

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование)

15.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Современные технологические процессы изготовления деталей

в машиностроении»

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технология сварки реакционных труб

Обучающийся

Н.С. Секерин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент К.В. Моторин

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

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярдова

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

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

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

Тольятти 2025

## **Аннотация**

Надежность всей конструкции реакционной трубы, которая имеет значительное количество стыковых сварных швов и приваренные элементы, в значительной степени определяется свойствами сварных швов и их способности противостоять длительному воздействию повышенных температур в условиях нагружения. Также необходимо учитывать, что приварные элементы становятся концентраторами напряжений и способствуют зарождению усталостных трещин. Поставленная цель – расширение технологических возможностей сварки при изготовлении реакционных труб.

Применяемая при реализации базовой технологии сварка неплавящимся электродом инертных газах характеризуется повышенной трудоемкостью и малой производительностью, что отрицательно сказывается на экономических показателях предприятия.

Исполнительский раздел содержит описание решения задач, постановка которых проведена в первом разделе. Проведенная экспертиза рассматриваемых способов сварки с применением технологических критериев обусловила применение в проектной технологии механизированной сварки в защитных газах, расширение технологических возможностей которой обеспечено применением разработок российских исследователей в области импульсного управления дугой и переносом электродного металла. Составленная технология позволила применить предлагаемые решения на рассматриваемом производственном участке.

Выполнение оценочного экономического раздела позволило заключить, что внедрение в производство предлагаемых решений позволяет повысить экономические показатели предприятия. Таким образом, поставленная цель может считаться достигнутой.

## Содержание

|                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение .....                                                                                                                    | 5  |
| 1 Современное состояние сварочных технологий при изготовлении<br>реакционных труб. ....                                           | 6  |
| 1.1 Сведения о конструкции рассматриваемого изделия и условий<br>работы. ....                                                     | 6  |
| 1.2 Сведения о материале для изготовления реакционных труб ....                                                                   | 11 |
| 1.3 Особенности базовой технологии сварки реакционных труб ....                                                                   | 14 |
| 1.4 Анализ содержания источников научно-технической<br>информации по вопросы сварки теплоустойчивых и жаропрочных<br>сталей. .... | 20 |
| 1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы ....                                                                     | 23 |
| 2 Построение проектной технологии сварки реакционных труб. ....                                                                   | 25 |
| 2.1 Обоснование выбора способа сварки для построения проектной<br>технологии. ....                                                | 25 |
| 2.2 Повышение эффективности сварки в защитных газах ....                                                                          | 30 |
| 2.3 Автоматизация сварочных операций. ....                                                                                        | 35 |
| 2.4 Операции проектного технологического процесса                                                                                 | 38 |
| 3 Промышленная безопасность производственного участка. ....                                                                       | 41 |
| 3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной<br>задачи ....                                                       | 41 |
| 3.2 Идентификация негативных производственных факторов. ....                                                                      | 43 |
| 3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов. ....                                                                      | 44 |
| 3.4 Пожарная безопасность производственного участка ....                                                                          | 46 |
| 3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного<br>участка. ....                                                     | 48 |
| 4 Экономическая эффективность предлагаемых технических<br>решений. ....                                                           | 50 |

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| 4.1 Исходные данные для экономического расчёта. ....            | 50 |
| 4.2 Фонд времени работы оборудования. ....                      | 52 |
| 4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства. . | 53 |
| 4.4 Заводская себестоимость. ....                               | 55 |
| 4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам. ....      | 61 |
| 4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей. ....       | 63 |
| Заключение . ....                                               | 65 |
| Список используемой литературы и используемых источников. ....  | 66 |

.

## Введение

Природный газ является не только теплоносителем, но и ценным сырьем для получения различных веществ, применение которых в современной промышленности постоянно увеличивается, например, высшие спирты, этиловый спирт, метанол, аммиак и водород. В настоящее время значительное количество аммиака, который используется для различных нужд, выполняется из природного газа. В производственной цепочке получения аммиака из природного газа значительная роль отводится трубчатым печам, в которых основным и наиболее нагруженным элементом являются реакционные трубы, работающие в условиях повышенных температур и давлений. Температура эксплуатации достигает 1000 °С, а давление 40 атмосфер. Работа материала в таких условиях сопровождается деградацией его структуры, а срок эксплуатации составляет порядка ста тысяч часов, после чего рабочий элемент приходит в негодность, а его дальнейшая эксплуатация сопряжена с риском аварийного разрушения.

К сварным швам при выполнении конструкций из теплоустойчивых сталей предъявляются повышенные требования по качеству и структурным составляющим, в результате чего проблемы свариваемости таких сталей до конца не решена. Надежность всей конструкции реакционной трубы, которая имеет значительное количество стыковых сварных швов и приваренные элементы, в значительной степени определяется свойствами сварных швов и их способности противостоять длительному воздействию повышенных температур в условиях нагружения. Также необходимо учитывать, что приварные элементы становятся концентраторами напряжений и способствуют зарождению усталостных трещин.

На основании вышеизложенного можно заключить о высокой актуальности выбранного направления исследования и поставленной цели выпускной квалификационной работы – расширение технологических возможностей сварки при изготовлении реакционных труб.

## **1 Современное состояние сварочных технологий при изготовлении реакционных труб**

### **1.1 Сведения о конструкции рассматриваемого изделия и условий работы**

Представленная на рисунке 1 реакционная труба представляет собой сварную конструкцию в виде плети длиной 14 метров и диаметром 125 мм. Основную часть реакционной трубы составляют трубные заготовки с условным проходом 101 мм, к которым с применением сварочных технологий прикреплены вспомогательные элементы. Трубные заготовки на схеме представлены позицией 5, их соединение выполняется стыковыми кольцевыми швами. С обеих сторон к трубе привариваются фланцы. С одной стороны приваривается нижний фланец с опорным элементом, который обозначен на схеме позицией 2. С другой стороны приваривается верхний фланец с крепежным элементом, который обозначен на схеме позицией 1. Также к трубным заготовкам приварены вспомогательные элементы – упоры и бобышки, которые обозначены на схеме позициями 6 и 4.

Трубные заготовки для выполнения линейной части реакционной трубы выполняются длиной 4500 мм и соединяются между собой в плеть, длина которой может составлять до 15000 мм в зависимости от назначения реакционной трубы и особенностей конструкции трубной печи. На рисунке 2 представлены заготовки для выполнения реакционных труб. При выполнении плети проводят расточку торцев трубных заготовок, выполняют на них фаски и сваривают. На рисунке 3 представлены плети после наращивания длины до необходимого значения. Далее к трубным плетям приваривают вспомогательные элементы – крепежные, упорные и бобышки.

При работе реакционной трубы происходит её неравномерный по длине разогрев. При этом температура конца трубы может кратковременно достигать 1100 °С.

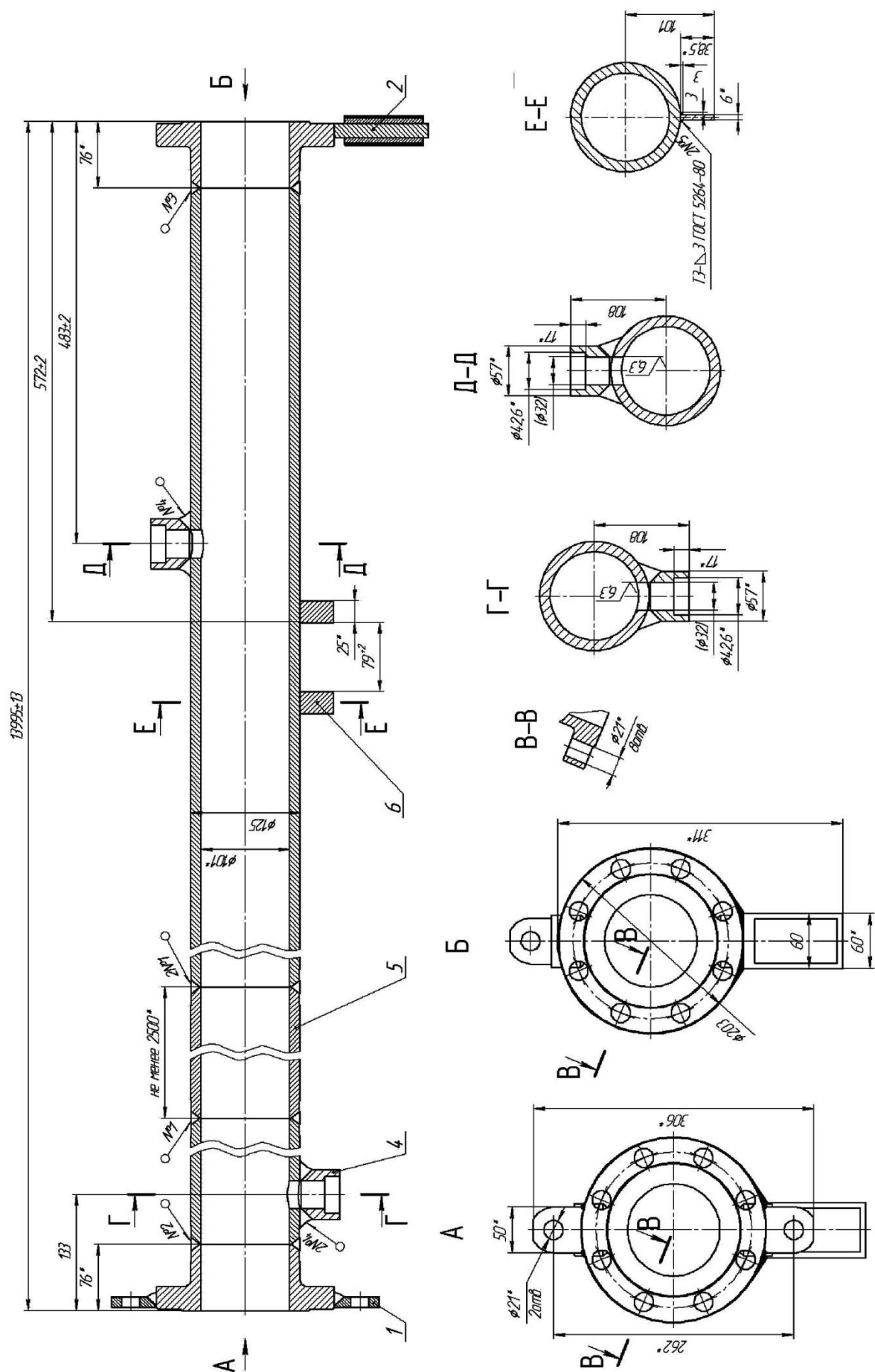


Рисунок 1 – Устройство реакционной трубы



Рисунок 2 – Заготовки для реакционных труб



Рисунок 3 – Нарощенные трубные плети для изготовления реакционных труб

Постоянная температура радиантной зоны печи составляет от 600 до 850 °С. Давление внутри трубы составляет от 2 до 7 атмосфер. Периодическая остановка работы печи, её остывание и повторный выход на разогрев приводят к дополнительному динамическому нагружению трубы.

Расчётный срок службы реакционной трубы составляет 105 часов, однако на практике в зависимости от условий эксплуатации и особенностей изготовления труб этот срок может быть увеличен на 50...100 %. В основном на ресурс трубы влияет состояние элементов вблизи топочной камеры. Элементы, которые удалены от топочной камеры (оголовки), нагреваются до меньших температур и изнашиваются менее интенсивно. Однако, как показала практика, при эксплуатации реакционной трубы может наблюдаться образование трещин в сварных швах вблизи оголовков по причине выполнения оголовка и штуцера из более дешевой и менее стойкой к перегреву стали. На рисунке 4 представлены опасные зоны, в которых

происходит образование трещин. Образование и рост трещин происходит со стороны внутренней поверхности реакционных труб. Образующаяся сетка трещин, обнаруживаемая при помощи эндоскопа, представлена на рисунке 5.

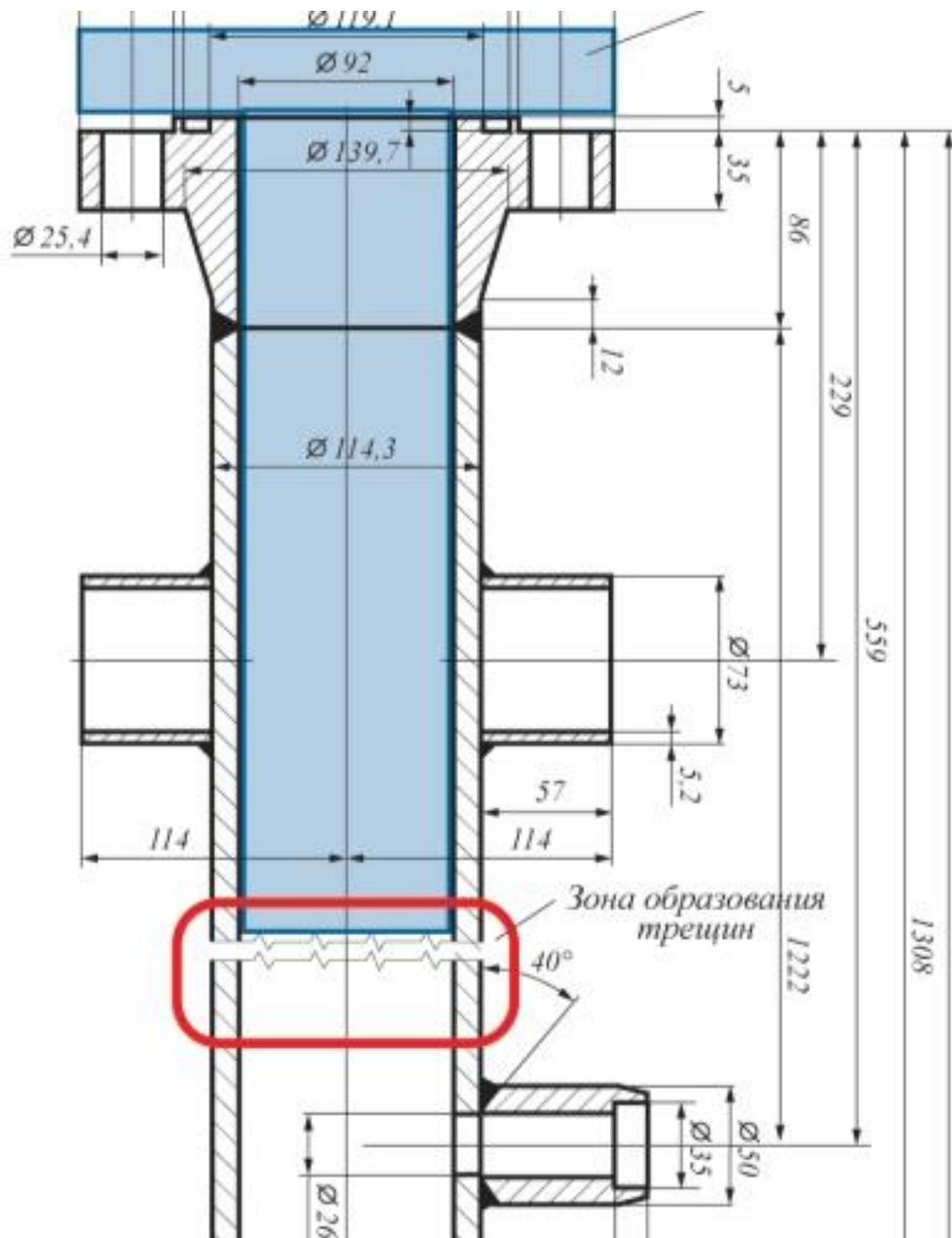


Рисунок 4 – Зоны с высокой вероятностью образования трещин вблизи оголовка реакционной трубы

После вырезки из дефектного участка образца был выполнен шлиф, представленный на рисунке 6. Установлено, что все трещины зарождаются со стороны внутренней поверхности трубы, при этом крупная трещина может иметь ответвления. Так как изменений в микроструктуре металла обнаружено не было, принято решение, что природа трещин не лежит в области высокотемпературной ползучести. Обнаруженные разрушения, представленные на рисунке 7, характерны, скорее, для механизма коррозионного растрескивания под напряжением. При этом радиальные трещины появляются по причине внутреннего давления в трубе, а поперечные трещины появляются по причине растягивающих напряжения под собственным весом трубы.



Рисунок 5 – Обнаруживающиеся трещины на внутренней поверхности оголовка реакционной трубы



Рисунок 6 – Образец из дефектного участка реакционной трубы

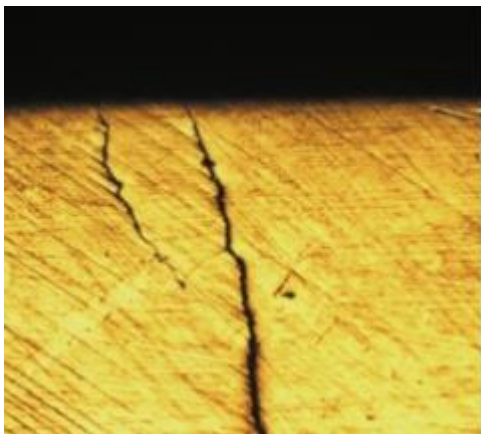


Рисунок 7 – Примеры трещин в реакционной трубе

При работе реакционной трубы на её поверхности происходит образование на внутренней поверхности оголовка отложений. По длине трубы в результате изменения температуры её нагрева происходит постоянное перемещение точки росы, в результате чего наблюдается конденсация на поверхности хлоридов, активно взаимодействующих с поверхностью элементов трубы. По этой причине оголовки трубы выполняется не из аустенитной стали 45Х25Н35БС, а из теплоустойчивой стали 15ХМ, которая не склонна к коррозионному растрескиванию. Аустенитные стали в своём большинстве не позволяют обеспечить требуемую стойкость против жидких агрессивных сред с высоким содержанием хлоридов при нагреве.

## 1.2 Сведения о материале для изготовления реакционных труб

На базе предприятия ООО «Реакционные трубы» налажено производство реакционных труб длиной 6 метров, толщина стенки которых оставляет от 9 до 12 мм. Для выполнения труб предложен состав аустенитной стали, который защищен патентом РФ. Выпускаемые реакционные трубы прошли апробацию и внедрены в технологический процесс на установках по производству аммиака ОАО «Тольяттиазот» и производства этанола ООО «Томет». Производительность установок при использовании предлагаемых труб увеличивается на 30 %, при этом повышаются экономические показатели

производства за счёт уменьшения расхода природного газа. Марка предлагаемого сплава 45X25H35BC. Содержание химических элементов представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в стали 45X25H35BC [21]

| C           | Si        | Mn      | Cr      | Nb        | Ni      | P       | S       |
|-------------|-----------|---------|---------|-----------|---------|---------|---------|
| 0,35...0,45 | 1,2...1,6 | 1...1,5 | 24...27 | 1,3...1,7 | 34...36 | до 0,03 | до 0,03 |

В состав предлагаемого сплава для изготовления реакционных труб входят такие элементы, как хром, никель, ниобий, церий, кремний, марганец, ванадий, титан, алюминий, вольфрам и железо. Достижение оптимальных характеристик происходит при количестве никеля, углерода, марганца и меди в количестве, определяемом как  $Ni+32C+0,6Mn+Cu$  в диапазоне от 40,08 до 46,87 процентов.

Также для достижения оптимальных характеристик сплава необходимо, чтобы хром, титан, ванадий, молибден, кремний и ниобий присутствовали в сплаве в суммарном количестве, определяемом как  $Cr+3Ti+V+Mo+1,6Si+0,6Nb$  в диапазоне от 21,32 до 26,39 процентов.

При испытаниях на длительную прочность подготавливали образцы согласно ГОСТ 10145 типа ДП-5, длина которых составляла 25 мм и диаметр рабочей части 5 мм. Температура проведения испытания на длительную прочность составляла 960 °С. На рисунке 8 представлена кривая длительной прочности исследуемого сплава. Установлено, что при разрыве образца площадь его поперечного сечения не уменьшается. Также не наблюдается удлинения образца до момента его разрушения.

По сравнению с известным сплавом 45X25H35BC предел длительной прочности исследуемых образцов выше на 26 %. Это позволяет повысить длительность гарантийного срока эксплуатации с 100 тысяч до 125 тысяч часов.

В таблице 2 представлены данные по результатам определения механических свойств сплава при температурах 20 °С и 960 °С. На основании

проведенного исследования предложено уменьшить толщину стенки реакционной трубы, что позволяет улучшить протекание процессов теплопередачи.

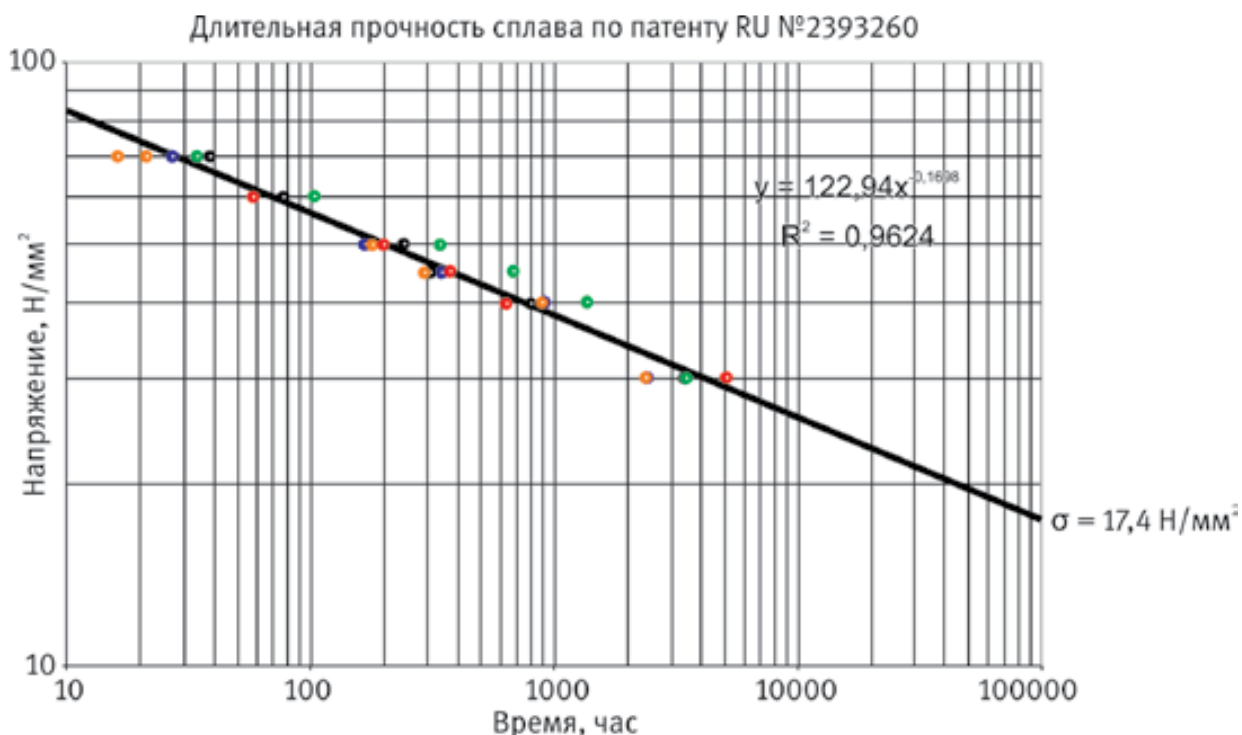


Рисунок 8 – Длительная прочность сплава ХН33БС

Таблица 2 – Механические свойства стали ХН33БС при различных температурах испытания

| Температура<br>испытания | $\sigma_B$        | $\sigma_{0,2}$    | $\delta$  | $\psi$    |
|--------------------------|-------------------|-------------------|-----------|-----------|
| °C                       | Н/мм <sup>2</sup> | Н/мм <sup>2</sup> | %         | %         |
| 20                       | 480-580           | 240-300           | 9,9-14,3  | 8,5-13,8  |
| 960                      | 110-128           | 105-119           | 18,0-21,5 | 29,0-39,0 |

Вырезали образцы для металлографического исследования из труб центробежного литья. Установлено, что во всех случаях структура сплава состоит из равноосных зерен твердого раствора «железо-хром-никель» и различных фаз, в которых наиболее распространена эвтектическая фаза пластинчатого строения «карбид-хром». За счёт высокого содержания в рассматриваемой стали хрома и никеля обеспечивается её высокая коррозионная стойкость и жаростойкость,.

Однако в сравнении с низкоуглеродистыми сталями и низколегированными сталями из-за высокой концентрации хрома и никеля возникают проблемы со свариваемостью. «Первой проблемой следует указать высокую опасность образования горячих трещин. Еще одной проблемой является охрупчивание металла и межкристаллитная коррозия сварного шва. Рассматриваемая сталь по сравнению с низкоуглеродистыми сталями имеет повышенный коэффициент линейного расширения и усадки при кристаллизации. В результате этого при выполнении сварных конструкций повышается уровень остаточных напряжений и деформаций. Нарушение техники сварки и несоблюдение задаваемых параметров режима сварки приводит к повышенному выгоранию легирующих элементов» [21] и усугублению описанных выше трудностей сварки рассматриваемой стали. Также трудностью является межкристаллитная коррозия, для снижения которой при сварке следует избегать перегрева металла, применяя режимы с повышенной скоростью сварки и принудительное охлаждение сварного шва. Поверхность металла сварного шва должна быть гладкой и не иметь резких переходов к основному металлу. Швы, которые обращены к агрессивной среде, должны быть сварены в заключительной очереди.

Эффективность сварки легированных сталей может быть повышена за счёт импульсного управления переносом электродного металла, при котором выгорание и тепловое воздействие на основной металл снижаются по сравнению с традиционными способами сварки. Также отмечается положительное влияние импульсного управления на структуру металла сварного шва и стойкость против горячих трещин.

### **1.3 Особенности базовой технологии сварки реакционных труб**

Сварку реакционных труб проводят с применением варки неплавящимся электродом в инертных газах и ручной дуговой сварки. Из плавильного отделения трубные заготовки поступают на участок механическую

механической обработки. С применением дробеструйной обработки выполняют очистку наружной поверхности трубы, применяя дробь из нержавеющей стали. Далее на гидравлическом прессе выполняют исправление криволинейности заготовок, после чего проводят их пневматическое испытание под внутренним давлением 5 атмосфер. Подготовку фасок труб проводят с применением фаскосъемного автомата ВМ-21.

Сварка труб в единую плетть выполняется с применением представленной на рисунке 9 системы орбитальной сварки А-22 и источника питания Protig 450. Сварка трубной плети и фланцев выполняется с «применением ручной аргонодуговой сварки неплавящимся электродом в инертных газах с применением представленной на рисунке 10 системы AristoTig 4000i и ручной дуговой сварки с применением представленного на рисунке 11 источника AristoArc 400.

При выполнении сварного шва № 1, который представляет собой стыковой шов трубных заготовок, применяется автоматическая сварка неплавящимся электродом в инертных газах. На рисунке 12-а представлена форма разделки кромок, на рисунке 12-б представлена форма сварного шва. При выполнении сварного шва № 2, который представляет собой кольцевой шов» [17] на стыке трубной плети и оголовка, применяется ручная сварка неплавящимся электродом в инертных газах для корневого слоя шва и ручная дуговая сварка для заполнения разделки. На рисунке 13-а представлена форма разделки кромок, на рисунке 13-б представлена форма сварного шва.

При выполнении сварного шва № 3, который представляет собой кольцевой шов на стыке трубной плети и нижнего фланца, применяется ручная сварка неплавящимся электродом в инертных газах для корневого слоя шва и ручная дуговая сварка для заполнения разделки. На рисунке 12-а представлена форма разделки кромок, на рисунке 12-б представлена форма сварного шва. При выполнении сварного шва № 4, который представляет собой замкнутый шов по сложной траектории стыка бобышки и трубной плети применяется ручная сварка неплавящимся электродом в инертных газах.



Рисунок 9 – Система орбитальной сварки А-22 с источником питания Protig 450



Рисунок 10 – Система для сварки неплавящимся электродом Aristo Tig 4000i



Рисунок 11 – Источник питания для ручной дуговой сварки AristoArc 400

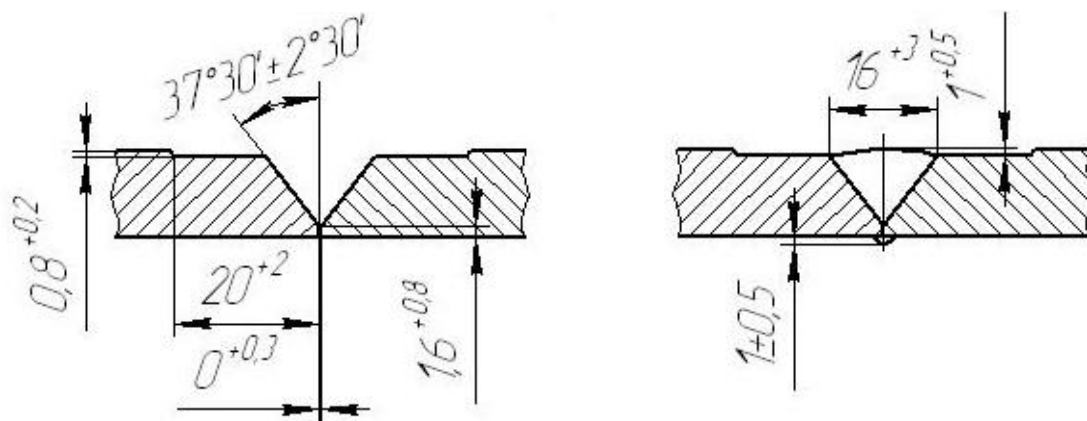


Рисунок 12 – Подготовка кромок и форма сварного шва при выполнении стыкового кольцевого шва № 1

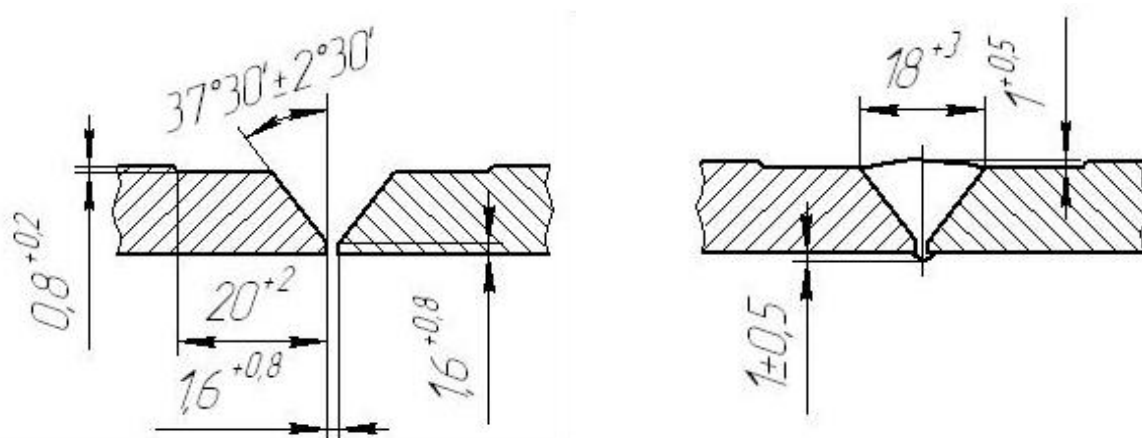


Рисунок 13 – Подготовка кромок и форма сварного шва при выполнении стыкового кольцевого шва № 2 и шва № 3

«Для сборки применяется специальный стенд, применение приспособлений, привариваемых к деталям, запрещено. Если сварной шов выполняется с присадкой, то сборка проводится с зазором от 0,5 до 1,5 мм» [17]. Если сварной шов выполняется без присадки, то сборка проводится с нулевым зазором, который составляет от 0 до 0,5 мм. При стыковке трубных заготовок допускается смещение кромок не более 0,5 мм. Кривизна заготовок допускается не более 1 мм на 400 мм, что проверяется прикладыванием в месте стыка металлической линейки и проверкой зазора по трем точкам, равномерно разнесенным по окружности стыка. Разница во внутреннем диаметре стыкуемых элементов должна составлять не более 1 мм, в противном случае

выполняют проточку стенки элемента с внутренней стороны при условии, что толщина стенки не выйдет за пределы минимально допустимых значений.

Длина прихватки при сборке составляет 10...15 мм, количество прихваток составляет три штуки, прихватки должны быть равномерно разнесены по периметру стыка. Требования к качеству прихваток такие же, как и к корневому слою шва, проверку качества выполнения прихваток проводят визуально.

«Сварку корневого слоя шва проводят с применением ручной аргонодуговой сварки неплавящимся электродом с поддувом аргона внутрь трубы. Для того, чтобы уменьшить расход аргона на поддув, внутри трубы устанавливают заглушку из картона на расстоянии 50...100 мм от свариваемого стыка» [17].

Перед выполнением сварки присадочную проволоку следует промыть в ацетоне. При сварке каждый последующих проход следует выполнять при температуре предыдущего слоя не выше 100 °С после его тщательной очистки.

Сварку следует вести на минимальной длине дуги, поперечные колебания не применяются. Это позволяет уменьшить опасность образования горячих трещин. При выполнении автоматической сварки следует назначать параметры режима, обеспечивающие минимальную скорость сварки и количество проходов. Кратеры следует тщательно заплавлять, не допускается зажигание и гашение сварочной дуги на основном металле трубы.

При сварке подачу аргона в полость трубы проводят за 2 минуты до начала сварки. Расход аргона на поддув составляет 5...7 литров в минуту. Расход аргона через горелку составляет 8...10 литров в минуту. Подачу аргона в сварочную горелку прекращают через 5...8 секунд после обрыва дуги.

При сварке кольцевых швов элементов из одноименной стали (нижний фланец и трубная плеть, трубные заготовки плети) для выполнения корневого слоя шва применяется вольфрамовый электрод ЭВТ-15 диаметром 2 мм. Сила сварочного тока устанавливается в диапазоне 90...120 ампер при напряжении на дуге 10...11 вольт. Скорость сварки составляет 100...110 мм в минуту. В

качестве присадки применяется проволока состава 5Х25Н35БС диаметром 2,4 мм. При сварке предварительный подогрев не применяется.

При сварке кольцевых швов элементов разноименной стали (оголовок и трубная плеть) для выполнения корневого слоя шва применяется вольфрамовый электрод ЭВТ-15 диаметром 2 мм. Сила сварочного тока устанавливается в диапазоне 100...110 ампер при напряжении на дуге 10...11 вольт. Скорость сварки составляет 70...80 мм в минуту. В качестве присадки применяется проволока состава 5Х25Н35БС диаметром 2,4 мм. При сварке температура предварительного подогрева составляет 150 °С.

При выполнении корневого слоя сварного шва следует обеспечить получение сварного шва с равномерной толщиной, усиление шва составляет от 0,5 до 1,5 мм. Также следует обеспечить плавный переход от наплавленного металла к основному металлу. Состояние обратной стороны корневого слоя шва проверяется при помощи эндоскопа. Исправление дефектов формы корневого слоя шва выполняется при помощи шлифовки, при этом не допускается повреждение поверхности внутренней стенки трубы.

При заполнении разделки применяется ручная дуговая сварка. Сварка ведется в два слоя. При сварке элементов из одноименной стали (нижний фланец и трубная плеть, трубные заготовки плети) применяются электроды КТИ-7 диаметром 3 мм. При сварке элементов разноименной стали (оголовок и трубная плеть) применяются электроды ЦТ-28 диаметром 3 мм. Сварку ведут на постоянном токе 105...110 ампер.

Качество сварки обеспечивается применением следующих методик контроля: пооперационный контроль, визуальный и измерительный контроль, цветная дефектоскопия, механические испытания, радиографический контроль, металлографический контроль, гидравлические испытания.

При визуальном и измерительном контроле проверяется внешний вид и геометрия сварного шва. Усиление корня с внутренней стороны трубы должно составлять 0,5...1,5 мм. Усиление с наружной стороны трубы должно

составлять 0,5...2,5 мм. Не допускается наличие трещин, свищей, пористости, незаваренных кратеров, подрезов и наплывов металла.

При радиографическом контроле проверяется наличие внутренних дефектов. Не допускаются непровары, свищи и групповая пористость. «Шлаковые включения должны быть глубиной не более 10 % толщины стенки трубы при длине до 25 % от толщины стенки трубы. На один стык допускается наличие не более пяти дефектов разрешенного размера. Не допускается наличие цепочек пор и шлаковых включений с суммарной длиной более одной толщины стенки трубы на участке сварного шва длиной десять толщин стенки трубы» [17]. Не допускаются поры размером более 1,5 мм.

При гидравлических испытаниях выдерживание пробного давления 10 минут. При этом не допускается снижение давления, течи и потение стенки, признаки разрыва и остаточной деформации конструкции.

#### **1.4 Анализ содержания источников научно-технической информации по вопросы сварки теплоустойчивых и жаропрочных сталей**

При выполнении поиска и анализа источников научно-технической информации проведены литературные изыскания в области расширения технологических возможностей сварки и диагностики состояния реакционных труб и теплоэнергетического оборудования в целом. Для поиска предлагается применить поисковые системы, работающие в сети ИНТЕРНЕТ. Особое внимание следует уделить базам знаний, таким как «Киберленинка», «Диссеркат», «Е-лайб্রери» и «ПатонПабlish». В базе «Диссеркат» имеется информация по диссертациям, которые были защищены по техническим наукам, в ней в открытом доступе могут быть найдены сами диссертации или авторефераты диссертаций. В случае, если автореферат или диссертация в базе отсутствуют, там будет выложена актуальность, методика и результаты исследования, а также полный список библиографических источников,

который может быть использован в дальнейшей работе. В базе «Киберленинка» выложены в открытом доступе статьи в журналах и сборниках, система поиска позволяет найти и отфильтровать результаты. В базе «Е-лайбрери» выложена информация о научных работниках, их публикациях, есть возможность получить бесплатно или заказать за деньги тексты статей, описания патентов на изобретения.

В первом источнике [2] на базе предприятия ООО «Реакционные трубы» с применением предлагаемых технологических решений налажено производство реакционных труб длиной 6 метров, толщина стенки которых оставляет от 9 до 12 мм. Для выполнения труб предложен состав аустенитной стали, который защищен патентом РФ. Выпускаемые реакционные трубы прошли апробацию и внедрены в технологический процесс на установках по производству аммиака ОАО «Тольяттиазот» и производства этанола ООО «Томет». Производительность установок при использовании предлагаемых труб увеличивается на 30 %, при этом повышаются экономические показатели производства за счёт уменьшения расхода природного газа. «Материал данной работы будет использован для обоснования выбора стали при изготовлении рассматриваемой конструкции и особенностей сварки теплоустойчивых сталей» [2].

Во втором источнике [5] «описываются результаты исследований по повышению эффективности ручной дуговой сварки при изготовлении конструкций из теплоустойчивых сталей. Результаты этой работы будут использованы при анализе базовой технологии сварки реакционных труб и для обоснования выбора способа сварки при составлении проектной технологии сварки реакционных труб» [5].

В третьем источнике научно-технической информации [8] исследования позволяют предложить методику численного определения механических свойств длительно эксплуатируемого реакционного оборудования. Установлено, что наиболее сильное изменение структуры и состава металла наблюдается на внутренней поверхности аппаратов, которая в большей

степени подвергается действию негативных факторов при эксплуатации. При этом в процессе эксплуатации происходит изменение вязкости металла с внутренней и внешней стороны элемента оборудования. С внутренней стороны исследуемых участков значение ударной вязкости ниже, чем значение ударной вязкости с наружной стороны. Также установлено отрицательное влияние концентраторов напряжений и особенностей конструкции, так в месте приварки штуцеров наблюдается значительная концентрация напряжений, уровень напряжений превышает на 15 МПа средний уровень напряжений в конструкции. Наличие неравномерности в напряженном состоянии конструкции отрицательно сказывается на её ресурсе. Результаты этой работы позволяют обосновать актуальность проводимого исследования и сформулировать проблематику выпускной квалификационной работы.

В четвертом источнике научно-технической информации [17] показаны особенности изменения микроструктуры теплоустойчивых сталей в ходе длительной эксплуатации при повышенных температурах. Установлено, что изменение механических свойств стали может быть оценено по размерам зерен карбидной составляющей, что доступно для существующих средств измерения предприятия и может быть выполнено в условиях цеха. Для оценки степени деградации материала предлагается ввести шкалу, по которой по размеру зерен карбидной составляющей может быть оценена прочность и остаточный ресурс конструкции. Результаты этой работы позволяют обосновать актуальность проводимого исследования и сформулировать проблематику выпускной квалификационной работы.

В пятом источнике научно-технической информации [9] показано, что применение защитной смеси «углекислый газ + аргон» при выполнении автоматической сварки в защитных газах конструкций из теплоустойчивых сталей позволяет по сравнению со сваркой в чистом углекислом газе существенно повысить эксплуатационные свойства сварных швов. При этом за счёт применения дополнительной присадочной проволоки удается

уменьшить перегрев основного металла и улучшить структуру сварных швов. По сравнению с ручной дуговой сваркой полученные швы характеризуются повышенной стойкостью против температурной ползучести. «Результаты этой работы будут использованы для обоснования актуальности проводимых исследований и обоснования выбора способа сварки. Также данная работы будет использована для составления проектной технологии сварки реакционных труб, так как показала высокую эффективность автоматической сварки в защитных газах при изготовлении конструкций из теплоустойчивых сталей» [9].

### **1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы**

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности сварки реакционных труб из коррозионных жаропрочных и теплоустойчивых сталей. В ходе подготовки введения обоснована актуальность выбранного направления исследования.

Базовая технология сварки предусматривает при применении сварки неплавящимся электродом в инертных газах. Этот способ характеризуется повышенной трудоемкостью и малой производительностью, что отрицательно сказывается на экономических показателях предприятия. На основании анализа источников научно-технической информации по вопросу расширения технологических возможностей и повышения эффективности сварки конструкций из жаропрочных и теплоустойчивых сталей построения проектной технологии могут быть рекомендованы следующие способы сварки, эффективность которых доказана многочисленными исследованиями и внедрением на производстве при выполнении аналогичных задач: «аргонодуговая сварка неплавящимся электродом, механизированная сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, сварка сжатой дугой, сварка под слоем флюса» [14].

Правильная постановка задач на разработку исполнительского раздела позволяет обеспечить высокий уровень технических решений, применяемых для достижения поставленной цели. В процессе решения первой задачи предусматривается экспертиза доступных для реализации применительно к рассматриваемому изделию способов сварки с использованием найденных в литературе технологических критериев, в ходе которой ожидается получить обоснование выбора способа для применения в проектной технологии. При решении второй задачи предусматривается повышение эффективности применяемых для изготовления рассматриваемого изделия сварочных процессов, для чего предлагается основной упор сделать на современные достижения российской сварочной науки. При решении третьей задачи предстоит составить перечень операций, выполняемых в ходе реализации проектного технологического процесса, для которых следует назначить оптимальные параметры режима, оборудование и условия выполнения..

В ходе работы над оценочными разделами предстоит выполнить идентификацию негативных факторов, возникновение и действие которых на персонал предприятия возможно при работе на проектируемом производственном участке. Также следует рассмотреть вопросы обеспечения экологической и пожарной безопасности рассматриваемого производственного участка [11], [13]. Далее предстоит выполнить расчёт экономических показателей, характеризующих реализацию базового и проектного технологических процессов, после чего на основании их сравнительного анализа необходимо сделать вывод об эффективности внедрения в производство предлагаемых решений [3], [6]. Далее на основании результатов проделанных работ, рассмотренных вопросов промышленной безопасности и экономической эффективности предстоит сформулировать заключение, в котором следует показать факт достижения поставленной цели и обозначить направление дальнейших исследований.

## 2 Построение проектной технологии сварки реакционных труб

### 2.1 Обоснование выбора способа сварки для построения проектной технологии

Для построения проектной технологии сварки реакционных труб следует рассмотреть альтернативные способы, применение которых возможно при изготовлении рассматриваемой конструкции и оценить эффективность их применения с выставлением экспертной оценки по технологическим критериям.

Ручная дуговая сварка, которая применена в базовой технологии и выполняется по представленной на рисунке 14 схеме, является одним из самых универсальных способов. Оборудование для ручной дуговой сварки в достаточном количестве присутствует на предприятиях, а сам процесс не требует значительной подготовки для проведения сварки, что позволяет приступать к выполнению работ практически незамедлительно. Однако из-за неустранимых недостатков ручной дуговой сварки её доля в промышленности неуклонно снижается, на что указывает ряд аналитиков [14], [15]. Главным недостатком ручной дуговой сварки является существенная зависимость качества от квалификации сварщика. Также следует указать на низкую производительность из-за необходимости исправлять существенное количество возникающих при сварке дефектов.

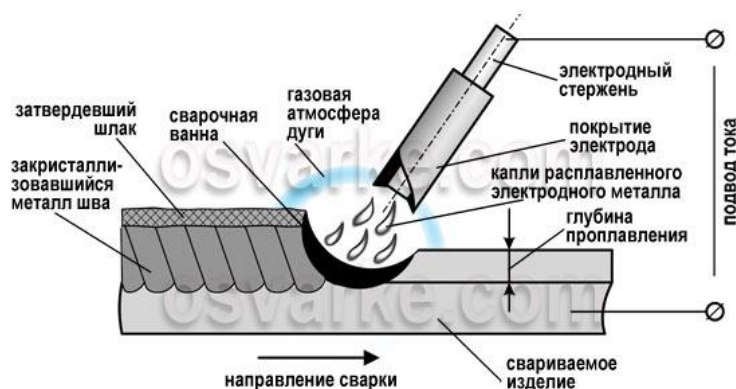


Рисунок 14 – Схема выполнения ручной дуговой сварки

Из рассматриваемых в настоящей выпускной квалификационной работе способов сварки следует признать самую высокую производительность за сваркой под флюсом, схема которой представлена на рисунке 15. При построении технологических процессов следует принимать во внимание, что автоматическая сварка под флюсом по сравнению с ручной дуговой сваркой позволяет существенно улучшить условия труда, так как сварочная дуга горит под слоем флюса, что частично решает проблему вредного излучения и сварочного аэрозоля. Кроме того, сварка под флюсом позволяет получать соединения стабильно высокого качества. Первым недостатком является повышение требований к сборке стыка, так как расплавленный металл и шлак при сварке под флюсом обладают повышенной текучестью, в результате чего возможно затекание металла в зазор между деталями. Кроме того, при сварке под флюсом повышается опасность образования напоров, пор и шлаковых включений. Также следует принимать во внимание сложность удержания флюса на поверхности труб, стык которых может иметь различное пространственное положение.

Одним из эффективных способов сварки конструкций из аустенитных сталей является сварка неплавящимся электродом в инертном газе. Схема выполнения этого способа представлена на рисунке 16. Данный способ сварки обеспечивает самое высокое качество сварки из всех рассматриваемых альтернативных способов и обладает необходимой универсальностью.

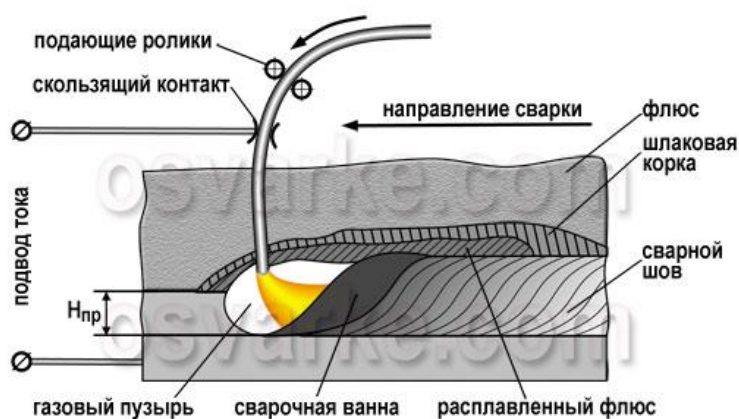


Рисунок 15 – Схема выполнения сварки под флюсом



Рисунок 16 – Схема сварки неплавящимся электродом

Производительность сварки неплавящимся электродом среди рассматриваемых способов сварки самая минимальная, поэтому данный способ варки при реализации базовой технологии применен для выполнения корневого слоя, а заполнение разделки ведется более производительным способом.

Применение сварки сжатой дугой, схема которой представлена на рисунке 17, позволяет повысить показатели технологии по сравнению со сваркой неплавящимся электродом. Применение сжатой дуги как источника нагрева при сварке и раскрывает дополнительные возможности при организации производства. Первым преимуществом плазменной сварки является высокая энергоэффективность процесса, осуществление которого требует в несколько раз меньших затрат энергии, чем при сварке свободно горячей дугой. Вторым преимуществом является экономичность способа, так как расход защитного газа при плазменных процессах меньше, чем при аналогичных процессах при свободно горячей дуге. Также следует указать на значительно меньшее тепловое воздействие на основной металл, что сопровождается уменьшением размеров зоны термического влияния и разупрочнения. Главным недостатком плазменной сварки является недостаточный опыт её применения в производстве. Промышленные предприятия не накопили в должной мере необходимого оборудования.

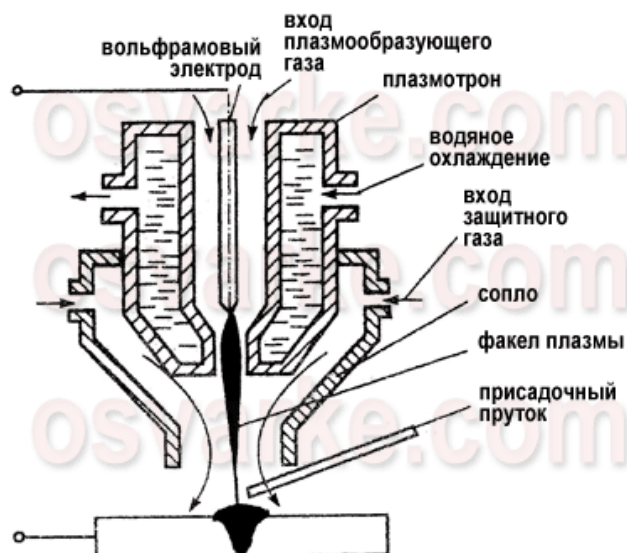


Рисунок 17 – Схема выполнения плазменной сварки

По сравнению со сваркой неплавящимся электродом сварка проволокой сплошного сечения в защитных газах позволяет увеличить производительность до трех раз. Схема выполнения способа представлена на рисунке 18. При сварке в защитных газах отсутствует необходимость замены электрода и очистки поверхности шва от шлака, производительность и качество сварки повышается. Также следует указать на улучшение условия труда сварщика при механизированной сварке в защитных газах, так как состав сварочного аэрозоля в этом случае менее вреден, чем при ручной дуговой сварке.

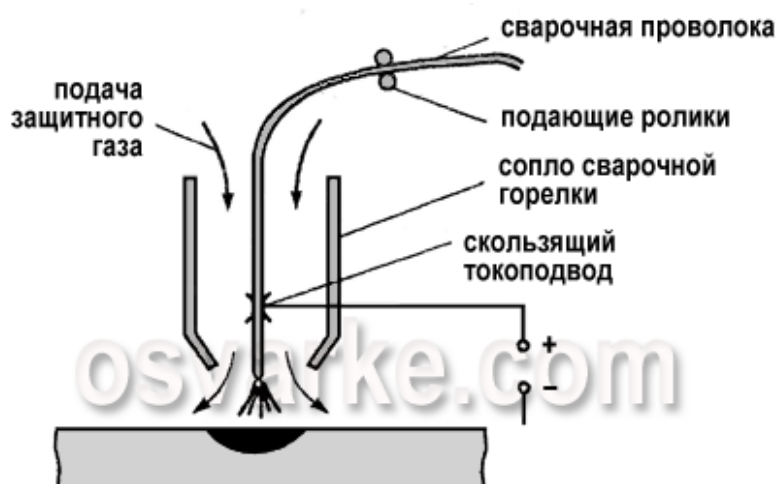


Рисунок 18 – Схема сварки плавящимся электродом в защитных газах

Первым существенным недостатком является сложность изготовления легированной проволоки сплошного сечения, поэтому на рынке присутствует ограниченное количество разновидностей проволоки, при этом проволока для сварки специальных сталей, которая требует применения оригинального легирования, будет иметь намного большую стоимость. Вторым недостатком является значительное разбрызгивание, в результате которого страдает внешний вид изделия и ухудшается его коррозионная стойкость. Третьим недостатком является излишняя вязкость металла сварочной ванны, в результате чего повышается опасность образования трещин и пор в результате недостаточной скорости выделения растворенных в расплавленном металле газов.

Таким образом, представленные выше способы сварки должны быть оценены с применением технологических критериев. Первым критерием выступает стоимость и сложность оборудования. Вторым критерием является качество сварного шва. Третьим критерием выступает производительность способа.

При выполнении «экспертной оценки рассматриваемых способов сварки самым уравновешенным следует признать сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения, применение которой позволяет в должной степени повысить производительность процесса по сравнению со сваркой неплавящимся электродом и качество сварного шва по сравнению с ручной дуговой сваркой. Также сварка в защитных газах более универсальна по сравнению со сваркой под флюсом и требует меньших капитальных затрат по сравнению со сваркой сжатой дугой.

Таким образом, дальнейшие работы следует сосредоточить в области повышения эффективности сварки в защитных газах и построения технологии сварки рассматриваемых реакционных труб. При реализации проектной технологии следует применить достижения в области управления сварочными процессами» [14], позволяющие уменьшить разбрызгивание и улучшить формирование сварного шва.

## 2.2 Повышение эффективности сварки в защитных газах

Существенного повышения эффективности сварки в защитных газах удается достичь при внедрении алгоритмов импульсного управления горением сварочной дуги и переносом электродного металла. Применение импульсной дуги было предложено в середине прошлого века, модернизация источников питания за счёт применения высокопроизводительных силовых полупроводниковых элементов позволило реализовать предлагаемый принцип импульсного управления, а алгоритмы управления продолжают совершенствоваться. В России и странах бывшего СССР проблемой сварки с импульсным управлением занимались такие ученые, как Б.Е. Патон, И.И. Заруба, А.Г. Потапьевский, Д.А. Дудко, Н.Г. Дюргеров и многие другие достойные представители сварочного науки. Значительного прогресса удалось достичь начиная с конца прошлого века, когда фирмой Lincoln Electric был предложен инверторный источник питания, позволяющий реализовать алгоритм управления переносом электродного металла, существенно расширяющий возможности сварки в защитных газах.

При управлении сварочными процессами возможна реализация трех принципиально отличающихся алгоритмов.

Первым является применение механического воздействия на электродную проволоку и перенос металла в сварочную ванну в ходе различных стадий горения сварочной дуги [12], [19]. Реализация алгоритмов управления перемещением сварочной проволоки предусматривает применение модернизированных механизмов подачи проволоки, что несколько усложняет механическую часть сварочного оборудования, но существенно проще осуществляется, чем импульсное управление электрическими параметрами.

Второй группой алгоритмов управления является изменение электрических параметров процесса горения дуги с учётом особенностей прохождения этапов переноса электродного металла [7], [10], [20]. Реализация

таких алгоритмов предполагает модернизацию источников питания или применение принципиально новых источников питания. В России ведутся интенсивные разработки в области импульсного управления сварочными процессами, позволяющие повысить эффективность уже имеющегося на предприятии сварочного оборудования за счёт дооснащения его формирователями импульса сварочного тока [10].

Третья группа алгоритмов предусматривает импульсное изменение протекания потока защитного газа, позволяющее управлять переносом капель расплавленного металла [23].

Применение алгоритмов импульсного управления горением сварочной дуги позволяет существенно уменьшить размер кристаллитов металла, что улучшает механические и эксплуатационные свойства сварных соединений. Кроме того, при реализации импульсного управления горением сварочной дуги удастся успешно бороться с разбрызгиванием и выгоранием электродного металла, что существенно улучшает внешний вид сварной конструкции и уменьшает трудоемкость её изготовления. Достижимая повышенная проплавляющая способность дуги упрощает проведение работ при сварке в узкую разделку.

Как показала многолетняя успешная практика применения алгоритмов импульсного управления сварочной дугой, характер переноса электродного металла при сварке оказывает значительное влияние на процесс формирования сварного соединения и в конечном счете определяет его качество. На рисунке 19 представлены типы переноса электродного металла при сварке в зависимости от параметров режима. Особый интерес представляет импульсная дуговая сварка, позволяющая реализовать самые прогрессивные алгоритмы управления [22]. На рисунке 20 представлена кинограмма процесса сварки с импульсным управлением, полученная исследователями [4] применительно к случаю механизированной сварки в углекислом газе проволокой сплошного сечения.

Импульсный характер горения дуги и переноса электродного металла позволяет уменьшить зону термического влияния и потери металла на разбрызгивание за счёт оптимизации теплового баланса при сварке. Ударное воздействие на поверхность сварочной ванны позволяет уменьшить содержание растворенных в расплавленном металле газов и улучшить формирование обратного валика сварного шва.

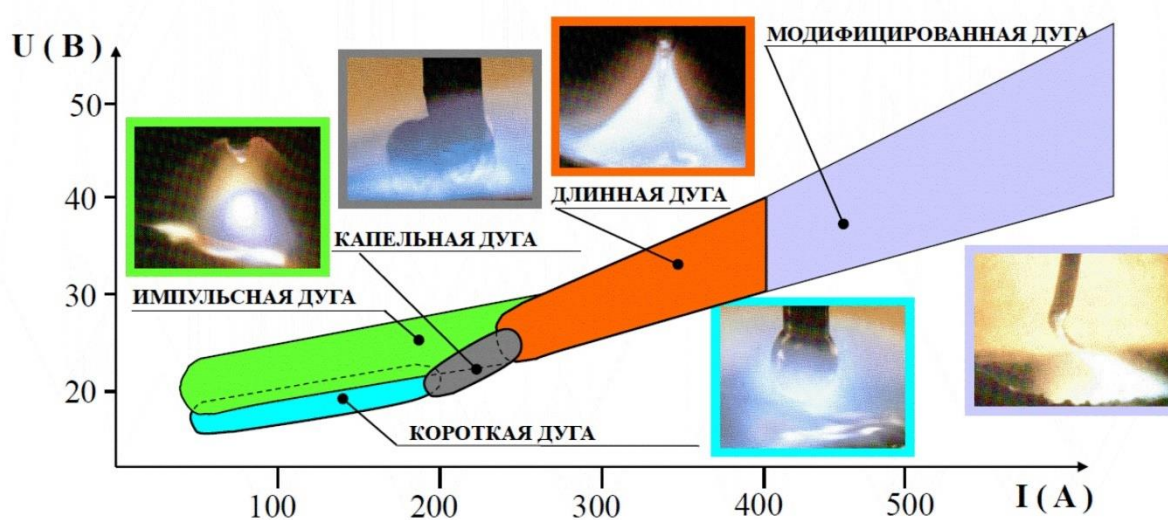


Рисунок 19 – Типы переноса электродного металла в зависимости от параметров режима сварки

На рисунке 21 представлена функциональная схема модернизированного сварочного источника в соответствии с разработками российских исследователей. «Блок управления, обозначенный на схеме позицией 16, управляет работой силовых тиристоров, которые обозначены на схеме позициями 2 и 3 (первый блок силовых тиристоров), 5 и 6 (второй блок силовых тиристоров). Подключение сварочного выпрямителя 1 к проволоке 9 и изделию выполняется через схему импульсного управления и сглаживающий дроссель, обозначенный на функциональной схеме позицией 4. Положительный полюс источника питания 1 подключен к силовым тиристорам 2 и 3 анодной группы. Отрицательный полюс источника питания 1 подключен к силовым тиристорам 5 и 6 катодной группы через коммутирующий дроссель, обозначенный на схеме позицией 7» [22].

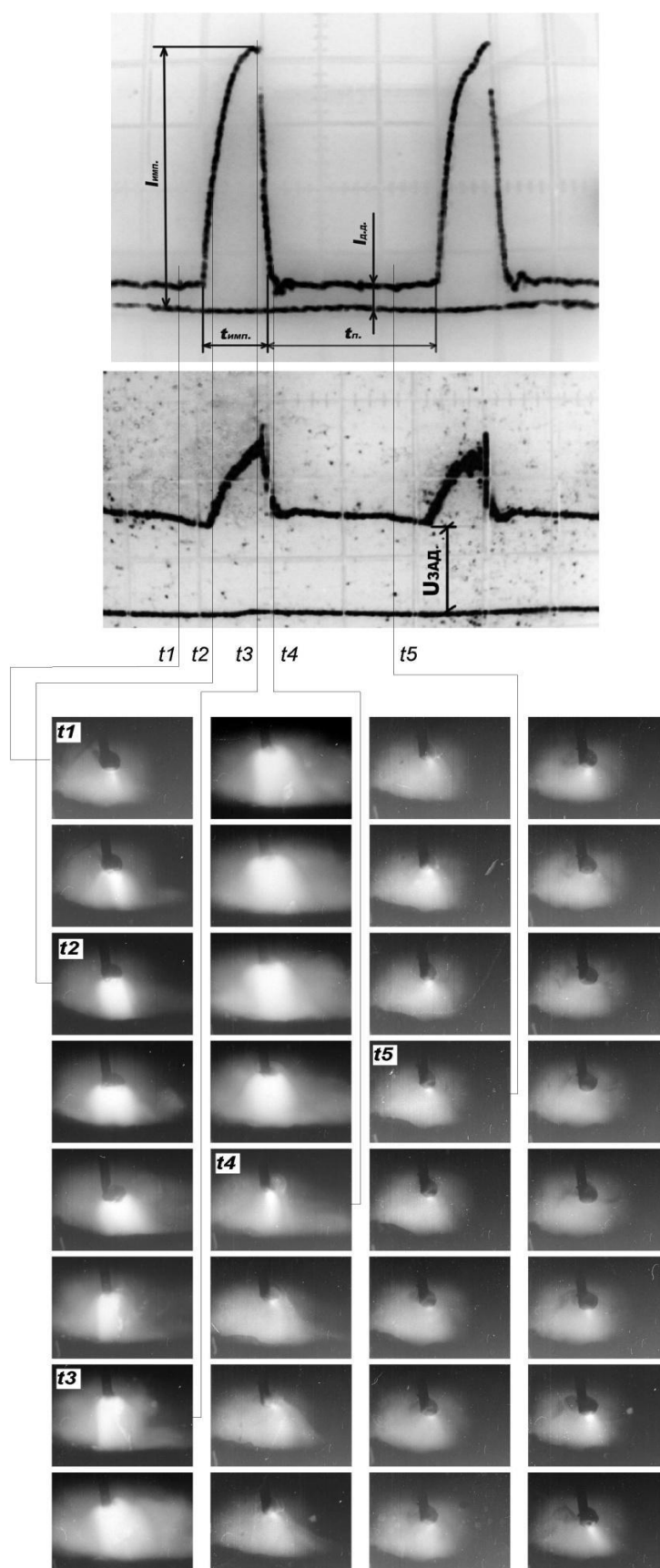


Рисунок 20 – Кинограмма переноса электродного металла при импульсной сварке в углекислом газе



## 2.3 Автоматизация сварочных операций

Повышение производительности операций сборки и сварки предлагается достигать за счёт применения разработанных российскими исследователями сборочного приспособления и сварочной головки. На рисунке 22 представлена сварочная головка, работа которой подробно изложена в описании к изобретению [1].

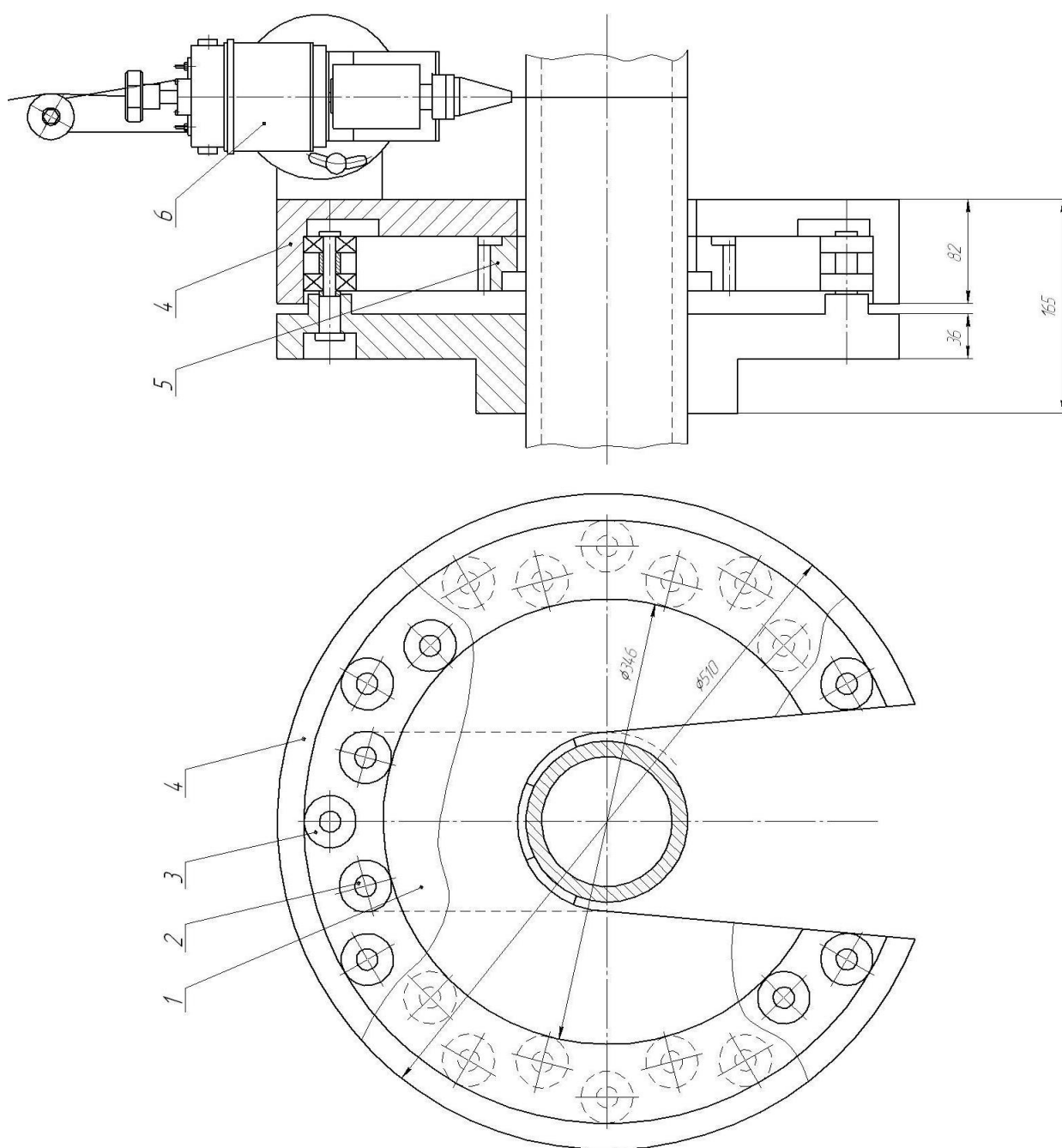


Рисунок 21 – Предлагаемое устройство для автоматизации сварки труб

Корпус, лежащий в основе устройства, на функциональной схеме обозначен позицией 1 и на нем закреплены все составляющие устройства. Подшипники качения, обозначенные на функциональной схеме позициями 3, попарно установлены на оси 2, зафиксированные в отверстиях корпуса 1. Корпус 1 надежно фиксируется на трубе посредством зажимного приспособления в процессе сварки сохраняет неподвижность. На подшипниках 3 крепится планшайба 4, приводимая в движение шестерней 5. Сварочная горелка 6 закрепляется на планшайбе 4 и за счёт её вращения относительно оси свариваемых труб имеет возможность перемещения относительно стыка с заданной точностью. Конструкция вращателя позволяет устанавливать его на свариваемые трубы и перемещать сварочную горелку относительно стыка труб с заданной точностью и скоростью.

Для сборки труб предлагается представленный на рисунке 22 центратор, разработанный российскими исследователями, подробно работа которого представлена в описании к изобретению [18]. Рассматриваемый центратор относится к многокулачковым и обеспечивает высокую точность и производительность при сборке стыков толстостенных труб.

Наружный образован «секторами 1 и 2 с центрирующими приводными кулачками 3. Кулачки 3 закреплены на штоках силовых цилиндров 4. Цилиндры установлены на ребрах 5 секторов 1 и 2. На секторах 1, 2 в зоне стыков секторов 1, 2 выполнены выступы 6, 7, на торце одного из которых выполнен зуб, а на другом паз. В выступах 6 и 7 установлены подвижные опоры 8 (в данном случае сферические) с лысками. На опоры надеваются стягивающие рамки 9. Рамки 9 имеют с одной стороны отверстия, в которые входят откидные болты 10, установленные на осях 11 в вилках 12, закрепленных на секторах 1, 2. С другой стороны рамки 9 имеют пазы под откидные болты 10, снабженные гайками 13. Наклонными поверхностями 14 рамки 9 контактируют с лысками опор 8» [18].

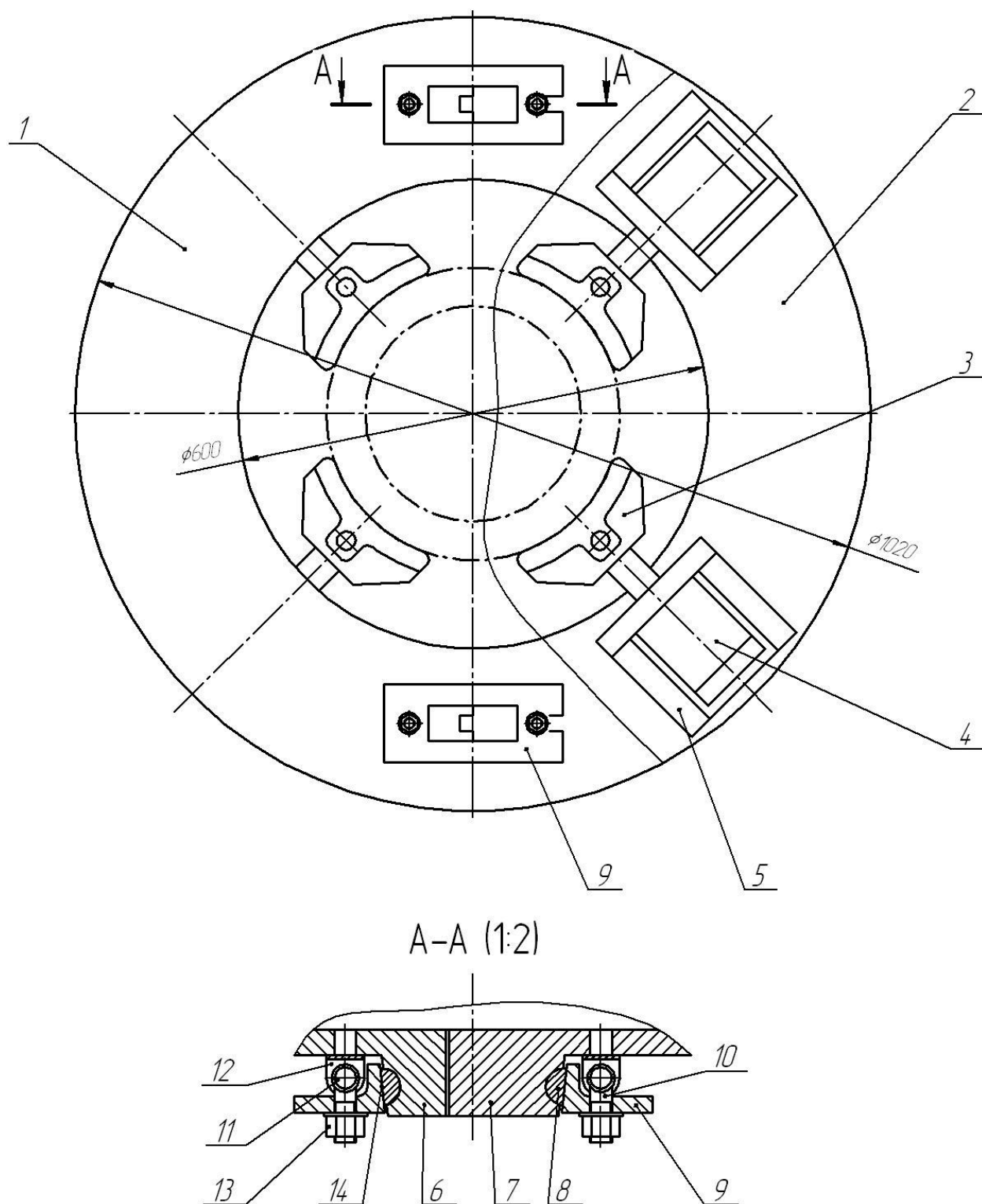


Рисунок 22 – Центратор для сборки стыков толстостенных труб

Порядок работы с центратором следующий. «При разведенных секторах 1 и 2 центратор устанавливается на трубопровод в районе свариваемого стыка. Сектора 1, 2 сводятся. Рамки 9 с откидными болтами 10 поворачивают на осях 11 в вилках 12 до контакта наклонными поверхностями 14 с лысками опор 8.

Откидные болты 10 вводятся в пазы 9. Гайками 13 проводят натяжку рамки 9 на опоры 8, обеспечивая фиксацию стыка секторов 1 и 2. При этом происходит самоустановка опор 8 и контакт с поверхностями 14 рамки 9 по плоскостям, что увеличивает значительно их несущую способность и надежность соединения секторов. Силовыми цилиндрами 4 обжимают трубопроводы кулачками 3 в районе свариваемого стыка, обеспечивая соосность свариваемых труб и их цилиндричность» [22].

## 2.4 Операции проектного технологического процесса

Из плавильного отделения трубные заготовки поступают на участок механическую механической обработки, где проходит их подготовка под сварочные операции. С применением дробеструйной обработки выполняют очистку наружной поверхности трубы, применяя дробь из нержавеющей стали. Далее на гидравлическом прессе выполняют исправление криволинейности заготовок, после чего проводят их пневматическое испытание под внутренним давлением 5 атмосфер. Подготовку фасок труб проводят с применением фаскосъемного автомата ВМ-21, который представлен на рисунке 23. Зачистку и обезжиривание поверхности труб проводят как с наружной, так и с внутренней стороны на ширину 20 мм.

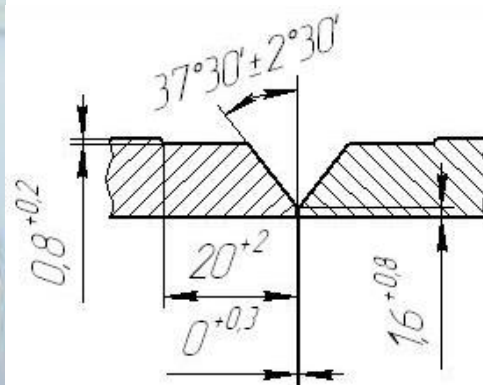


Рисунок 23 – Обрезка кромки трубы

С применением лупы проводят осмотр поверхности труб на предмет наличия дефектов, исправление которых допускается с применением механических способов, если при этом толщина стенки трубы не выходит за минусовой допуск. Сварку для исправления дефектов применять запрещается, если исправление дефекта зачисткой невозможно, дефектную часть трубы обрезают.

Сборка и сварка труб выполняется на стенде, применение которого позволяет обеспечить требуемую точность стыковки труб. Сборка с применением привариваемых к стенкам труб приспособлений запрещена. Смещение кромок стыкуемых труб допускается не более 0,5 мм при зазоре не более 1,5 мм. Прямолинейность элементов проверяется при помощи металлической линейки длиной 400 мм. Сварку ведут на параметрах режима: сила сварочного тока 280...300 ампер при напряжении на дуге 25...28 вольт. Вылет сварочной проволоки составляет 16...20 мм, сварку ведут проволокой Св-45Х25Н35БС диаметром 1,6 мм. При сварке подачу аргона в полость трубы проводят за 2 минуты до начала сварки. Расход аргона на подув составляет 5...7 литров в минуту. Расход аргона через горелку составляет 8...10 литров в минуту. Подачу аргона в сварочную горелку прекращают через 5...8 секунд после обрыва дуги.

При выполнении корневого слоя сварного шва следует обеспечить получение сварного шва с равномерной толщиной, усиление шва составляет от 0,5 до 1,5 мм. Также следует обеспечить плавный переход от наплавленного металла к основному металлу. Состояние обратной стороны корневого слоя шва проверяется при помощи эндоскопа. Исправление дефектов формы корневого слоя шва выполняется при помощи шлифовки, при этом не допускается повреждение поверхности внутренней стенки трубы.

Качество сварки обеспечивается применением следующих методик контроля: пооперационный контроль, визуальный и измерительный контроль, цветная дефектоскопия, механические испытания, радиографический контроль, металлографический контроль, гидравлические испытания.

При визуальном и измерительном контроле проверяется внешний вид и геометрия сварного шва. Усиление корня с внутренней стороны трубы должно составлять 0,5...1,5 мм. Усиление с наружной стороны трубы должно составлять 0,5...2,5 мм. Не допускается наличие трещин, свищей, пористости, незаваренных кратеров, подрезов и наплывов металла.

При радиографическом контроле проверяется наличие внутренних дефектов. Не допускаются непровары, свищи и групповая пористость. Шлаковые включения должны быть глубиной не более «10 % толщины стенки трубы при длине до 25 % от толщины стенки трубы. На один стык допускается наличие не более пяти дефектов разрешенного размера. Не допускается наличие цепочек пор и шлаковых включений с суммарной длиной более одной толщины стенки трубы на участке сварного шва длиной десять толщин стенки трубы» [17]. Не допускаются поры размером более 1,5 мм.

При гидравлических испытаниях выдерживание пробного давления 10 минут. При этом не допускается снижение давления, течи и потение стенки, признаки разрыва и остаточной деформации конструкции.

#### Выводы по второму разделу

Второй раздел выпускной квалификационной работы содержит описание решения задач, постановка которых проведена в первом разделе. На основании литературного обзора выполнена экспертная оценка преимуществ и недостатков альтернативных способов сварки, для построения проектной технологии предлагается применить механизированную сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения. Расширение технологических возможностей выбранного способа обеспечено применением разработок российских исследователей в области импульсного управления дугой и переносом электродного металла. Составленная технология позволила применить предлагаемые решения на рассматриваемом производственном участке.

### **3 Промышленная безопасность производственного участка**

#### **3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи**

Внедрение в производство предлагаемых решений, не смотря на достигаемый технологический эффект, не может быть рекомендовано, пока не будет доказана возможность обеспечения производственной безопасности, пожарной безопасности и экологической безопасности. Предварительно следует рассмотреть вопросы промышленной безопасности, связанные с идентификацией негативных производственных факторов и составлением перечня средств по их нейтрализации. Укрупненная характеристика проектного технологического процесса сварки реакционной трубы представлена в таблице 3. Проектный технологический процесс в упрощенном виде может быть представлен как набор из пяти операций, в ходе выполнения каждой «возникает комплекс опасных и вредных производственных факторов. Представленная в таблице информация позволит судить о выполняемых операциях, персонале, применяемом оборудовании и материалах, что позволяет провести идентификацию опасных и вредных производственных факторов, которыми характеризуется рассматриваемый производственный участок» [6], на котором предлагается реализовать проектную технологию. Для выполнения операций проектного технологического процесса привлекаются слесарь-сборщик, сварщик на автоматических и полуавтоматических машинах, инженер-дефектоскопист. В качестве источников негативных факторов выступают фаскорез, шлифовальная машина, набор цветовой дефектоскопии, дефектоскоп ультразвуковой, дефектоскоп радиографический, сборочное приспособление, источник питания, устройство управления сварочной дугой, механизм подачи проволоки, газовая аппаратура. Если фактор не ухудшает состояние персонала, то он признается нейтральным и в дальнейшем не учитывается.

Таблица 3 – Укрупненная характеристика проектного технологического процесса сборки и сварки реакционных труб

| Операция                    | Персонал                                               | Оборудование                                                                                                                                      |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| «Разделка кромок и зачистка | Слесарь-сборщик                                        | - фаскорез<br>- шлифовальная машина<br>- дисковая проволочная щетка                                                                               |
| Контроль состояния торцев   | Инженер-дефектоскопист                                 | - набор цветовой дефектоскопии<br>- набор визуального и измерительного контроля<br>- компрессор                                                   |
| Сборка                      | Слесарь-сборщик, сварщик                               | - сборочное приспособление<br>- универсальный шаблон сварщика                                                                                     |
| Сварка                      | Сварщик на полуавтоматических и автоматических машинах | - источник питания<br>- устройство электронного управления дугой<br>- шлифовальная машина<br>- механизм подачи проволоки<br>- газовая аппаратура  |
| Контроль качества» [17]     | Инженер-дефектоскопист                                 | - набор цветовой дефектоскопии<br>- набор визуального и измерительного контроля<br>- дефектоскоп ультразвуковой<br>- дефектоскоп радиографический |

На основании представленной в таблице информации становится возможным сформулировать производственные факторы, влияние которых может оказать негативное воздействие на персонал предприятия. Если негативный фактор может стать причиной получения персоналом травмы или причиной смертельного случая, то такой фактор следует отнести к группе опасных факторов. Если в результате действия рассматриваемого фактора у персонала может возникнуть или развиваться профессиональное заболевание, то такой фактор следует отнести к группе вредных факторов. Помимо применяемого оборудования источниками негативных производственных факторов могут быть условия, при которых выполняются операции рассматриваемого проектного технологического процесса. Далее следует сформулировать перечень действующих негативных факторов согласно требованиям ГОСТ 12.0.003-2015 по каждой рассматриваемой операции.

### 3.2 Идентификация негативных производственных факторов

При выполнении операция проектного технологического процесса возможно возникновение негативных производственных факторов, которые отдельно по рассматриваемым операциям технологического процесса представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Негативные производственные факторы при реализации операций проектного технологического процесса

| Наименование операции      | Опасный или вредный производственный фактор                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Разделка кромок и зачистка | <ul style="list-style-type: none"><li>- острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок</li><li>- движущиеся части машин и механизмов</li><li>- отсутствие или недостатков естественного освещения</li><li>- отсутствие или недостатков искусственного освещения</li></ul>                                                                                                               |
| Контроль состояния торцев  | <ul style="list-style-type: none"><li>- острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок</li><li>- химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии</li></ul>                                                                                                                                                                                                               |
| Сборка                     | <ul style="list-style-type: none"><li>- острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок</li><li>- движущиеся части машин и механизмов</li><li>- отсутствие или недостатков естественного освещения</li><li>- отсутствие или недостатков искусственного освещения</li></ul>                                                                                                               |
| Сварка                     | <ul style="list-style-type: none"><li>- чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания</li><li>- повышенный уровень шума</li><li>- опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током</li><li>- инфракрасное излучение</li><li>- ультрафиолетовое излучение</li><li>- химические вещества в аэрозольном состоянии</li><li>- повышенная температура поверхностей</li></ul> |
| Контроль качества          | <ul style="list-style-type: none"><li>- повышенный уровень ультразвуковых колебаний</li><li>- острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок</li><li>- повышенный уровень рентгеновского излччения</li></ul>                                                                                                                                                                            |

Операции сварки и наплавки предусматривают наличие дуги, что приводит к повышенному уровню опасных и вредных факторов, возникающих на рассматриваемом производственном участке по сравнению с другими производственными участками. Также следует принимать во внимание наличие на участке оборудования, работающего при опасных уровнях напряжения и тока.

### **3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов**

Ранее была выполнена идентификация негативных производственных факторов согласно ГОСТ 12.0.003-2015. Далее следует провести оценку эффективности применения стандартных средств и методик, которые представлены в таблице 5.

В таблице рассматривается двенадцать негативных факторов, действие которых на персонал предприятия должно быть устранено. Для защиты персонала от действия этих факторов могут быть применены как стандартные, так и специальные средства, обеспечивающие безопасность производственного процесса.

Следует учитывать кумулятивное действие вредных факторов, заключающееся в накоплении негативного действия в течении времени и острого их проявления. Также следует принимать во внимание, что действующие совместно факторы могут усиливать друг друга, что повышает их опасность и вредоносность.

В арсенале средств, призванных нейтрализовать действие негативных факторов, числятся средства технического характера, организационные мероприятия и средства личной защиты. Значительная роль отводится организационным мероприятиям, от своевременности и полноты проведения которых в значительной степени зависит безопасность труда. Как показывает практика, именно нарушение трудовой дисциплины становится причиной большинства несчастных случаев на производстве. Также следует принимать во внимание необходимость поддержания порядка на рабочем месте, что позволяет лучше организовать производственный процесс и обеспечить его безопасность по отношению к участникам. Также следует постоянно проверять комплектность и исправность средств индивидуальной защиты, состояние которых должно контролировать как руководство предприятия, так и сам персонал. Для обслуживания технических средств безопасности труда должны привлекаться квалифицированные работники.

Таблица 5 – Средства и методики для устранения профессиональных рисков

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

Представленные средства обеспечивают эффективную защиту.

### 3.4 Пожарная безопасность производственного участка

При сварке и наплавке проводятся манипуляции со сварочной дугой, горение которой сопровождается интенсивным тепловым излучением, интенсивным ультрафиолетовым излучением, высокотемпературным действием на поверхности, разбрасыванием искр и брызг расплавленного металла. Также следует принимать во внимание, что питание сварочной дуги требует подвода электрической энергии высокой мощности, при повреждении электрического оборудования возможно образование возгорания и «развития» пожара на рассматриваемом производственном участке. Наличие на участке электрического оборудования усложняет протекание пожара и его тушение. В таблице 6 выполнена идентификация пожара, возникновение которого следует предотвратить.

Таблица 6 – Идентификация пожара на производственном участке

|                                         |                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Наименование участка                    | Участок проведения сварки при изготовлении реакционных труб                                                                                                                                                                                             |
| Наименование оборудования               | Фаскорез, шлифовальная машина, набор цветовой дефектоскопии, дефектоскоп ультразвуковой, дефектоскоп радиографический, сборочное приспособление, источник питания, устройство управления сварочной дугой, механизм подачи проволоки, газовая аппаратура |
| Классификация по виду горящего вещества | Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)                                                                                                          |
| Основные опасные факторы пожара         | Пламя, повышенная температура воздуха, токсические продукты горения, уменьшение концентрации кислорода в воздухе, снижение видимости из-за задымления, искры                                                                                            |
| Вторичные опасные факторы пожара        | Поражение персонала электрическим током, падение на персонал элементов конструкции здания и оборудования» [6]                                                                                                                                           |

При возникновении на рассматриваемом участке пожара, неминуемо возникают его опасные факторы. К основным (первичным) факторам относят разлетающиеся при горении искры, застилающее обзор и мешающее ориентироваться в пространстве задымление, отравляющие людей токсические продукты горения, приводящее к удушению уменьшение

содержания в воздухе кислорода, волны горячего воздуха и само пламя. К вторичным факторам пожара относят возможность падения на людей элементов оборудования и элементов конструкции здания при разрушении, поражение персонала и сотрудников МЧС электрическим током. На основании результатов проведенного анализа возникающий на рассматриваемом производственном участке пожар может быть отнесен к категории «Е», так как ещё одним поражающим фактором является электрический ток, поражение которым может произойти при тушении пожара. В таблице 7 представлены средства, обеспечивающие устранение опасных факторов такого пожара, которые следует быть готовым применить на рассматриваемом производственном участке.

Таблица 7 – Средства устранения факторов пожара

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

На рассматриваемом участке запрещается складирование мусора, могущего стать потенциальным топливом (ветошь, картон, бумага, элементы упаковки, куски пенопласта). Запрещается хранить на участке значительных количеств возгорающихся жидкостей. Обязателен периодический инструктаж персонала по вопросам пожарной безопасности. Запрещается работа на неисправном сварочном оборудовании. Необходимо обучение персонала использованию первичных средств пожаротушения.

### 3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка

Помимо обеспечения безопасности персонала и пожарной безопасности от проектного технологического процесса требуется обеспечить минимальный ущерб окружающей среде, что соответствует требованиям мировой экологической повестки. Рассматриваемый процесс сборки и сварки может представлять опасность по В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается процесс сборки и сварки реакционных труб для оснащения химических предприятий, который представляет опасность для элементов природы – гидросферы, литосферы и атмосферы. В таблице 8 представлены мероприятия и средства, обеспечивающие защиту природных компонентов от негативных экологических факторов рассматриваемого производства.

Таблица 8 – Мероприятия и средства по защите природных компонентов от негативных экологических факторов рассматриваемого производства

|                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Участок           | Участок сборки и сварки реакционных труб                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Защита атмосферы  | Необходимо оснастить системой фильтрации и утилизации собираемых компонентов систему вентиляции, которая обслуживает рассматриваемый производственный участок. Запрещается сжигание промышленного мусора, полученного в ходе функционирования рассматриваемого производственного участка. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм.                                                                                                                        |
| Защита гидросферы | Машинное масло и другие жидкие отходы, возникающие при функционировании производственного участка, запрещается сливать в канализационную систему цеха. Следует соблюдать периодичность проведения инструктажа персонала по соблюдению экологических норм. Очистка и повторное использование технической воды, позволяющие уменьшить расход водных ресурсов. Запрещается использование для технических нужд питьевой воды.                                                             |
| Защита литосферы  | Необходимо проводить сбор, разделение и утилизацию промышленного мусора, получаемого в ходе функционирования рассматриваемого производственного участка. Запрещается закапывание и несанкционированное выбрасывание промышленного мусора. Следует соблюдать периодичность проведения инструктажа персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Рециклинг промышленных отходов, позволяющий значительно уменьшить негативную нагрузку со стороны предприятия на литосферу. |

## Выводы по экологическому разделу

При выполнении экологического раздела рассмотрены вопросы безопасности труда, пожарной безопасности и экологической безопасности при выполнении операций проектного технологического процесса сборки и сварки реакционных труб.

«Укрупненный анализ операций процесса позволяет составить перечень опасных и вредных факторов, для которых предложен перечень технических решений и организационных мероприятий по нейтрализации негативных факторов. Показано, что для поддержания требуемого уровня производственной безопасности необходимо применение стандартных средств, разработки специальных средств и методик» [6] не требуется.

Оценка пожарной безопасности рассматриваемого производственного участка позволила сформулировать перечень средств и мероприятий по повышению пожарной безопасности и предотвращению возникновения пожара на предприятии.

При анализе проектной технологии с точки зрения негативного действия на окружающую среду предложены мероприятия, обеспечивающие снижение антропогенного действия рассматриваемого производственного участка на составляющие природы – атмосферу, литосферу и гидросферу.

В процессе функционирования сварочного участка необходимо проводить селективный сбор промышленных отходов и рециклинг.

Предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе технические решения не представляют существенной угрозы работникам предприятия и окружающей среде. Все возникающие при реализации проектной технологии негативные воздействия могут быть нейтрализованы с применением стандартных средств и мероприятий. Следовательно, проектный технологический процесс может быть реализован на производственном участке.

## **4 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений**

### **4.1. Исходные данные для экономического расчёта**

Применение предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений позволяет получить технологический эффект при сборке и сварке реакционных труб, выражающийся в повышении производительности и качества выполнения сварочных работ. Для обоснования целесообразности внедрения предлагаемых решений в производство необходимо провести ряд экономических расчётов, направленных на расчётное определение экономических показателей предприятия. Это объясняется тем, что проектная технология предусматривает применение модернизированного оборудования, стоимость которого выше, чем у оборудования, применяемого при реализации базового технологического процесса. Для последующего экономического анализа исходные данные по рассматриваемым технологиям представлены в таблице 9. Применение при реализации проектной технологии предлагаемых решений по сравнению с базовой технологией позволяет получить комплексный положительный технологический эффект, выражающийся в одновременном повышении производительности выполняемых работ и их качества. За счёт повышения производительности ожидается снижение размеров фонда заработной платы, а повышение качества позволяет экономить на сварочных материалах, электрической энергии и фонде заработной платы, так как существенно снижается количество брака и работ по его исправлению. С учётом специфики рассматриваемого производства экономические расчёты проводим исходя из режима работы производственного участка в одну смену. Предлагается провести оценку временных показателей рассматриваемых вариантов технологии, оценка заводской себестоимости и капитальных затрат, на основании которых возможно определить показатели эффективности процесса.

Таблица 9 – Данные для расчета экономических показателей производства

| Параметр                                             | Обозначение            | Единица измерения       | Принимаемое значение по варианту технологии |           |
|------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------------------------|-----------|
|                                                      |                        |                         | базовый                                     | проектный |
| «Число рабочих смен в сутках                         | $K_{см}$               | -                       | 1                                           | 1         |
| Разряд работников                                    | $P_p$                  | -                       | V                                           | V         |
| Часовая тарифная ставка                              | $Cч$                   | Р/час                   | 200                                         | 200       |
| Коэффициент доплат                                   | $K_{доп}$              | %                       | 12                                          | 12        |
| Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП          | $K_d$                  | -                       | 1,88                                        | 1,88      |
| Коэффициент отчислений на социальные нужды           | $K_{сн}$               | %                       | 34                                          | 34        |
| Коэффициент выполнения нормы                         | $K_{вн}$               | -                       | 1,1                                         | 1,1       |
| Стоимость оборудования                               | $Ц_{об}$               | руб.                    | 1250 тыс.                                   | 1900 тыс. |
| Норма амортизации оборудования                       | $K_a$                  | %                       | 21,5                                        | 21,5      |
| Мощность оборудования                                | $M_{уст}$              | кВт                     | 40                                          | 70        |
| Коэффициент транспортно-заготовительных расходов     | $K_{т-з}$              | %                       | 5                                           | 5         |
| Стоимость электрической энергии                      | $Ц_{э-э}$              | Р/ кВт                  | 3,4                                         | 3,4       |
| Коэффициент полезного действия                       | $K_{пд}$               | -                       | 0,7                                         | 0,7       |
| Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования | $K_{мон}$<br>$K_{дем}$ | %                       | 3                                           | 5         |
| Площадь под оборудование                             | $S$                    | м <sup>2</sup>          | 400                                         | 400       |
| Стоимость эксплуатации площадей                      | $C_{эсп}$              | (Р/м <sup>2</sup> )/год | 2000                                        | 2000      |
| Цена производственных площадей                       | $Ц_{пл}$               | Р/м <sup>2</sup>        | 30000                                       | 30000     |
| Норма амортизации площади                            | $На.пл.$               | %                       | 5                                           | 5         |
| Коэффициент дополнительной производственной площади  | $K_{пл}$               | -                       | 3                                           | 3         |
| Коэффициент эффективности капитальных вложений       | $E_n$                  | -                       | 0,33                                        | 0,33      |
| Коэффициент цеховых расходов                         | $K_{цех}$              | -                       | 1,5                                         | 1,5       |
| Коэффициент заводских расходов» [11]                 | $K_{зав}$              | -                       | 1,15                                        | 1,15      |

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

## 4.2 Фонд времени работы оборудования

Начальным этапом для расчета экономических показателей производства является определение его временных параметров, к которым, в первую очередь, следует отнести годовой фонд времени работы оборудования  $F_H$  и «эффективный фонд времени работы оборудования  $F_3$ , связанные друг с другом через коэффициент рабочего времени  $B$ . Годовой фонд времени работы оборудования  $F_H$  в дальнейшем определяет годовую программу и влияет на последующие расчеты.

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

$$F_H = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см} = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209 \text{ часов.} \quad (1)$$

Эффективный фонд времени работы оборудования позволяет учесть потери рабочего времени» [11] через коэффициент  $B$ , значение которого для рассматриваемого случая построения технологического процесса принимается  $B=0,07$ . На основании вышеизложенного

$$F_3 = F_H(1-B) = 2209 \cdot (1 - 0,07) = 2054 \text{ часов.} \quad (2)$$

Расчет показателей экономической эффективности в дальнейшем выполняем с учетом рассчитанного выше значения эффективного фонда времени  $F_3 = 2054$  часа.

### 4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства

Расчёт капитальных вложений и экономической эффективности внедрения в производство предлагаемых решений требует для своего проведения задания годовой программы производства  $\Pi_{\Gamma}$ . Для его определения предварительно следует задаться значением штучного времени  $t_{шт}$  для базового и проектного вариантов технологии, которые могут упрощенно рассчитывать по составляющим: «машинное время  $t_{маш}$ , значение которого задается по результатам анализа особенностей базового и проектного вариантов технологического процесса; вспомогательное время  $t_{всп}$ , которое задается через машинное время и составляет 50 % от него; время на обслуживание рабочего места  $t_{обсл}$ , которое задается через машинное время и составляет 10 % от него; времени на личный отдых  $t_{отд}$ , которое задается через машинное время и составляет 10 % от него; подготовительно-заключительное время  $t_{пз}$ , которое задается через машинное время и составляет 5 % от него. Таким образом, расчёт штучного времени по упрощенной схеме» [14] выполняется как

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

Расчёт по формуле (3) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы:  $t_{шт} = 15 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 18,2$  часа. Расчёт по формуле (3) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы:  $t_{шт} = 4 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 4,9$  часа.

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

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

Расчёт по формуле (4) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы  $\Pi_r = 2054/18,2 = 112$  реакционных труб в год. Расчёт по формуле (4) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы  $\Pi_r = 2054/4,9 = 419$  реакционных труб в год. С учётом потребностей рассматриваемого производства для значения годовой программы принимается  $\Pi_r = 100$  реакционных труб в год. Далее следует выполнить расчёт количества оборудования  $n_{\text{расч}}$  для проектного и базового вариантов технологического процесса, для чего «следует применить ранее рассчитанное значение эффективного фонда времени  $F_э$ , годовой программы  $\Pi_r$  и штучного времени  $t_{\text{шт}}$  с учётом коэффициента выполнения нормы  $K_{\text{вн}}$ , значение которого в рассматриваемом варианте производства принимается  $K_{\text{вн}} = 1,03$ » [11]:

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

«Расчёт по формуле (5) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования  $n_{\text{расч.}} = 18,2 \cdot 100 / (2054 \cdot 1,03) = 0,81$ . Расчёт по формуле (5) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования  $n_{\text{расч.}} = 4,9 \cdot 100 / (2054 \cdot 1,03) = 0,22$ » [11]. Следует принять ближайшее большее натуральное значение, которое для проектного и базового вариантов составляет 1 и 1 соответственно. Коэффициент загрузки оборудования  $K_з$ , который рассчитывается как отношение расчётного и принимаемого количества оборудования по вариантам технологии:

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

Расчёт по формуле (6) для базового и проектного вариантов позволяет получить  $K_з = 0,81/1 = 0,81$  и  $K_з = 0,22/1 = 0,22$  соответственно, что объясняется повышением производительности труда при реализации проектного варианта технологического процесса.

#### 4.4 Заводская себестоимость

Для определения размеров технологической себестоимости  $C_{\text{тех}}$  проведения работ согласно рассматриваемым вариантам технологического процесса необходимо выполнить раздельный расчёт составляющих: «затрат на материалы  $M$ , фонда заработной платы ФЗП, отчислений на социальные нужды  $O_{\text{сс}}$ , затрат на оборудование  $Z_{\text{об}}$  и затрат на площади  $Z_{\text{пл}}$ . Расчёт расходов на сварочные материалы проводится с учётом их цены  $C_{\text{м}}$ , нормы расхода  $H_{\text{р}}$  и коэффициента транспортно-заготовительных расходов  $K_{\text{тз}}$ , значение которого для рассматриваемого производства согласно таблице исходных данных составляет  $K_{\text{тз}} = 1,05$ » [11]:

$$M = C_{\text{м}} \cdot H_{\text{р}} \cdot K_{\text{т-з}} . \quad (7)$$

Расчёт по формуле (7) для базового варианта технологии позволяет получить  $M = 3000 \cdot 0,8 \cdot 1,05 = 2520$  руб. Расчёт по формуле (7) для проектного варианта технологии позволяет получить величину затрат на материалы равную  $M_{\text{баз.}} = 90 \cdot 6 \cdot 1,05 + 50 \cdot 3 \cdot 9 \cdot 1,05 = 56,70 + 41,75 = 1984$  руб.

«Фонд заработной платы ФЗП предприятия характеризует расходы на основную заработную плату  $Z_{\text{осн}}$  и дополнительную заработную плату  $Z_{\text{доп}}$ , которые рассчитываются с учетом часовой тарифной ставки  $C_{\text{ч}}$ , коэффициента доплат  $K_{\text{д}}$  и коэффициента дополнительных затрат  $K_{\text{доп}}$ . Для рассматриваемого производства по таблице исходных данных принимается  $C_{\text{ч}} = 200$  руб.,  $K_{\text{д}} = 1,88$  и  $K_{\text{доп}} = 0,12$ . Расчёт величины  $Z_{\text{осн}}$ » [13]:

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

Применение (8) для базового варианта позволяет получить величину  $Z_{\text{осн}} = 18,2 \cdot 200 \cdot 1,88 = 6843$  руб. Применение (8) для проектного варианта позволяет получить величину  $Z_{\text{осн.}} = 4,9 \cdot 200 \cdot 1,88 = 1842$  руб.

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

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

Применение (9) для базового варианта позволяет получить величину  $З_{доп} = 6843 \cdot 12/100 = 821$  руб. Применение (9) для проектного варианта позволяет получить величину  $З_{доп} = 1842 \cdot 12/100 = 221$  руб.

Расчёт величины ФЗП:

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

Применение (10) для базового варианта позволяет получить величину  $ФЗП = 6843 + 821 = 7664$  руб.. Применение (10) для проектного варианта позволяет получить величину  $ФЗП = 1842 + 221 = 2063$  руб.

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

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

$$O_{сн} = ФЗП \cdot K_{сн}. \quad (11)$$

Применение (11) для базового варианта позволяет получить величину  $O_{сн} = 7664 \cdot 0,34 = 2605$  руб. Применение (11) для проектного варианта позволяет получить величину  $O_{сн} = 2063 \cdot 0,34 = 701$  руб.

Для того, чтобы рассчитать размер затрат на оборудование  $З_{об}$ , необходимо предварительно определить составляющие: амортизационные отчисления  $A_{об}$  и затраты на электрическую энергию  $P_{э}$ .

При расчете величины  $A_{об}$  применяются ранее определенные значения  $F_3$  и  $t_{маш}$ , а также принятые для рассматриваемого производства норма амортизации  $H_a$  и стоимость оборудования  $Ц_{об}$ , значения которых берутся из таблицы исходных данных. Расчёт величины  $A_{об}$ :

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

Применение (12) для базового варианта позволяет получить величину  $A_{об} = 1250000 \cdot 21,5 \cdot 18,2 / 2054 / 100 = 2381$  руб. Применение (12) для проектного варианта даёт  $A_{об} = 1900000 \cdot 21,5 \cdot 4,9 / 2054 / 100 = 974$  руб. Увеличение амортизационных отчислений в проектном варианте технологии по сравнению с базовым вариантом технологии объясняется применением более сложного технологического оборудования больше стоимости.

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

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

Применение (13) для базового варианта позволяет получить величину  $P_{эз} = 40 \cdot 18,2 \cdot 3,2 / 0,7 = 3328$  руб. Применение (13) для проектного варианта позволяет получить величину  $P_{эз} = 70 \cdot 4,9 \cdot 3,2 / 0,85 = 1291$  руб.

Величина затрат на оборудование  $З_{об}$  определяется как сумма  $A_{об}$  и  $P_{эз}$ :

$$З_{об} = A_{об} + P_{эз}. \quad (14)$$

Применение (14) для базового варианта позволяет получить величину затрат на оборудование  $З_{об} = 2381 + 3328 = 5709$  руб. Применение (14) для проектного варианта позволяет получить величину  $З_{об} = 974 + 1291 = 2265$  руб.

Полученные значения составляющих позволяют рассчитать полное значение «технологической себестоимости  $C_{\text{тех}}$  выполняется как сумма затрат на материалы  $M$ , фонда заработной платы  $\Phi ЗП$ , отчислений на социальные нужды  $O_{\text{сс}}$ , затрат на оборудование  $З_{\text{об}}$  и затрат на площади  $З_{\text{пл}}$ :

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

Применение (15) для базового варианта позволяет получить величину  $C_{\text{тех}} = 2520 + 7664 + 2615 + 3470 + 5709 = 21978$  руб. Применение (15) для проектного варианта позволяет получить значение технологической себестоимости  $C_{\text{тех}} = 1984 + 2063 + 701 + 1750 + 2265 = 8763$  руб.» [13]. Снижение технологической себестоимости в проектном варианте технологии обеспечивается за счёт уменьшения размеров фонда заработной платы, затрат на материалы и затрат на оборудование, что объясняется применением более производительного оборудования с расширенными технологическими возможностями.

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

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

Применение (16) для базового варианта позволяет получить величину  $C_{\text{цех}} = 21978 + 1,5 \cdot 6843 = 21978 + 10260 = 32238$  руб. Применение (16) для проектного варианта позволяет получить  $C_{\text{цех}} = 8763 + 1,5 \cdot 1842 = 8763 + 2760 = 11532$  руб. Для расчётного определения заводской себестоимости  $C_{\text{зав}}$  необходимо применить ранее рассчитанные значения цеховой себестоимости  $C_{\text{цех}}$  и основной заработной платы  $З_{\text{осн}}$ , а также коэффициент заводских расходов  $K_{\text{зав}}$ , значение которого для рассматриваемого производства принимается из таблицы исходных значений  $K_{\text{зав}}=1,15$ . Расчёт величины  $C_{\text{зав}}$ :

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

Применение (17) для базового варианта позволяет получить значение  $C_{\text{зав}} = 32238 + 1,15 \cdot 6843 = 32238 + 7870 = 40108$  руб. Применение (17) для проектного варианта дает  $C_{\text{зав}} = 11532 + 1,15 \cdot 1842 = 11532 + 2120 = 13643$  руб.» [13].

Для анализа которых на рисунке 24 представлена диаграмма, демонстрирующая структуру технологической себестоимости по базовому и проектному вариантам технологического процесса, эти же данные в цифровом виде представлены в калькуляционной таблице 10. На рисунке 25 представлена структура заводской себестоимости.

Таблица 10– Калькуляция заводской себестоимости сварки реакционной трубы на основании анализа показателей технологического процесса сборки и сварки

| Показатель                        | Условное обозначение | Калькуляция, руб. |                   |
|-----------------------------------|----------------------|-------------------|-------------------|
|                                   |                      | Базовый вариант   | Проектный вариант |
| 1. «Затраты на материалы          | М                    | 2520              | 1984              |
| 2. Фонд заработной платы          | ФЗП                  | 7664              | 2063              |
| 3. Отчисления на соц. нужды       | Осн                  | 2615              | 701               |
| 4. Затраты на оборудование        | Зоб                  | 5709              | 2265              |
| 5. Затраты на площади             | Зпл                  | 3470              | 1750              |
| 6. Технологическая себестоимость  | Стех                 | 21978             | 8763              |
| 7. Цеховые расходы                | Рцех                 | 10260             | 2760              |
| 8. Цеховая себестоимость          | Сцех                 | 32238             | 11532             |
| 9. Заводские расходы              | Рзав                 | 7870              | 2120              |
| 10. Заводская себестоимость» [11] | $C_{\text{зав}}$     | 40108             | 13643             |

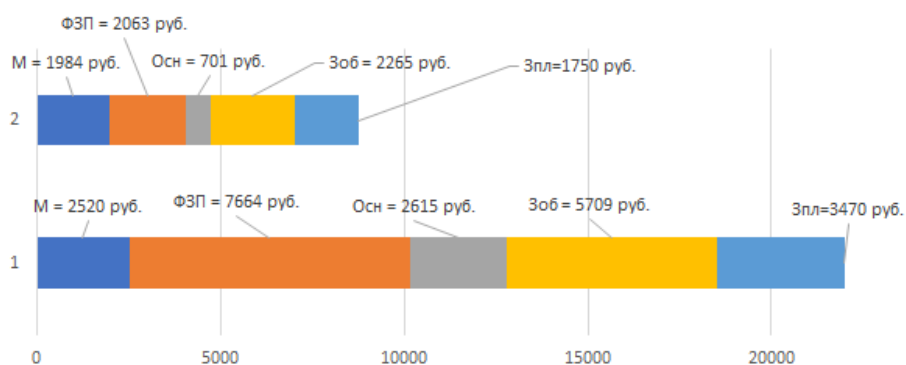


Рисунок 24 – Состав технологической себестоимости

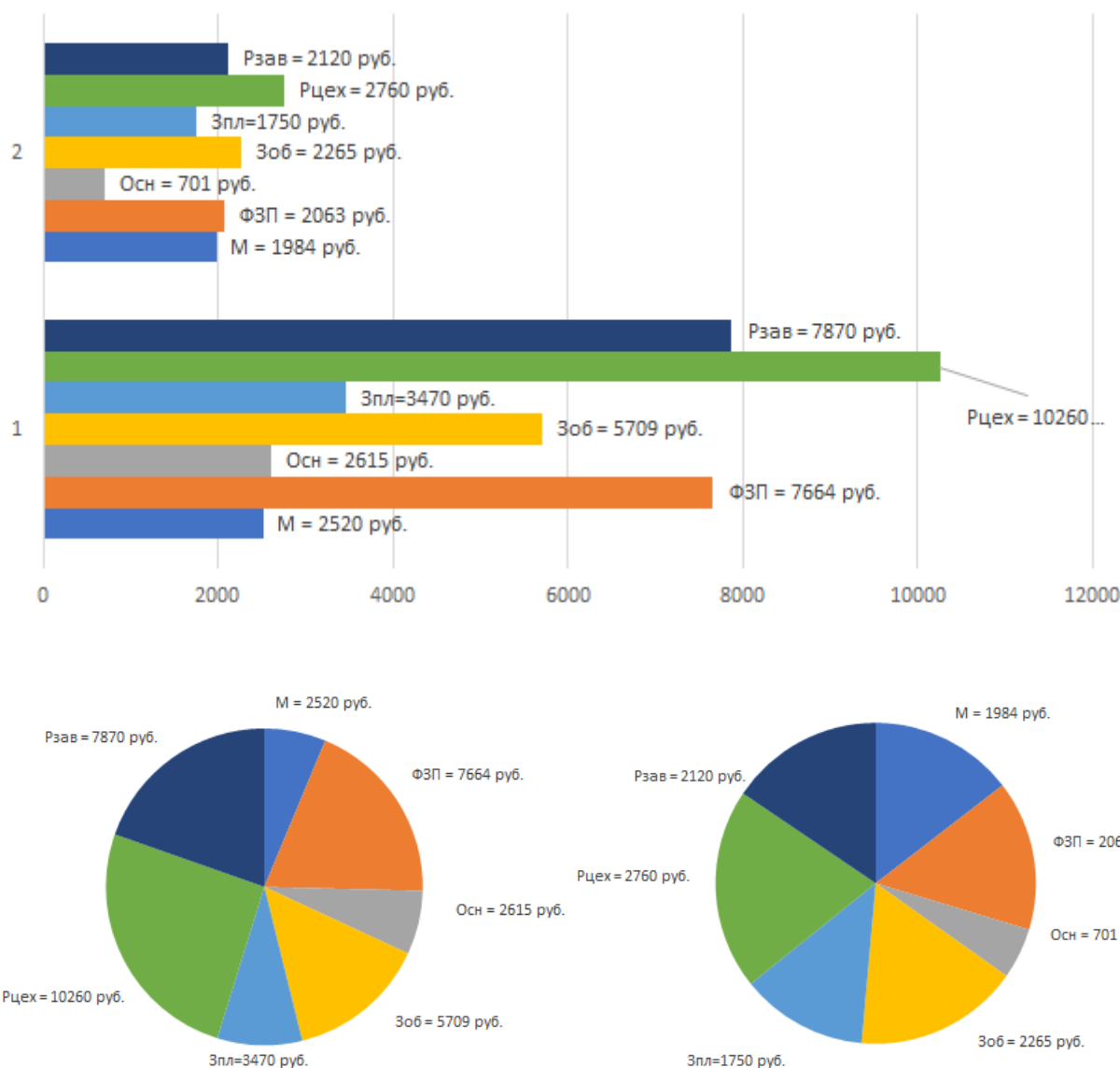


Рисунок 25 – Структура заводской себестоимости

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

Высокая эффективность предлагаемых решений доказывается уменьшением величины заводской себестоимости в проектом варианте по сравнению с базовым вариантом. Но для расчётного определения показателей экономической эффективности требуется рассчитать капитальные затраты, которые будут учтены при расчётном определении экономической эффективности проектной технологии по сравнению с базовой технологией.

#### 4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам

Первоначально следует определиться с «величиной остаточной стоимости оборудования  $\Pi_{об.б.}$ , использование которого выполнялось при реализации базовой технологии. При продолжительности эксплуатации  $T_c=2$  года и цене оборудования  $\Pi_{перв.} = 1250$  тыс. руб. с учетом нормы амортизационных отчислений  $H_a=21,5\%$ :

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

Применение (18) для базового варианта позволяет получить величину  $\Pi_{об.б.} = 1250000 - (1250000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 443750$  руб.

Величина общих капитальных затрат [13]  $K_{общ.б.}$  в базовом варианте технологии, рассчитывается по ранее полученному коэффициенту загрузки  $K_z$  и остаточной стоимости  $\Pi_{об.б.}$ :

$$K_{общ.б.} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{з.б.} = 1 \cdot 443750 \cdot 0,81 = 360000 \text{ рублей}. \quad (19)$$

«Капитальные затраты на оборудование при реализации проектного технологического процесса  $K_{об.пр.}$  рассчитываются с учётом цены оборудования по проектному варианту  $\Pi_{об.пр.}$ , коэффициента транспортно-заготовительных расходов  $K_{тз}$  и коэффициента загрузки оборудования  $K_z$ » [11], расчётное значение которого составляет  $K_z=0,22$ . Из таблицы исходных данных принимается  $\Pi_{об.пр.}=1900$  тыс. рублей,  $K_{тз}=1,05$ . «Капитальные затраты по на оборудование по проектному варианту составят

$$K_{об.пр.} = \Pi_{об.пр.} \cdot K_{тз} \cdot K_{зп} = 1900000 \cdot 1,05 \cdot 0,22 = 439000 \text{ руб.} \quad (20)$$

Далее рассчитывают расходы на демонтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на демонтаж  $K_{дем}=0,05$  и цены оборудования  $\Pi_{об.б.}=1250$  тыс. рублей определяют как

$$P_{дем} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{д} = 1 \cdot 1250000 \cdot 0,05 = 62500 \text{ руб.} \quad (21)$$

Далее рассчитывают расходы на монтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на монтаж  $K_{\text{мон}}=0,05$  и цены оборудования  $\Pi_{\text{об.пр.}}=1900$  тыс. рублей определяют как

$$P_{\text{монт}} = \Pi_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{м}} = 1900000 \cdot 0,05 = 95000 \text{ рублей.} \quad (22)$$

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

$$K_{\text{соп}} = P_{\text{дем}} + P_{\text{монт}} = 62500 + 95000 = 157500 \text{ рублей.} \quad (23)$$

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

$$K_{\text{общ. пр.}} = K_{\text{об. пр.}} + K_{\text{соп.}} = 439000 + 157500 = 596500 \text{ рублей.} \quad (24)$$

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

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общпр}} - K_{\text{общб}} = 596500 - 439000 = 157500 \text{ рублей.} \quad (25)$$

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

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

Для базового варианта технологического процесса величина удельных капитальных» [13] затрат составляет  $K_{\text{уд}} = 439000/100 = 4390$  рублей за одну реакционную трубу. Для проектного варианта технологического процесса величина удельных капитальных затрат составляет  $K_{\text{уд}} = 596500/100 = 5965$  рублей за за одну реакционную трубу. На основании проведенных расчётов могут быть определены показатели эффективности предлагаемых решений.

#### 4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей

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

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт\ б} - t_{шт\ пр}) \cdot 100 \% / t_{шт\ б} = (18,2 - 4,9) \cdot 100 \% / 18,2 = 73 \%. \quad (27)$$

Расчёт повышения производительности труда  $P_T$ :

$$P_T = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}) = 100 \cdot 73 / (100 - 73) = 270 \%. \quad (28)$$

Расчёт снижения технологической себестоимости:

$$\Delta C_{тех} = (C_{тех.б.} - C_{тех.пр.}) \cdot 100\% / C_{тех.б.} = (32238 - 11532) \cdot 100\% / 32238 = 64 \% \quad (29)$$

Условно-годовая экономия» [11]  $\mathcal{E}_{уг}$  позволяет оценить величину экономического эффекта без учета капитальных вложений и рассчитывается с учётом разности заводской себестоимости  $C_{зав}$  по вариантам технологии и годовой программы  $P_T$ :

$$\mathcal{E}_{уг} = (C_{зав.б.} - C_{зав.пр.}) \cdot P_T = (40108 - 13643) \cdot 100 = 2646500 \text{ рублей}. \quad (30)$$

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

$$T_{ок} = K_{доп} / \mathcal{E}_{уг} = 157500 / 2646500 = 0,1 \text{ года}. \quad (31)$$

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

$$\mathcal{E}_г = \mathcal{E}_{уг} - E_H \cdot K_{доп} = 2646500 - 0,33 \cdot 157500 = 2126750 \text{ рублей}. \quad (32)$$

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

## Выводы по экономическому разделу

В настоящем разделе проведены расчётные исследования по определению эффективности проектной технологии сборки и сварки реакционных труб с применением предлагаемых технологических решений. Представлены исходные данные, характеризующие базовую и проектную технологию сварки. По результатам оценки особенностей протекания технологического процесса с базовым вариантом и проектным вариантом определены временные показатели технологии, на основании которых с использованием исходных данных выполнен расчёт составляющих заводской себестоимости сборки и сварки по рассматриваемым вариантам технологии. Установлено, что внедрение предлагаемых технологических решений позволяет уменьшить размер фонда заработной платы и отчислений на социальные нужды за счёт повышения производительности труда. Также это привело к значительному уменьшению цеховых и заводских расходов, что положительно сказалось на уменьшении заводской себестоимости проведения сварочных работ. Далее установлен размер капитальных вложений по базовому варианту и проектному варианту построения технологического процесса, с учётом которых рассчитаны показатели эффективности предлагаемых к внедрению решений. За счёт применения более прогрессивного оборудования и технологий при внедрении предлагаемых решений в производство удастся уменьшить трудоемкость выполнения работ на 73 %, повысить производительность процесса на 270 %. За счёт уменьшения размера основных составляющих технологической себестоимости её величина уменьшается на 64 %. При капитальных вложениях 157,5 тыс. рублей срок окупаемости составляет 0,1 года, а экономический эффект составляет 2,127 млн. рублей.

На основании вышеизложенного следует признать эффективность внедрения предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технологических решений.

## **Заключение**

Работа посвящена повышению эффективности сварочных процессов при изготовлении реакционных труб. На основании литературного обзора выполнена экспертная оценка преимуществ и недостатков альтернативных способов сварки, для построения проектной технологии предлагается применить механизированную сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения. Расширение технологических возможностей выбранного способа обеспечено применением разработок российских исследователей в области импульсного управления дугой и переносом электродного металла. Составленная технология позволила применить предлагаемые решения на рассматриваемом производственном участке. Проведена оценка возможности обеспечения безопасности труда, пожарной безопасности и экологической безопасности производственного участка, предназначенного для выполнения рассматриваемых в выпускной квалификационной работе мероприятий. Оценка эффективности применяемых на предприятии средств по обеспечению безопасности труда позволила обосновать отсутствие необходимости проведения работ по генерированию специальных решений. В настоящей выпускной квалификационной работе предложены мероприятия по защите составляющих природы – атмосферы, литосферы и гидросферы от негативного воздействия со стороны производственного участка. За счёт применения более прогрессивного оборудования и технологий при внедрении предлагаемых решений в производство удастся уменьшить трудоемкость выполнения работ на 73 %, повысить производительность процесса на 270 %. За счёт уменьшения размера основных составляющих технологической себестоимости её величина уменьшается на 64 %. При капитальных вложениях 157,5 тыс. рублей срок окупаемости составляет 0,1 года, а экономический эффект составляет 2,127 млн. рублей. На основании вышеизложенного следует признать эффективность внедрения предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технологических решений.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Авторское свидетельство № 198479 СССР. Головка для автоматической дуговой сварки поворотных стыков труб / Осипенко В. П., Попугаев Н. Д., Зильберштейн Б. М.; Заявл. 18.05.66; Оpubл. 28.06.67, Бюл. № 14. 5 с.
2. Афанасьев С. В., Сергеев С. П., Пыркин А. В. Реакционные трубы для нефтехимических производств с повышенным ресурсом работы // Экспозиция Нефть Газ. 2016. № 1. С. 56-68
3. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
4. Верёвкин А. А. Повышение эффективности сварки в CO<sub>2</sub> неповоротных стыков магистральных трубопроводов за счет применения импульсного питания сварочной дуги: Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Барнаул: Томский политехнический университет. 2010.
5. Витман, Д.В. Разработка электродов и повышение стойкости сварных соединений жаростойких хромоникелевых аустенитных сталей против науглероживания при высоких температурах в газовых средах: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук, М.: ЦНИИТМАШ. 1984.
6. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
7. Ищенко Ю. С., Тушева Н. В. Модель расчета перехода капли в ванну при коротком замыкании // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Ядерная техника и технология. - 1990, Вып. 5. - С. 8-14.
8. Кириллова, Н.Ю. Оценка остаточного ресурса длительно эксплуатируемого реакционного оборудования из углеродистой стали с учетом охрупчивания: диссертация на соискание учёной степени кандидата

технических наук, Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет. – 2006

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

10. Крампит Н.Ю. Разработка и исследование процесса импульсного питания при сварке в CO<sub>2</sub> длинной дугой плавящимся электродом. – Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – 2000.

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

12. Крюков А. В. Повышение эффективности механизированной сварки в углекислом газе за счет применения импульсной подачи электродной проволоки. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. 2008.

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

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

15. Маковецкая О.К. Состояние и тенденции развития мирового рынка основных конструкционных материалов и сварочной техники // Автоматическая сварка. 2015. № 10. С. 54–61.

16. Моторин К. В. Разработка многофункциональной установки для обработки алюминиевых сплавов трехфазной дугой в условиях монтажа и ремонта : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Тольятти: ТолПИ. 2000.

17. Пантелеенко Ф. И., Снарский А. С., Крыленко А. В. Особенности деградации структуры и механические свойства элементов печного и

теплоэнергетического оборудования после длительной эксплуатации // Наука и техника. 2012. № 1. С. 16-20.

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

19. Патон Б. Е., Воропай Н. М., Бучинский В. Н. Управление процессом дуговой сварки путем программирования скорости подачи электродной проволоки // Автоматическая сварка. 1977. № 1. С. 1-5, 15.

20. Патон Б. Е., Шейко П. П., Пашуля М. П. Автоматическое управление переносом металла при импульсно-дуговой сварке // Автоматическая сварка. - 1971. - № 9. - С. 1-3.

21. Патент № 2395606 РФ, МПК В С22С30/00. Жаропрочный сплав / Байдуганов А. М.; Заявл. 06.04.2009; Оpubл. 27.07.2010, Бюл. № 21. 11 с.

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

23. Тарасов Н. М., Тулин В. М. Управление переносом электродного металла кратковременным повышением скорости истечения защитного газа // Сварочное производство. 1982. № 8. С. 23-25.