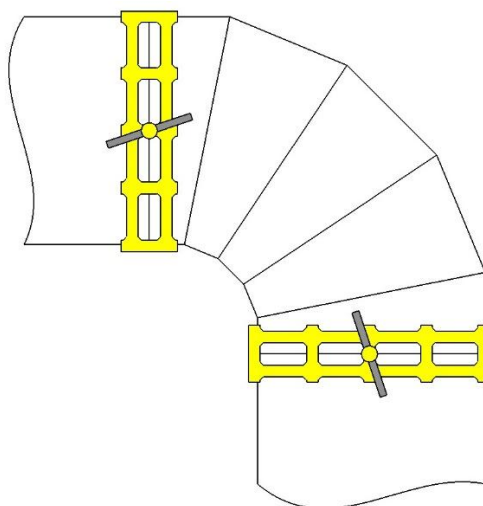


Рисунок 3.15 – Сборка отвода с трубопроводом

10) Сварка. Данная операция сварки мало чем отличается от сварки секторов отвода. Главное отличие здесь – стык теперь является неповоротным, поэтому сварщику придется обваривать шов во всех пространственных положениях – в нижнем, вертикальном и потолочном. Параметры режимов корректируются в зависимости от смен положения. В вертикальном положении ток снижают на 10-15%, в потолочном на 25-30%. Сварочный ток для всех положений приведен в таблице 3.3. Остальные параметры остаются без изменений.

Таблица 3.3. Параметры режимов сварки в зависимости от пространственного положения

	Нижнее	Вертикальное	Потолочное
Корневой шов	210 А	180 А	160 А
Заполняющие швы	295 А	250 А	225 А

При сварке в вертикальном положении движения выполняются снизу-вверх по треугольной траектории с целью поддержания расплавленного металла сверху. Такой способ наложения швов используют в случаях, когда зазор между кромками меньше 2 мм.

При сварке в потолочном положении прихватки и корневой шов желательно осуществлять без колебательных движений, это обеспечит лучшее заплавление металла в разделке. Сварочную горелку нужно держать под углом 45° к касательной плоскости сварки. В данном случае рекомендуется проварить стык широким швом (это касается заполняющих швов). Движения горелки при этом могут быть «полумесяцем» или по спирали.

Требуется контролировать полученные в ходе процесса сварки швы. При сварке вертикальных и потолочных стыков желательно делать перерывы.

В данной операции используется следующее оборудование: сварочный полуавтомат «Форсаж-302», смесь газов $Ar+CO_2$, сварочная проволока сплошного сечения Св-08Г2С, баллоны с газом, шланги, манометры 2 шт., механизм подачи проволоки МПП ФОРСАЖ-МП, маска сварочная, рукавицы брезентовые, фартук сварщика.

11) Контроль качества восстановительных работ. Как и в случае изготовления секторного отвода, контроль качества начинается с проведения ВИК 100% с целью выявления внешних дефектов. Для швов, выполненных в нижнем положении, требования те же, что в операции 7. Для вертикальных и потолочных швов добавляется требование проверить при ВИК на наличие наплывов металла и неравномерности наложения валиков. Ультразвуковой контроль проводится также, как в операции 7, при помощи портативного дефектоскопа УД9812 (рис. 3.16). При обнаружении локальных внутренних

дефектов требуется отметить участки шва с дефектами мелом, керном или маркером. Затем по возможности вырезать дефективную часть сварного шва и переварить на тех же режимах, что указаны в таблице технологического процесса.

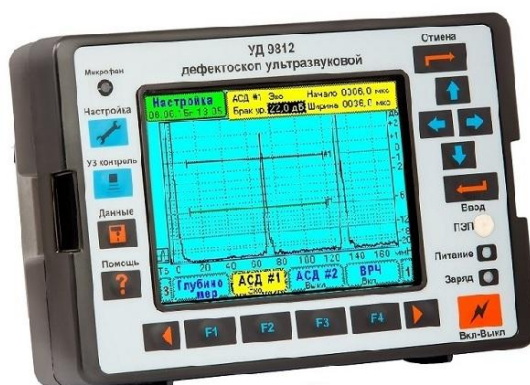


Рисунок 3.16 – Портативный ультразвуковой дефектоскоп УД9812

После завершения сварочных работ и демонтажа сборочного оборудования и приспособлений требуется провести общий осмотр отремонтированного участка трубопровода. Требуется визуально оценить состояние узла после ремонта. Не допускается нарушение геометрии конструкции. По возможности, провести гидроиспытания отремонтированного узла. При нарушении герметичности после испытаний, оценить возможность повторного ремонта.

В данной операции используется следующее оборудование: лупа канцелярская с 4-кратным увеличением, штангенциркуль электронный, рукавицы х/б, универсальный шаблон сварщика УШС, дефектоскоп ультразвуковой портативный УД9812.

Наглядное представление спроектированного технологического процесса имеется на листах (3-й и 4-й) графической части ВКР.

4 Экономическая эффективность проектного технологического процесса

В данной работе экономическая эффективность не является основной целью. В этом проекте планируется повысить производительность процесса восстановительных работ путем внедрения механизированной сварки в защитных газах по сравнению с ручной дуговой сваркой. Тем не менее, для внедрения новой технологии на производство требуется предоставить технико-экономическое обоснование этого внедрения. Даже если процесс не возымеет экономической эффективности, требуется знать, сколько материальных средств понадобится для введения его в эксплуатацию.

Прежде чем начинать расчеты, требуется привести краткие сравнительные данные до двум рассматриваемым способам сварки (табл. 4.1).

Таблица 4.1. Краткие теоретические сведения о сравниваемых вариантах

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

Также необходимо предоставить исходные данные для дальнейших расчетов (табл. 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	$C_{эл}$	□/кг	185	205
2	Коэф. транспортно-заготовительных расходов	$K_{ТЗ}$	-	1,05	1,05
3	Часовая тарифная ставка (6-й разряд)	$C_{ч}$	□/час	76,15	76,15
4	Коэффициент доплат к основной заработной плате	$K_{д}$	-	1,88	1,88
5	Процент отчислений на дополнительную заработную плату	-	%	12	12
6	Коэффициент отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
7	Балансовая стоимость оборудования	$C_{об}$	□	26000	73000
8	Норма амортизационных отчислений на оборудование	$H_{а}$	%	18	18
9	Мощность установки	$M_{у}$	кВт	9,4	17
10	Коэффициент полезного действия установки	КПД	-	0,7	0,85
11	Стоимость электроэнергии	$C_{э-э}$	кВт	2,5	2,5
12	Удельный расход защитного газа	$У_{зг}$	Литр/мин	-	12
13	Стоимость защитного газа: Аргон ВЧ, Углекислый газ	$C_{зг}$	□/м ³	-	80 □ (CO ₂); 300 □ (Ar)
14	Цена используемого инструмента	$C_{инстр}$	□	3000	3000
15	Площадь занимаемая оборудованием	S	м ²	1,5	1,5
16	Норма амортизационных отчислений на площадь	$H_{апл}$	%	5	5
17	Коэффициент учитыв. затраты на монтаж (демонтаж оборудования)	$K_{монт}$	-	1,2	1,2
18	Стоимость приспособлений	$C_{присп}$	□	50000	50000
19	Коэф. цеховых расходов	$K_{цех}$	-	2,50	2,50
20	Нормативный коэффициент эконом. эффект-ти доп. капитальных	$E_{н}$	-	0,33	0,33

	вложений				
21	Годовая программа выпуска	$N_{пр}$	шт	1	1

Расчет экономической эффективности проекта начинается с определения времени, затрачиваемого на операцию сварки. Все формулы для расчета взяты из методических указаний [7]. Все расчеты проводятся для двух сравниваемых вариантов.

Расчет нормы штучного времени на выполняемые технологические операции [7]:

Базовый вариант [7]:

$$t_{шт} = t_{п-з} + t_0 + t_в + t_{отл} + t_{обсл.} + t_{н.п.} = 16,6 + 322 + 50 + 16,6 + 26,6 + 60 = 501,8 \text{ мин}$$

Проектный вариант:

$$t_{шт} = t_{п-з} + t_0 + t_в + t_{отл} + t_{обсл.} + t_{н.п.} = 6,11 + 122,2 + 18 + 6,11 + 9,77 + 60 = 222,2 \text{ мин}$$

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 [7];

$t_в$ – вспомогательное время $t_в = 5-25 \%$ от t_0 , в зависимости от особенностей технологического процесса [7];

$t_{отл.}$ – время на отдых и личные надобности $t_{отл.} = 5 \%$ от t_0 [7];

$t_{обсл.}$ – время обслуживания рабочего места $t_{обсл.} = 8 \%$ от t_0 [7];

$t_{н.п.}$ – время неустраняемых перерывов, предусмотренных технологическим процессом, определяется по картам технологического процесса [7].

Определим основные переменные, указанные выше:

Базовый вариант (данные формулы для ручного дугового и для механизированного способа сварки):

$$t_o = \frac{60 \cdot M_{\text{напл.мет}} \cdot L_{\text{ш(в)}}}{I_{\text{св}} \cdot \alpha_{\text{н}}} = \frac{60 \cdot 630 \cdot 7,106}{90 \cdot 9} = 332 \text{ мин};$$

$L_{\text{ш(в)}}$ - длина швов (валиков) в изделии, м [7];

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 $\alpha_{\text{н}} = 9\text{г}/(\text{А} \cdot \text{час})$ [7].

$$t_{\text{п-з}} = 0,05 \cdot t_o = 0,05 \cdot 332 = 16,6 \text{ мин};$$

$t_{\text{в}} = (0,05 \div 0,25) = 0,05 \cdot 332 \dots 0,25 \cdot 332 = 16,6 \dots 83 \text{ мин}$, берем среднее значение = 50 мин;

$$t_{\text{отл.}} = 0,05 \cdot t_o = 0,05 \cdot 332 = 16,6 \text{ мин};$$

$$t_{\text{обсл.}} = 0,08 \cdot t_o = 0,08 \cdot 332 = 26,6 \text{ мин};$$

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

Проектный вариант:

$$t_o = \frac{60 \cdot M_{\text{напл.мет}} \cdot L_{\text{ш(в)}}}{I_{\text{св}} \cdot \alpha_{\text{н}}} = \frac{60 \cdot 580 \cdot 7,106}{225 \cdot 9} = 122,2 \text{ мин};$$

$$t_{\text{п-з}} = 0,05 \cdot t_o = 0,05 \cdot 122,2 = 6,11 \text{ мин};$$

$$t_{\text{в}} = (0,05 \div 0,25) = 0,05 \cdot 122,2 \dots 0,25 \cdot 122,2 = 6,11 \dots 30,5 \approx 18 \text{ мин};$$

$$t_{\text{отл.}} = 0,05 \cdot t_o = 0,05 \cdot 122,2 = 6,11 \text{ мин};$$

$$t_{\text{обсл.}} = 0,08 \cdot t_o = 0,08 \cdot 122,2 = 9,77 \text{ мин};$$

$$t_{\text{н.п.}} = 60 \text{ мин}.$$

Массу наплавленного металла определим следующей формуле:

Базовый вариант:

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

Проектный вариант:

$$M_{\text{напл.мет.}} = \rho \cdot F_{\text{н}} \cdot 10^{-3} = 0,58 \text{ кг/м ;}$$

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

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

Базовый вариант:

$$F_{\text{н}} = F_1 + F_2 + F_3 = 21 + 30 + 30 = 81 \text{ мм}^2 [7];$$

В базовом варианте 3 прохода.

$$\text{где } F_1 = (6 \div 8) \cdot d_{\text{эл.}} = 7 \cdot 3 = 21 \text{ мм}^2 - \text{первый (корневой) проход [7]}$$

(расчет ведется по среднему показателю);

$$F_{\text{н}} = (8 \div 12) \cdot d_{\text{эл.}} = 10 \cdot 3 = 30 \text{ мм}^2 - \text{последующие проходы [7].}$$

Проектный вариант:

В проектном варианте 5 проходов

$$F_{\text{н}} = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 = 11,2 + 16 + 16 + 16 + 16 = 75,2 \text{ мм}^2;$$

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

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

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

Базовый и проектный вариант:

$$L_{\text{ш}} = \pi D \cdot n = 3,14 \cdot 377 \cdot 6 = 7\,106 \text{ мм} = 7,106 \text{ м};$$

Для наглядности полученных вычислений, внесем данные по времени изготовления в отдельную таблицу (табл. 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	332	16,6	50	16,6	26,6	60
Проектный	122,2	6,11	18	6,11	9,77	60

Расчет капитальных вложений в оборудование ведется следующим образом [7]:

Для определения общих капитальных вложений в оборудование нужно воспользоваться формулой:

Базовый вариант:

$$K_{общ.} = K_{пр.} + K_{соп.} = 57,2 + 0 = 57,2 \text{ руб [7];}$$

Проектный вариант:

$$K_{общ.} = K_{пр.} + K_{соп.} = 73 + 19800 = 19873 \text{ руб ;}$$

где $K_{пр.}$ - прямые капитальные вложения в оборудование, руб [7];

$K_{соп.}$ - сопутствующие капитальные вложения в оборудование, которое закупается для проектного варианта, руб [7].

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

Базовый вариант:

$$K_{пр.} = n_{об.} \cdot Ц_{об.} \cdot k_3 = 1 \cdot 26000 \cdot 0,0022 = 57,2 \text{ руб ;}$$

Проектный вариант:

$$K_{пр.} = n_{об.} \cdot Ц_{об.} \cdot k_3 = 1 \cdot 73000 \cdot 0,001 = 73 \text{ руб .}$$

В данной формуле следующие переменные: $n_{об.}$ - количество единиц оборудования, шт.; $Ц_{об.}$ - цена единицы оборудования, руб. k_3 - коэффициент загрузки оборудования [7].

Базовый вариант:

$$k_3 = \frac{n_{\text{об.расч}}}{n_{\text{об.прин}}} = \frac{0,0022}{1} = 0,0022;$$

Проектный вариант:

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

Базовый вариант:

$$n_{\text{об.расч}} = \frac{N_{\Gamma} \cdot t_{\text{шт}}}{\Phi_{\text{эф}} \cdot 60} = \frac{1 \cdot 501,8}{3654 \cdot 60} = 0,0022;$$

Проектный вариант:

$$n_{\text{об.расч}} = \frac{N_{\Gamma} \cdot t_{\text{шт}}}{\Phi_{\text{эф}} \cdot 60} = \frac{1 \cdot 222,2}{3654 \cdot 60} = 0,001;$$

Где N_{Γ} – годовая программа выпуска, $\Phi_{\text{эф}}$ – эффективный фонд времени работы оборудования.

Базовый и Проектный вариант:

$$\Phi_{\text{эф}} = (D_{\text{раб.}} \cdot T_{\text{см.}} - D_{\text{пред.}} \cdot T_{\text{сокр.}}) \cdot S \cdot (1 - k_{\text{р.п.}}) = 3654 \text{ ч};$$

где $D_{\text{раб.}}$ – количество рабочих дней в году; (250) [7];

$T_{\text{см.}}$ – продолжительность рабочей смены, час, (8) [7];

$D_{\text{пред.}}$ – количество предпраздничных дней в году, (8) [7];

$T_{\text{сокр.}}$ – сокращенная рабочая смена ($T_{\text{см.}} - 1$), час [7];

S – количество рабочих смен, (2) [7];

$k_{\text{р.п.}}$ – коэффициент потерь времени работы оборудования на ремонт и переналадку (0,06) [7].

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 [7]. Соответственно, для базового и проектного варианта $n_{\text{об.прин}}$ будет = 1.

Теперь рассчитаем сопутствующие капитальные вложения:

$$K_{\text{соп.}} = K_{\text{монт.}} + K_{\text{дем.}} + K_{\text{пл.}} = 14600 + 5200 = 19800 \text{ руб.};$$

где $K_{\text{монт.}}$ - затраты на монтаж нового оборудования, руб. [7];

$K_{\text{дем.}}$ - затраты на демонтаж старого оборудования, руб. [7];

$K_{\text{пл.}}$ - дополнительные затраты на производственные площади под новое оборудование, руб [7].

$$K_{\text{монт.}} = \Sigma(n_{\text{об.}} \cdot C_{\text{об.}} \cdot k_{\text{монт.}}) = 1 \cdot 73000 \cdot 0,2 = 14600 \text{ руб.};$$

где $k_{\text{монт.}}$ - коэффициент монтажа, принимаем = 0,2 [7].

$$K_{\text{дем.}} = \Sigma(n_{\text{об.}} \cdot C_{\text{об.}} \cdot k_{\text{дем.}}) = 1 \cdot 26000 \cdot 0,2 = 5200 \text{ руб.};$$

где $k_{\text{дем.}}$ - коэффициент демонтажа, принимаем = 0,2 [7].

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

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

так как $C_{\text{пл.}} = 0$.

Удельные капитальные вложения в оборудование (капитальные вложения на одно изделие) рассчитываются для двух сравниваемых вариантов [7]:

Базовый вариант:

$$K_{\text{уд.}}^{\text{баз.}} = \frac{K_{\text{общ.}}^{\text{баз.}}}{N_{\Gamma}} = \frac{57,2}{1} = 57,2 \text{ руб.};$$

Проектный вариант:

$$K_{\text{уд.}}^{\text{пр.}} = \frac{K_{\text{общ.}}^{\text{пр.}}}{N_{\Gamma}} = \frac{19873}{1} = 19873 \text{ руб.}$$

Дополнительные капитальные вложения в оборудование рассчитываются для определения более капиталоемкого варианта [7]:

$$K_{\text{доп.}} = K_{\text{общ.}}^{\text{пр.}} - K_{\text{общ.}}^{\text{баз.}} = 19873 - 57,2 = 19815,8 \text{ руб.}$$

Теперь следует перейти к расчету затрат на материалы:

Базовый вариант:

$$ЗМ = ЗМ_{\text{осн.}} + ЗМ_{\text{техн.}} + ЗМ_{\text{всп.}} = 0 + 1406,5 \text{ руб} \quad [7];$$

Проектный вариант:

$$ЗМ = ЗМ_{\text{осн.}} + ЗМ_{\text{техн.}} + ЗМ_{\text{всп.}} = 0 + 1331,15 \text{ руб};$$

где $ЗМ_{\text{осн.}}$ - затраты на основной материал, руб. [7];

$ЗМ_{\text{техн.}}$ -затраты на технологические материалы, руб. [7];

$ЗМ_{\text{всп.}}$ - затраты на вспомогательные материалы, руб [7].

«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, припой» [7, 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» [7, с.8].

Рассчитаем затраты на основной материал по следующей формуле:

$ЗМ_{\text{осн.}} = Н_{\text{М}} \cdot Ц_{\text{М}} \cdot k_{\text{т.з.}}$, 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) [7]. $ЗМ_{\text{осн.}} = 0$, так как при ремонте на трубопроводе ТЭЦ не требуется закупать новые сектора, они должны быть на складе всегда в случае экстренного ремонта. В данном случае проводится операция ремонта проводится при помощи уже имеющихся изделий.

Затраты на технологические и вспомогательные материалы рассчитываются по следующим формулам [7]:

Базовый вариант:

$$З_{М_{св.}} = З_{эл.(пр.)} = 1406,5 \text{ руб [7];}$$

Проектный вариант:

$$З_{М_{св.}} = З_{св.пров.} + З_{з.г.} = 971,7 + 359,45 = 1331,15 \text{ руб}$$

где $З_{эл.(пр.)}$, $З_{св.пров.}$ – затраты на электродный материал для сварки, руб [7].

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

Базовый вариант:

$$З_{М_{эл.(пр.)}} = Н_{эл.(пр.)} \cdot Ц_{эл.(пр.)} = 7,603 \cdot 185 = 1406,5 \text{ руб};$$

Проектный вариант:

$$З_{М_{эл.(пр.)}} = Н_{эл.(пр.)} \cdot Ц_{эл.(пр.)} = 4,74 \cdot 205 = 971,7 \text{ руб};$$

$Н_{эл.(пр.)}$ – норма расхода электродов или проволоки, кг; $Ц_{эл.(пр.)}$ – цена электродов или проволоки, руб. за 1 кг [7]. Норму расхода электродного материала рассчитаем следующим образом:

Базовый вариант:

$$Н_{эл.(пр.)} = У \cdot L_{ш(в)} = 1,07 \cdot 7,106 = 7,603 \text{ кг};$$

Проектный вариант:

$$Н_{эл.(пр.)} = У \cdot L_{ш(в)} = 0,667 \cdot 7,106 = 4,74 \text{ кг};$$

где: $У$ – удельная норма расхода сварочных материалов по длине шва, кг/м; $L_{ш(в)}$ – длина сварного шва или наплавляемого валика на изделии, м [7]

Базовый вариант:

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

Проектный вариант:

$$У = k_p \cdot M_{напл.мет.} = 1,15 \cdot 0,58 = 0,667 \text{ кг/м};$$

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 [7].

Затраты на защитный газ будем считать два раза (для аргона и для углекислоты) и для механизированной сварки найдем по формуле:

$$\text{Для аргона: } Z_{з.г.} = N_{з.г.} \cdot C_{з.г.} = 1100,5 \cdot 300 \cdot 10^{-3} = 330,15 \text{ руб} \quad ;$$

$$\text{Для углекислоты: } Z_{з.г.} = N_{з.г.} \cdot C_{з.г.} = 366,8 \cdot 80 \cdot 10^{-3} = 29,3 \text{ руб} \quad ;$$

$$\text{Итого: } 330,15 + 29,3 = 359,45 \text{ руб.}$$

где $N_{з.г.}$ - норма расхода защитного газа на 1 погонный метр сварного шва, литр [7];

$$C_{з.г.} - \text{цена защитного газа, руб./м}^3 \text{ [7].}$$

Норму расхода защитных газов рассчитывают по формуле:

$$N_{з.г.} = U_{з.г.} \cdot L_{ш(в)} + U_{доп} = 206,4 \cdot 7,106 + 0,6 = 1467,3 \text{ л} ;$$

Полученную норму расхода защитного газа следует разделить в пропорции 75/25, где 75% - аргон, 25% - углекислый газ. Итого для аргона норма расхода получается 1100,5 литров, для CO₂ – 366,8 литров.

где $U_{з.г.}$ - удельная норма расхода защитного газа на 1 погонный метр шва,; $U_{доп.}$ - дополнительный расход газа на подготовительно-вспомогательные операции (продувку газовых коммуникаций перед сваркой, защиту электрода и остывающего металла после сварки и настройку режимов), литр/мин [7].

Удельную норму расхода защитного газа на 1 погонный метр сварного шва или наплавляемого валика можно определить по формуле [7]:

$$U_{з.г.} = q_{з.г.} \cdot t_{01} = 12 \cdot 17,2 = 206,4 \text{ л/м} ;$$

где $q_{з.г.}$ - норма расхода защитного газа при сварке, в зависимости от вида сварки, литр/мин [7];

$$t_{01} - \text{основное время сварки 1 погонного метра шва, (мин) [7].}$$

$$t_{01} = \frac{t_0}{L_{\text{ш(в)}}} = \frac{122,2}{7,106} = 17,2 \text{ мин};$$

где t_0 – основное время сварки изделия [7].

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

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

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.) [7].

Теперь рассчитаем затраты на электроэнергию:

Базовый вариант:

$$З_{\text{э-э}} = \frac{P_{\text{об}} \cdot t_0}{\eta \cdot 60} \cdot Ц_{\text{э-э}} = \frac{2,16 \cdot 332}{0,7 \cdot 60} \cdot 3,3 = 56,3 \text{ руб [7];}$$

Проектный вариант:

$$З_{\text{э-э}} = \frac{P_{\text{об}} \cdot t_0}{\eta \cdot 60} \cdot Ц_{\text{э-э}} = \frac{5,625 \cdot 122,2}{0,85 \cdot 60} \cdot 3,3 = 44,5 \text{ руб};$$

где $P_{\text{об}} = I_{\text{св}} \cdot U_{\text{д}}$ – полезная мощность оборудования кВт [7];

Базовый вариант:

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

Проектный вариант:

$$P_{\text{об}} = I_{\text{св}} \cdot U_{\text{д}} = 225 \cdot 25 = 5625 \text{ Вт} = 5,625 \text{ кВт};$$

η – коэффициент полезного действия оборудования (табл. 4.2) [7];

$I_{\text{св}}$ – сила сварочного тока, А [7];

$U_{\text{д}}$ – напряжение на дуге, В [7];

$Ц_{\text{э-э}}$ – цена 1 кВт·часа электроэнергии (3,3 руб).

Далее необходимо рассчитать затраты на содержание и эксплуатацию технологического оборудования.

Базовый вариант:

$$Z_{об} = A_{об} + P_{т.р} = 650 + 0,003 \approx 650 \text{ руб [7];}$$

Проектный вариант:

$$Z_{об} = A_{об} + P_{т.р} = 968,5 + 0,005 \approx 968,5 \text{ руб ;}$$

где $A_{об}$ - амортизационные отчисления на оборудование, руб.; $P_{т.р}$ - затраты на текущий ремонт оборудования, руб. [7];

Амортизационные отчисления на оборудование:

Базовый вариант:

$$A_{об} = \frac{\Sigma C_{об} \cdot N_a \cdot t_{шт}}{\Phi_{эф} \cdot 100 \cdot k_{в.н}} = \frac{26000 \cdot 20 \cdot 501,8}{3654 \cdot 100 \cdot 1,1} = 650 \text{ руб [7];}$$

Проектный вариант:

$$A_{об} = \frac{\Sigma C_{об} \cdot N_a \cdot t_{шт}}{\Phi_{эф} \cdot 100 \cdot k_{в.н}} = \frac{73000 \cdot 24 \cdot 222,2}{3654 \cdot 100 \cdot 1,1} = 968,5 \text{ руб ;}$$

где $C_{об}$ - 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 [7].

Затраты на текущий ремонт оборудования рассчитываются по формуле:

Базовый вариант:

$$P_{т.р} = \frac{\Sigma C_{об} \cdot N_{т.р} \cdot k_3}{\Phi_{эф} \cdot 100} = \frac{26000 \cdot 24 \cdot 0,0022}{3654 \cdot 100} = 0,003 \text{ руб ;}$$

Проектный вариант:

$$P_{т.р} = \frac{\Sigma C_{об} \cdot N_{т.р} \cdot k_3}{\Phi_{эф} \cdot 100} = \frac{73000 \cdot 24 \cdot 0,001}{3654 \cdot 100} = 0,005 \text{ руб ;}$$

где $C_{об}$ - цена единицы технологического оборудования, руб.; $N_{т.р.}$ - норма отчислений на текущий ремонт оборудования, принимаем = 24%; k_3 - коэффициент загрузки оборудования [7].

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» [7, с.15].

Базовый вариант:

$$Z_{присп.} = \frac{C_{присп.} \cdot N_{а присп.} \cdot k_3}{100 \cdot T_{присп.} \cdot N_{г}} = \frac{50000 \cdot 12 \cdot 0,0022}{100 \cdot 5 \cdot 1} = 2,64 \text{ руб} [7];$$

Проектный вариант:

$$Z_{присп.} = \frac{C_{присп.} \cdot N_{а присп.} \cdot k_3}{100 \cdot T_{присп.} \cdot N_{г}} = \frac{50000 \cdot 12 \cdot 0,001}{100 \cdot 5 \cdot 1} = 1,2 \text{ руб};$$

где: $C_{присп.}$ - цена используемых сборочно-сварочных приспособлений, руб.; $N_{а присп.}$ - норма амортизационных отчислений на приспособления, % (12%); $T_{присп.}$ - срок службы приспособлений, лет (5 лет), [7].

«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» [7, с.16].

Базовый вариант:

$$Z_{инстр.} = \frac{C_{инстр.} \cdot N_{а инстр.} \cdot t_{шт}}{100 \cdot T_{инстр.} \cdot \Phi_{эф} \cdot 60} = \frac{3000 \cdot 15 \cdot 501,8}{100 \cdot 26280 \cdot 3654 \cdot 60} \approx 0 [7] ;$$

Проектный вариант:

$$Z_{\text{инстр.}} = \frac{C_{\text{инстр}} \cdot N_{\text{а инстр}} \cdot t_{\text{шт}}}{100 \cdot T_{\text{инстр}} \cdot \Phi_{\text{эф}} \cdot 60} = \frac{3000 \cdot 15 \cdot 222,2}{100 \cdot 26280 \cdot 3654 \cdot 60} \approx 0 \quad ;$$

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) [7, с.16].

Рассчитаем затраты на эксплуатацию и содержание производственных площадей:

Базовый вариант:

$$Z_{\text{площ}} = \frac{S_{\text{площ}} \cdot C_{\text{площ}} \cdot N_{\text{а площ}} \cdot k_{\text{д.пл}} \cdot k_{\text{з}}}{100 \cdot N_{\Gamma}} = \frac{1,5 \cdot 3000 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 0,0022}{100 \cdot 1} = ;$$

= 1,485 руб

Проектный вариант:

$$Z_{\text{площ}} = \frac{S_{\text{площ}} \cdot C_{\text{площ}} \cdot N_{\text{а площ}} \cdot k_{\text{д.пл}} \cdot k_{\text{з}}}{100 \cdot N_{\Gamma}} = \frac{1,5 \cdot 3000 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 0,001}{100 \cdot 1} = ;$$

= 0,675 руб

где $S_{\text{площ}}$ - производственная площадь, занимаемая оборудованием, м² (1,5 м²); $C_{\text{площ}}$ - цена 1 м² занимаемой производственной площади (3000 руб); $N_{\text{а площ}}$ - норма амортизационных отчислений на производственные площади (3%); $k_{\text{доп.пл.}}$ - коэффициент, учитывающий дополнительную производственную площадь (5) [7].

Теперь требуется рассчитать фонд заработных плат и социальные отчисления:

«Фонд заработной платы основных производственных рабочих состоит из основной и дополнительной заработной платы» [7, с.16].

Базовый вариант:

$$\text{ФЗП} = \text{ЗПЛ}_{\text{осн}} + \text{ЗПЛ}_{\text{доп}} = 1158 + 139 = 1297 \text{ руб} \quad [7];$$

Проектный вариант:

$$\Phi ЗП = ЗПЛ_{осн} + ЗПЛ_{доп} = 512,8 + 61,5 = 574,3 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата определяется по формуле:

Базовый вариант:

$$ЗПЛ_{осн} = C_{ч} \cdot t_{шт} \cdot k_{зпл} = 76,15 \cdot 8,36 \cdot 1,82 = 1158 \text{ руб [7];}$$

Проектный вариант:

$$ЗПЛ_{осн} = C_{ч} \cdot t_{шт} \cdot k_{зпл} = 76,15 \cdot 3,7 \cdot 1,82 = 512,8 \text{ руб ;}$$

где $C_{ч}$ - часовая тарифная ставка рабочего, руб./час [7]; $t_{шт}$ - время изготовления одного изделия, (час) [7]; $k_{зпл}$ - коэффициент начислений на основную заработную плату = 1,82 [7].

«Дополнительная заработная плата основных производственных рабочих определяется по формуле» [7, с.17]:

Базовый вариант:

$$ЗПЛ_{доп} = \frac{k_{д}}{100} \cdot ЗПЛ_{осн} = \frac{12}{100} \cdot 1158 = 139 \text{ руб ;}$$

Проектный вариант:

$$ЗПЛ_{доп} = \frac{k_{д}}{100} \cdot ЗПЛ_{осн} = \frac{12}{100} \cdot 512,8 = 61,5 \text{ руб [7];}$$

где $k_{д}$ – коэффициент соотношения между основной и дополнительной заработной платой, % (12%, 2 смены горячих и тяжелых работ) [7].

Отчисления на социальные нужды рассчитаем по следующей формуле [7]:

Базовый вариант:

$$O_{с.н} = \frac{N_{соц} \cdot \Phi ЗП}{100} = \frac{36,6 \cdot 1297}{100} = 474,7 \text{ руб [7] ;}$$

Проектный вариант:

$$O_{с.н} = \frac{N_{соц} \cdot \Phi ЗП}{100} = \frac{36,6 \cdot 574,3}{100} = 210,2 \text{ руб ;}$$

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

После всех вышеуказанных расчетов можно приступить к расчету себестоимости ремонта. Данный расчет начинается с расчета технологической себестоимости ремонта изделия.

Базовый вариант:

$$C_{\text{тех}} = 3M + 3_{\text{э-э}} + 3_{\text{об}} + 3_{\text{площ}} + \Phi 3\Pi + O_{\text{с.н}} = 1406,5 + 56,3 + 650 + 1,485 + 1297 + 474,7 = 3886 \text{ руб}$$

Проектный вариант:

$$C_{\text{тех}} = 3M + 3_{\text{э-э}} + 3_{\text{об}} + 3_{\text{площ}} + \Phi 3\Pi + O_{\text{с.н}} = 1331,15 + 44,5 + 968,5 + 0,675 + 574,3 + 210,2 = 3129 \text{ руб}$$

Далее требуется рассчитать цеховую себестоимость:

Базовый вариант:

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{тех}} + P_{\text{цех}} = 3886 + 2985 = 6871 \text{ руб [7];}$$

Проектный вариант:

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{тех}} + P_{\text{цех}} = 3129 + 1282 = 4411 \text{ руб;}$$

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 [7].

Базовый вариант:

$$P_{\text{цех}} = k_{\text{цех}} \cdot 3\Pi\Pi_{\text{осн}} = 2,5 \cdot 1158 = 2985 \text{ руб [7];}$$

Проектный вариант:

$$P_{\text{цех}} = k_{\text{цех}} \cdot 3\Pi\Pi_{\text{осн}} = 2,5 \cdot 512,8 = 1282 \text{ руб;}$$

где $k_{\text{цех}}$ - коэффициент общепроизводственных расходов, принимаем $= 2,5$ [7].

Далее рассчитываем производственную себестоимость:

Базовый вариант:

$$C_{\text{произв}} = C_{\text{цех}} + P_{\text{произв}} = 6871 + 2084,4 = 8955,4 \text{ руб [7];}$$

Проектный вариант:

$$C_{\text{произв}} = C_{\text{цех}} + P_{\text{произв}} = 4411 + 923 = 5334 \text{ руб}$$

где $P_{\text{произв}}$ - общехозяйственные (общезаводские) расходы, руб [7].

«Общехозяйственные (общезаводские) расходы относятся к косвенным затратам на изготовление продукции, это накладные расходы по управлению производством продукции на предприятии и обслуживанию предприятия» [7, с.18].

Базовый вариант:

$$P_{\text{произв.}} = k_{\text{произв}} \cdot ЗПЛ_{\text{осн}} = 1,8 \cdot 1158 = 2084,4 \text{ руб [7];}$$

Проектный вариант:

$$P_{\text{произв.}} = k_{\text{произв}} \cdot ЗПЛ_{\text{осн}} = 1,8 \cdot 512,8 = 923 \text{ руб.}$$

где $k_{\text{произв}}$ - коэффициент общехозяйственных расходов, принимаем = 1,8 [7].

«Если рассматриваемое изделие представляет собой узел, который входит в состав более крупного изделия, расчет себестоимости заканчиваем производственной себестоимостью» [7, с.18].

На этом расчет себестоимости закончен. Теперь следует составить калькуляцию расчетов (табл. 4.4).

Таблица 4.4. Калькуляция себестоимости ремонта изделия

Статьи затрат	Условные обозначения	Базовый вариант	Проектный вариант
1. Затраты на материалы	ЗМ	1406,5	1331,15
2. Затраты на электрическую энергию	З _{э-э}	56,3	44,5
3. Затраты на содержание и эксплуатацию технологического оборудования	З _{об}	650	968,5
4. Затраты на содержание и эксплуатацию сборочно-сварочных приспособлений	З _{присп}	2,64	1,2
5. Затраты на содержание и эксплуатацию рабочего инструмента	З _{инстр}	0	0
6. Затраты на содержание и эксплуатацию производственных площадей	З _{пощ}	1,485	0,675

7. Затраты на заработную плату основных производственных рабочих (ФЗП)	ФЗП	1297	574,3
8. Отчисления на социальные нужды	O _{с.н}	474,7	210,2

Продолжение таблицы 4.4.

Технологическая себестоимость	C _{тех}	3886	3129
Цеховая себестоимость	C _{цех}	6871	4411
Общехозяйственные (общезаводские) расходы	P _{произв}	2084,4	923
Производственная себестоимость	C _{произв}	8955,4	5334

Определим снижение себестоимости:

$$\Delta C_{\text{полн}} = \frac{C_{\text{полн}}^{\text{баз}} - C_{\text{полн}}^{\text{пр}}}{C_{\text{полн}}^{\text{баз}}} \cdot 100\% = \frac{8955,4 - 5334}{8955,4} \cdot 100\% = 40,43\% [7].$$

Теперь можно приступить к расчету показателей экономической эффективности предлагаемого проекта.

1) Годовой экономический эффект.

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\Gamma} &= \left[\left(C_{\text{полн}}^{\text{баз}} + E_{\text{н}} \cdot K_{\text{уд}}^{\text{баз}} \right) - \left(C_{\text{полн}}^{\text{пр}} + E_{\text{н}} \cdot K_{\text{уд}}^{\text{пр}} \right) \right] \cdot N_{\Gamma} = \\ &= [(8955,4 + 0,33 \cdot 57,2) - (5334 + 0,33 \cdot 19873)] \cdot 1 = (8974,3 - 11892) = -2917,7 \text{ руб} \end{aligned}$$

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) [7].

2) Рассчитаем ожидаемую прибыль от снижения себестоимости ремонта:

$$\text{Пр}_{\text{ож}} = \mathcal{E}_{\text{у.г}} = \left(C_{\text{полн}}^{\text{баз}} - C_{\text{полн}}^{\text{пр}} \right) \cdot N_{\Gamma} = (8955,4 - 5334) \cdot 1 = 3621,4 \text{ руб}$$

Эта прибыль также будет являться чистой, так как это процесс ремонта, а значит налог на продажу не вычитается.

3) Рассчитаем срок окупаемости капитальных вложений:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{общ}}^{\text{пр}}}{\text{Пр}_{\text{ож}}} = \frac{19873}{3621,4} = 5,5 \approx 6 \text{ лет};$$

Согласно [7], данное внедрение считается неэффективным. Однако это не играет роли в случае экстренного ремонта, когда нет времени ждать новую деталь от изготовителя. Тем более, стоимость секторного отвода по состоянию на 2018 год находится в диапазоне 8500 ÷ 15000 руб + доставка. В случае, когда ремонт нужно произвести как можно быстрее, покупать новый отвод и ждать, пока его доставят, нецелесообразно. Поэтому касательно эффективности внедрения стоит оценивать субъективно для каждого случая ремонта.

Теперь рассчитаем снижение трудоемкости и повышение производительности – основные цели данной работы:

Снижение трудоемкости:

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{t_{\text{шт}}^{\text{баз}} - t_{\text{шт}}^{\text{пр}}}{t_{\text{шт}}^{\text{баз}}} \cdot 100\% = \frac{501,8 - 222,2}{501,8} = 55,71\% ;$$

Повышение производительности:

$$\Delta \text{ПТ} = \frac{100 \cdot \Delta t_{\text{шт}}}{100 - \Delta t_{\text{шт}}} = \frac{100 \cdot 55,71}{100 - 55,71} = \frac{5571}{44,29} = 125\% .$$

Выводы по 4-ой главе «Экономическая эффективность проектного технологического процесса»:

В ходе проведенных расчетов удалось добиться поставленной цели – за счет внедрения более производительного способа сварки (механизованная в среде защитных газов) получилось снизить трудоемкость процесса ремонта на 55,71% и повысить производительность на 125%. Данные цифры говорят о том, в условиях экстренного ремонта на трубопроводе ТЭЦ механизированная сварка показала себя в разы производительнее, чем ручная дуговая сварка при относительно малых материальных вложениях. Это был ожидаемый результат, так механизированная сварка считается более производительным способом, чем

РДС. Данный внедренный процесс позволяет производить ремонт в 2,25 раза быстрее, чем при РДС (222,2 мин по сравнению с 501,8 мин). Также при этом снизились затраты на сварочные материалы – 1331,15 □ по сравнению с 1406,5 □.

Ко всему прочему, здесь же стоит отметить тот факт, что получаемые механизированной сваркой сварные швы считаются более качественными, что возможно положительно отразится на долговечности конструкции в целом.

Внедрение нового оборудования позволит в дальнейшем производить ремонт на трубопроводах и других технических единицах ТЭЦ уже с повышенной производительностью.

5 Безопасность и экологичность проекта

5.1. Планировка участка

Процесс восстановления технологического трубопровода производится в монтажных условиях на теплоэлектростанции (ТЭЦ) путем замены секторного отвода. Участок ремонта (сварки) трубопровода показан на следующей схеме (рис. 5.1).

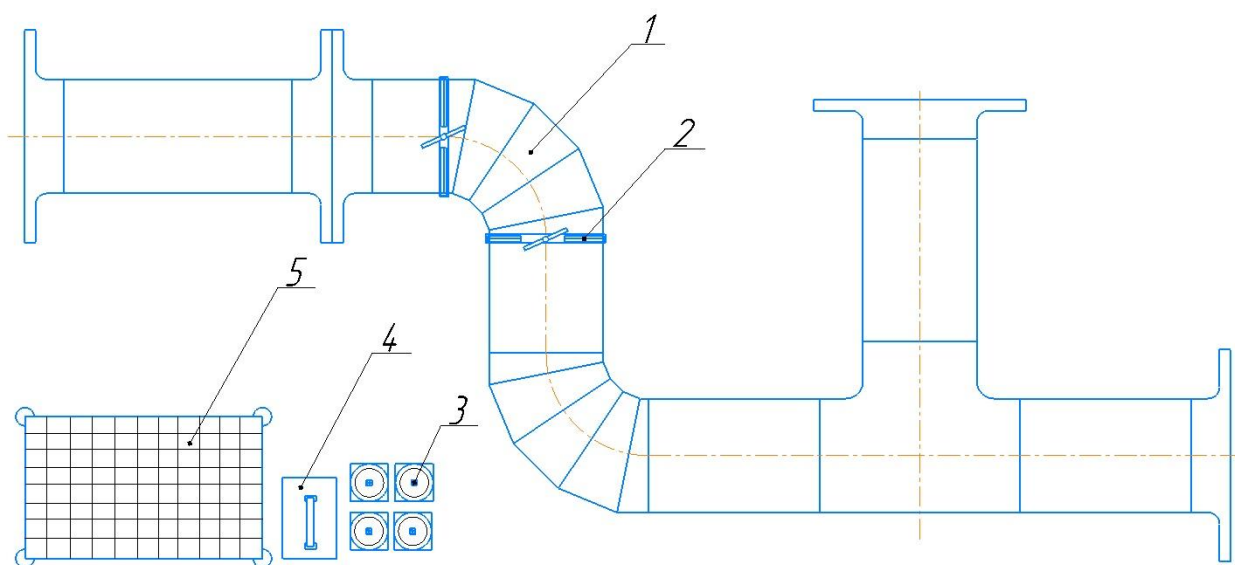


Рисунок 5.1 – Схема сварочно-ремонтного участка в условиях ТЭЦ

На вышеуказанной схеме показаны следующие элементы:

1. Секторный отвод;
2. Центратор наружный 2 шт.;
3. Баллоны с газом (аргон ВЧ, углекислый газ, ацетилен, технический кислород);
4. Сварочный полуавтомат «Форсаж-302»;
5. Сварочный стол специальный.

5.2 Сущность технологического процесса

Проектный технологический процесс, представленный в данной выпускной квалификационной работе, выглядит следующим образом. В первую очередь выполняется удаление секторного отвода из узла

технологического трубопровода при помощи ацетилено-кислородной резки. Дефектный секторный отвод утилизируется и в дальнейшем не используется в ремонте. Затем производится сварка нового отвода из секторов, имеющихся в наличии на ТЭЦ. Данные сектора проходят входной контроль, для них делается разделка кромок, соответствующая требованиям ОСТ 34.10.752-97. Также производится зачистка и подготовка кромок трубы после газовой резки. Далее проводят сборку секторов на специальном сварочном столе при помощи зажимов и креплений. После сварки секторов сварщиком производится визуально-измерительный контроль 100%, затем ультразвуковой контроль при помощи портативного дефектоскопа. После сварки нового отвода, производится монтажная сборка отвода с трубопроводом. После сборки производят сварку двух неповоротных стыков. По окончании сварки также проводится контроль – ВИК и УЗК 100%.

5.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Опасные и вредные производственные факторы, сопутствующие процессу восстановления технологического трубопровода ТЭЦ, могут привести к травмам, либо оказывать пагубное влияние на состояние здоровья рабочего (рабочих). В процессе ремонтной сварки сектора и трубопровода могут присутствовать следующие факторы – большой вес детали (отвода), высокое напряжение, высокая температура металла, наличие вредных газов, движущиеся или быстровращающиеся детали, острые кромки, опасный рабочий инструмент.

Более подробно опасные и вредные факторы в данном случае стоит рассмотреть на примере следующих операций, входящих в проектный технологический процесс:

- Вырезка отвода
- Подготовка кромок к сварке
- Сборка
- Сварка

Таблица 5.1 Анализ опасных и вредных факторов

№ п/п	Операции	Источник опасности	Факторы
1	Вырезка отвода	Трубопровод диаметром 377 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 125 мм, металлическая щетка в виде насадки, ацетон	Движущиеся и вращающиеся механизмы, подвижные части оборудования, заусенцы, искры от шлифовальной машинки, воспламеняющие вещества
3	Сборка стыков	Центраторы внешние пневматические, секторный отвод	Большой вес конструкции отвода (84 кг), острые кромки, большой вес центраторов
4	Сварка стыков	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

5.4 Мероприятия по уменьшению влияния

Анализ методов снижения влияния опасных факторов при ремонте технологического трубопровода рассмотрен в таблице 5.2.

Таблица 5.2. Методы снижения влияния опасных факторов

№ п/п	Операции	Факторы	Мероприятия
1	Вырезка отвода	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.

Продолжение таблицы 5.2.

3	Сборка стыков	Большой вес конструкции отвода (84 кг), острые кромки, большой вес центраторов	Инструктаж, спецодежда, перчатки, дополнительные рабочие для подъема детали на необходимую высоту
4	Сварка стыков	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

Также необходимо проведение регулярных инструктажей по технике безопасности при проведении ремонта на объекте. Основные рекомендации и требования отражены в типовой инструкции по охране труда монтажника наружных трубопроводов ТИ РО-040-2003, а также в РД 153-34.1-003-01.

5.5. Заключение по разделу

В ходе выполнения данного раздела выпускной квалификационной работы были выявлены вредные и опасные факторы, присутствующие на теплоэлектростанциях и теплоэлектроцентралях при сварочных работах, которые могут нести опасность жизни и здоровью рабочих.

Также выполнен анализ возможности устранения опасных факторов или снижения их влияния. В результате анализа были подобраны мероприятия, которые помогут повысить безопасность в процессе восстановления трубопровода. Благодаря данным мероприятиям, при условии соблюдения рабочими правил техники безопасности, требований технологического процесса и нормативных документов, можно исключить риск получения вреда здоровью рабочих. Поэтому для данного объекта не требуется разработка специальных средств индивидуальной и коллективной защиты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения данной выпускной квалификационной работы была достигнута поставленная цель – снижение времени, затрачиваемого на восстановление технологического трубопровода ТЭЦ. Данный результат был достигнут за счет внедрения более производительного способа сварки – механизированной сварки в среде защитных газов.

В процессе описания новой технологии ремонта были рассчитаны параметры режима сварки, подобрано необходимое оборудование (источник питания и приспособления для сборки), которое подходит для данных условий ремонта, а также требуемые сварочные материалы. Проведен анализ известных данных из нормативной документации, литературы и открытых источников (Интернет), благодаря которому удалось выделить требуемые аспекты при написании технологии восстановления технологического трубопровода.

Благодаря полученным расчетным и аналитическим данным, можно сказать, что цель данной работы достигнута. Производительность процесса повышена в 2,25 раза при использовании механизированной сварки, при этом себестоимость ремонта снизилась на 40%. Также понижена трудоемкость процесса на более чем 50%. Исходя из вышеуказанных данных, можно считать данную работу выполненной.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. РД 153-34.1-003-01. Сварка, термообработка и контроль трубных систем котлов и трубопроводов при монтаже и ремонте энергетического оборудования. РТМ-1с. – Введ. 2002-01-01. – СПб.: Издательство ДЕАН, 2002. – 464 с.
2. ОСТ 34-10-748-97. Детали и сборочные единицы трубопроводов из углеродистой и низколегированной сталей на $P_{раб} < 2,2 \text{ МПа}$ (22 кгс/см^2), $t \leq 425 \text{ }^\circ\text{C}$ для тепловых электростанций. Соединения сварные стыковые. Типы, конструктивные элементы и размеры. – Введ. 1998-03-01. – СПб.: Севзапэнерго-монтажпроект, 1997. – 17 с.
3. ГОСТ 32569-2013. Трубопроводы технологические стальные. Требования к устройству и эксплуатации на взрывопожароопасных и химически опасных производствах. – Введ. 2015-01-01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 185 с.
4. 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.
5. Лучкин Р.С. Работоспособность сварных соединений и узлов (курс лекций) / Р. С. Лучкин. – Тольятти: ТолПИ, 1999. – 167 с.
6. Лучкин Р.С. Коррозия и защита металлических материалов (структурные и химические факторы): электронное учебное пособие / Р.С. Лучкин. – Тольятти: Издательство ТГУ, 2017. – 1 оптический диск.
7. 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.3-22.

8. Потапьевский А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. / А.Г. Потапьевский. – М.: Машиностроение, 1974. – 240 с.
9. Сорокин, В.Г. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин [и др.]. - М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
10. Шустик А.Г. Справочник по газовой резке, сварке и пайке / А.Г. Шустик, В.П. Савченко, А.М. Табунщик. – К.: Тэхника, 1989. – 104 с.
11. Гитлевич А.Д. Механизация и автоматизация сварочного производства / А.Д. Гитлевич, А.А. Этитоф. – М.: Машиностроение, 1987 - 280 с.
12. 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 01.04.2018).
13. Моторин К.В. Методическое указание по курсовому проектированию бакалавров очного и заочного обучения. / К.В. Моторин. – Тольятти: ТГУ, 2016. – 7 с.
14. Попков, А.М. Расчет параметров режима дуговой сварки угловых и стыковых швов // Сварочное производство. 1998. – № 7.– с.3–5.
15. Козулин М.Г. Технология сварочного производства и ремонта металлоконструкций: учеб. пособие для студентов специальности 150202 «Оборудование и технология сварочного производства». – 2-е изд., испр. и доп. / М.Г. Козулин. – Тольятти: ТГУ, 2010. – 306 с., ил.
16. Сварочно-монтажный стол VTM: [Электронный ресурс] // «VTM» - производство сварочных столов, 2010-2018 / Режим доступа: <http://vtmstol.ru/#contacts/>. (Дата обращения: 04.04.2018).
17. Сварочный полуавтомат «Форсаж-302»: [Электронный ресурс] // Сварочные технологии. Сварочный полуавтомат «Форсаж-302». Технические характеристики, 2008-2018 / Режим доступа: <http://www.welding-russia.ru/catalog.html?itemid=15688/>. (Дата обращения: 04.04.2018).
18. Механизм подачи проволоки МПП ФОРСАЖ-МП: [Электронный ресурс] // Сварочные технологии. Механизм подачи проволоки МПП ФОРСАЖ-МП.

Технические характеристики, 2008-2018 / Режим доступа: <http://www.welding-russia.ru/catalog.html?itemid=15692/>. (Дата обращения: 04.04.2018).

19. I. S. Kim. Prediction of welding parameters for pipeline welding using an intelligent system [Электронный ресурс] / Kim I. S., Jeong Y. J., Lee C. W., Yarlagadda P. K. D. V. – The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – Электронные текстовые данные – Springerlink, 2003. – Режим доступа к ресурсу: <https://www.springerlink.com/> – (дата обращения 16.04.2018).

20. G. Senthil Kumar & U. Natarajan & S. S. Ananthan. Vision inspection system for the identification and classification of defects in MIG welding joints [Электронный ресурс] / G. Senthil Kumar & U. Natarajan & S. S. Ananthan. – Электрон. текстовые дан. – Springerlink, 2014.- режим доступа к ресурсу: <https://www.springerlink.com/> – (дата обращения 16.04.2018).

21. Mohsen Mohammadjoo & 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 [Электронный ресурс] / Mohsen Mohammadjoo & Laurie Collins & Hani Henein & Douglas G. Ivey. – Электрон. текстовые дан. – Springerlink, 2017.- режим доступа к ресурсу: <https://www.springerlink.com/> – (дата обращения 16.04.2018).

22. A. B. Rothwell. Welding metallurgy and process development research for the gas pipeline industry [Электронный ресурс] / Rothwell A.B., Dorling D. V., Glover A. G. – Электрон. текстовые дан. – Springerlink, 1990.- режим доступа к ресурсу: <https://www.springerlink.com/> – (дата обращения 16.04.2018).

23. R. Gordon. Reducing pipeline construction costs: New technologies [Электронный ресурс] / Gordon R., Holdren R., Johnson M., Lozev M. – Электрон. текстовые дан. – Springerlink, 2003.- режим доступа к ресурсу: <https://www.springerlink.com/> – (дата обращения 16.04.2018).