

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

М.Л. Кузьмин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Н.Г. Спиридонов

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

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярова

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

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

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

Тольятти 2023

## Аннотация

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности сварочных технологий при изготовлении реакционных труб.

Базовая технология сварки реакционных труб предусматривает применение аргодуговой сварки неплавящимся электродом.

Предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе технические решения, основанные на разработках отечественных исследователей-сварщиков позволяют существенно повысить производительность и качество выполняемых сварочных работ.

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

Производительность труда повышается на 270 %. Уменьшение технологической себестоимости составило 64 %. При этом за счёт повышения производительности труда и снижения издержек удалось получить годовой экономический эффект в размере 2,1 млн. рублей.

Результаты настоящей выпускной квалификационной работы рекомендуются к внедрению на предприятиях, которые выполняют сварку реакционных труб для химической промышленности.

## **Abstract**

The title of the graduation work «Reaction Tube Welding Technology».

Ammonia production is currently the main use of natural gas in the chemical industry. Ammonia is used mainly for the production of fertilizers, which is the most important task for ensuring the stability of the world society and allows us to successfully fight the threat of hunger.

The first task is to justify the choice of welding method. At the same time, alternative welding methods should be considered, and an expert assessment should be given to them according to the criteria of manufacturability, economy and durability of welded joints. Next, it is necessary to propose a welding method that will be used to build the design technology.

The second task is to increase the efficiency of the selected welding method in relation to the structure under consideration. At the same time, the main emphasis should be placed on domestic developments, which will ensure the independence of the Russian industry from foreign technologies and equipment.

The third task is to build a design welding technology. In this case, a list of technological operations that will be performed during the implementation of the process should be given. It is also necessary to formulate the requirements for the performance of each operation and assign the parameters of the processing mode, select the necessary technological equipment.

Labor productivity increases by 270%. The reduction in technological cost amounted to 64%. At the same time, by increasing labor productivity and reducing costs, it was possible to obtain an annual economic effect in the amount of 2.1 million rubles.

The results of this final qualifying work are recommended for implementation at enterprises that weld reaction pipes for the chemical industry.

## Содержание

Введение . . . . .	6
1 Современное состояние сварки реакционных труб. . . . .	7
1.1 Описание изделия и условия его работы. . . . .	7
1.2 Сведения о материале для изготовления труб. . . . .	12
1.3 Описание операций базового технологического процесса сборки и сварки. . . . .	16
1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы. . . . .	24
2 Проектная технология сборки и сварки реакционных труб. . . . .	26
2.1 Обоснование выбора способа сварки . . . . .	26
2.2 Повышение эффективности выбранного способа сварки. . . . .	29
2.3 Описание операций технологического процесса сварки реакционных труб. . . . .	33
2.4 Применяемые средства для механизации и автоматизации. . . . .	35
3 Обеспечение безопасности и экологичности предлагаемых технических решений. . . . .	39
3.1 Конструктивно-технологическая характеристика рассматриваемого объекта. . . . .	39
3.2 Идентификация профессиональных и производственных рисков . . . . .	40
3.3 Методики и технические средства для устранения профессиональных рисков . . . . .	42
3.4 Пожарная безопасность рассматриваемого технологического объекта . . . . .	44
3.5 Вопросы обеспечения экологической безопасности. . . . .	46
4 Экономическое обоснование предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений . . . . .	47
4.1 Анализ исходной информации по базовой и проектной технологиям. . . . .	47

4.2 Оценка фонда времени работы оборудования. . . . .	49
4.3 Оценка штучного времени при выполнении операций проектного и базового вариантов технологии. . . . .	50
4.4 Расчёт заводской себестоимости при осуществлении операций технологического процесса по рассматриваемым вариантам . . . . .	52
4.5 Капитальные затраты при реализации проектного и базового вариантов технологии. . . . .	56
4.6 Показатели экономической эффективности. . . . .	59
Заключение . . . . .	61
Список используемой литературы и используемых источников. . . . .	63

## Введение

В перспективе основным потребителем природного газа должна остаться химическая промышленность, при этом из источника энергии природный газ должен стать источником получения аммиака, водорода, высших спиртов, ацетилена, метанола и прочих веществ, которые будут использованы при производстве материальных благ [4], [18], [30].

Первым этапом производства является получение из природного газа синтез-газа, в состав которого ходят диоксид и оксид углерода, водород и некоторое количество азота, аргона и метана [30].

Производство аммиака в настоящий момент является основным направлением использования природного газа в химической промышленности. Аммиак используется, в основном, для производства удобрений, что является важнейшей задачей обеспечения стабильности мирового общества и позволяет успешно бороться угрозой голода.

Основным и самым сложным элементов в производственной цепочке по выработке аммиака, водорода и метанола являются трубчатые печи конверсии углеродных газов. Надёжность работы трубчатой печи в значительной степени зависит от долговечности трубчатых элементов, работа которых происходит в условиях значительных тепловых и силовых нагрузений.

Трубчатый элемент печи работает при температурах порядка 1000 °С и давлениях до 4 МПа, при этом продолжительность эксплуатации реакционной трубы должна составлять порядка 100 тысяч часов. Вследствие действия высоких температур и давлений в металле реакционных труб развиваются процессы деформационной ползучести. Для изготовления реакционных труб применяют специальные жаропрочные стали.

На основании вышеизложенного следует признать актуальность поставленной цели – повышение производительности и качества сварки реакционных труб печей конверсии углеводородных газов.

# **1 Современное состояние сварки реакционных труб**

## **1.1 Описание изделия и условия его работы**

Для обеспечения потребности российской промышленности реакционными трубами на территории Тольятти создано и успешно функционирует предприятие ООО «Реакционные трубы». Это предприятие поставляет реакционные трубы для реакционного оборудования предприятиям химической и нефтехимической промышленности, для комплектования печей риформинга агрегатов аммиака и метанола.

В развернутом виде в производство реакционных труб включает в себя участок подготовки и загрузки шихтовых материалов, участок выплавки стали на трех индукционных печах по 1000 кг. Для выполнения центробежного литья труб применяются машины центробежного литья в количестве семи единиц. Для обработки труб применяются установки дробеструйной обработки в количестве две единицы. Для правки труб применяется пресс усилием 60 тонн.

Контроль качества изготовления труб проводится визуально-измерительный на специальном участке контроля. Испытание труб проводится на стенде для испытаний сжатым воздухом. Также проверка качества выполняется на стенде для проведения флуоресцентной капиллярной дефектоскопии. При планировании производства труб предусмотрены участок контроля шероховатости и толщинометрии труб, участок капиллярной цветной дефектоскопии внутреннего диаметра труб, а также фасок и кромок.

Также на предприятии имеется участок отрезки технологической обрезки и дефектных участков труб. На этом же участке расположено оборудование для расточки внутреннего диаметра труб в количестве три единицы. Подготовку кромок труб под сварку выполняют с применением фаскосъёмного автомата.

Сварку труб выполняют на участке аргонодуговой сварки, на котором расположено два сварочных стенда. Для сборки и сварки труб применяется как ручная дуговая сварка, так и аргонодуговая сварка неплавящимся электродом. Контроль качества труб проводится гидравлическим испытанием. Цех по производству реакционных труб представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Изготовление реакционных труб

Реакционная труба, представленная на рисунке 2, является сварной плетью, наружным диаметром 122 мм и толщиной стенки 10 мм. Труба выполнена из железо-никелевого сплава 45X25H35БС (по ТУ 1333-086-00220302-2004) с приваренными к ней верхними и нижними фланцами, вваренными в нее, в соответствии с чертежом бобышками для пристыковки линий ввода сырья и вывода продукции для последующего технологического процесса. Внутри реакционной трубы предусмотрено расположение катализаторной опоры и никелевого катализатора для проведения реакции пароуглекислотной конверсии.

Труба реакционная при помощи сварки изготавливается из нескольких частей: трубной заготовки (обозначена на рисунке позицией 5), верхнего фланца с крепёжным элементом (обозначен на рисунке позицией 1), нижнего фланца с опорным элементом (обозначен на рисунке позицией 2), бобышки (обозначена на рисунке позицией 4) и упора (обозначен на рисунке позицией 5).



Реакционные трубы сваривают из отдельных элементов длиной 4500 метров в плети длиной до 16 метров. На рисунке 3 представлены реакционные трубы после сборки и сварки. Заготовки для производства реакционных труб представлены на рисунке 4-а. Выполняют расточку торцев на трубных заготовках, как показано на рисунке 4-б и нарезают фаску, как показано на рисунке 4-в. Сваренные плети представлены на рисунке 4-г.



Рисунок 3 – Реакционные трубы в цехе после сборки и сварки

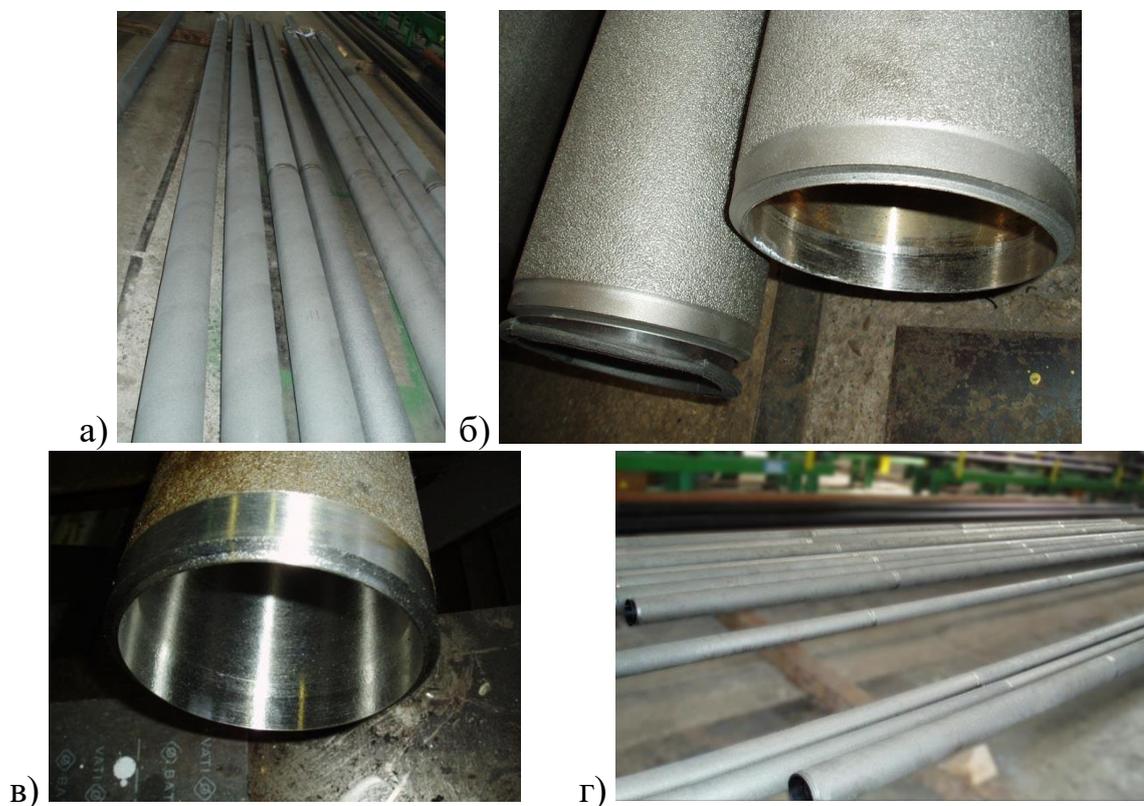


Рисунок 4 – Этапы производства плетей для реакционных труб

Эксплуатация реакционных труб проходит в сложных условиях температурного и силового нагружения. При этом в результате протекающих химических реакций происходит образование веществ, которые проявляют химическую активность по отношению к аустенитным сталям. Вследствие перемещения по длине трубы точки росы происходит конденсирование на поверхности трубы хлоридов и образование отложений, которые накапливаются на поверхности трубы и представляют для неё серьёзную угрозу. На рисунке 5 представлен внешний вид отложений на элементе реакционной трубы. При длительной эксплуатации реакционной трубы происходит образование на поверхности «срывов», которые представлены на рисунке 6-а и трещин в теле трубы, которые представлены на рисунке 6-б.



Рисунок 5 – Внешний вид отложений на элементе реакционной трубы



Рисунок 6 – Примеры разрушения реакционных труб: зона «срыва» (а) и трещина в теле трубы (б)

При смещении границы точки росы происходит растворение отложенных на теле трубы солей. В результате действия турбулентных потоков образуется аэрозоль, и в результате действия завихрений в парогазовой смеси происходит отрыв конденсата вместе с частицами основного металла. На поверхности трубы происходит образование «языков», которые имеют винтообразную форму.

При дальнейшей эксплуатации реакционной трубы вдоль этих «языков» начинают образовываться трещины.

## **1.2 Сведения о материале для изготовления труб**

Для изготовления элементов реакционных труб применяются жаростойкие стали. Нижний опорный фланец с опорным элементом выполняется из стали 16ГС. Верхний опорный фланец с подвесным элементом выполняется из стали 15ХМ. Трубная заготовка и бобышка выполняются из стали 45Х25Н35БС.

Сталь 16ГС относится к конструкционным низколегированным сталям и широко применяется при изготовлении сварных конструкций. Сваривается сталь без ограничений. Содержание химических элементов в стали 16ГС представлено в таблице 1. Сталь 16ГС потенциально склонна к образованию горячих трещин [14].

Для того, чтобы обеспечить уменьшение склонности к образованию горячих трещин при сварке, следует поддерживать минимальную длину дуги, а сварку вести без поперечных колебаний. Необходимо выполнять тщательное заплавление кратеров, которые запрещено выводить на основной металл. Кратерные трещины, образовавшиеся при обрыве дуги необходимо полностью зачищать перед возобновлением дуги. Необходимо оптимизировать конструкцию изделия, отдавая предпочтение стыковым соединениям перед тавровыми и нахлесточными соединениями.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в стали 16ГС [28], [29]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As
0.12-0,18	0,4-0,7	0,9-1,2	до 0,3	до 0,04	до 0,035	до 0,3	до 0,08	до 0,3	до 0,08

Сталь 15ХМ относится к низколегированным жаропрочным сталям и нашла применение для изделий, которые работают в условиях высокого давления и температуры. Содержание химических элементов в стали 15ХМ представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Содержание химических элементов в стали 15ХМ [28], [29]

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	P	S
0,15	0,27	0,55	0,95	0,48	0,3	до 0,035	до 0,035

За счёт содержания в стали хрома обеспечивается её высокая жаростойкость, которая проявляется в сопротивлении процессу окисления при повышенных температурах. При температурах эксплуатации до 450 °С хром способен предотвращать графитизацию. Также хром предотвращает графитизацию при выполнении сварочных работ. Также добавка хрома порядка 1 % повышает прочность стали в 1,5...2 раза по сравнению с низкоуглеродистыми сталями.

Совместное содержание в стали молибдена и хрома позволяет повысить длительную прочность и сопротивление ползучести. Также молибден при сварке стали образует упрочняющий интерметаллид Fe<sub>2</sub>Mo. Молибден препятствует росту зерна при перегреве и обеспечивает мелкозернистую структуру стали, повышая прокаливаемость и прочность.

При сварке стали 15ХМ приходится устранять сопровождающие трудности, к которым относят [28]: разупрочнение околошовной зоны, охрупчивание и образование холодных трещин.

Сталь 45Х25Н35БС относится к низколегированным жаропрочным сталям и нашла применение для изготовления центробежных труб, работа которых проходит в условиях высоких температур и давления, например, в

реакторных печах для производства аммиака, водорода, этилена. Содержание химических элементов в стали 45X25H35BC представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Содержание химических элементов в стали 45X25H35BC [24]

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

«Высокоуглеродистый хромоникелевый жаропрочный сплав 45X25H35BC является чисто аустенитным и выплавляется только в индукционных печах с основной футеровкой (кислая футеровка приводит к обезуглероживаю сплава) и с использованием чистых шихтовых материалов (первородной шихты). Отходы, обрезь и другие загрязненные материалы при выплавке заявленного сплава не используются. Специфика нагрева и расплавления металла в индукционных печах без образования электрической дуги (в отличие от электродуговых печей) не требует наведения шлаков на поверхности жидкого металла с переводом ряда примесей в наведенный шлак и последующим его удалением. Кроме того, применение высокочастотного принципа нагрева в индукционной печи обеспечивает хорошее перемешивание компонентов сплава в процессе выплавки, что дополнительно снижает отрицательное воздействие ликвационных процессов. Плавление в индукционной печи происходит в футерованном индукторе. Таким образом, жаропрочный сплав защищен от любых загрязнений. Жаропрочный сплав при плавлении в индукционных печах защищен от насыщения продуктами сгорания топлива (в отличие от плавления в мартеновских и др. печах), от науглероживающего влияния электродов (в отличие от плавления в электродуговых печах) и от насыщения газами (азотом и др.) из окружающей атмосферы (в отличие от плавления в электродуговых печах при наличии сверхвысокотемпературной электрической дуги)» [24].

Высокая совокупная концентрация никеля и хрома позволяет повысить стабильность аустенита. Но при этом следует учитывать, что содержащийся в

стали кремний может способствовать образованию некоторого количества феррита.

При выполнении сварных соединений в конструкциях из стали 45Х25Н35БС приходится преодолевать затруднения в виде образования горячих трещин, межкристаллитной коррозии и охрупчивания околошовной зоны.

Для того, чтобы обеспечить уменьшение склонности к образованию горячих трещин при сварке стали 45Х25Н35БС, следует поддерживать минимальную длину дуги, а сварку вести без поперечных колебаний. Необходимо выполнять тщательное заплывание кратеров, которые запрещено выводить на основной металл. Кратерные трещины, образовавшиеся при обрыве дуги необходимо полностью зачищать перед возобновлением дуги. Необходимо оптимизировать конструкцию изделия, отдавая предпочтение стыковым соединениям перед тавровыми и нахлесточными соединениями.

Для борьбы с межкристаллитной коррозией, необходимо принимать такую последовательность заварки швов, чтобы работающие в условиях коррозионной среды швы выполнялись в последнюю очередь. Также необходимо вести сварку на пониженном токе, применять принудительное охлаждение и повышенную скорость сварки. Сварку следует выполнять без колебаний электродами малого диаметра. Полирование поверхности сварного шва повышает стойкость по отношению к межкристаллитной коррозии.

Охрупчивание околошовной зоны проявляется в снижении пластических свойств основного металла в процессе длительной работы при повышенных температурах. При этом, если металл в процессе сварки нагревался до температур 350...550 °С, то охрупчивание происходит вследствие образования в нём феррита. Если в процессе сварки металл подвергался нагреву до температур 550...850 °С, то охрупчивание происходит вследствие стигматизации [28].

### **1.3 Описание операций базового технологического процесса сборки и сварки**

Подлежащие сварке заготовки реакционных труб, их элементы (фитинги) и коллекторы должны иметь сертификаты качества и отвечать требованиям нормативной документации (ТУ, РД, ГОСТ и т.д.), согласно которой они были изготовлены. Это касается как изделий изготавливаемых на предприятии, так и закупаемых в сторонних организациях.

Процесс получения заготовок реакционных труб и коллекторов проводится в плавильно-разливочном отделении. Заготовки центробежного литья после литейного участка проходят обработку наружной поверхности на дробеструйных установках нержавеющей дробью, очищенным заготовкам проводится правка на прессе в соответствие с требованиями технологического регламента, пневмоиспытание сжатым воздухом в воде на давление 5 атм. Далее – флюоресцентный контроль на стенде, отбраковка по результатам контроля, выборка годных участков ,расточка до необходимого по заказу диаметра, контроль шероховатости обработанной поверхности, замеры разнотолщинности полученных заготовок, контроль методом цветной дефектоскопии участков трубы, предназначенных для изготовления фасок, изготовление фасок для сварки на фаскосъемном автомате, подбор комплектов заготовок для сварки плети реакционной трубы по длине.

Производство сварной продукции (плетей реакционных труб и собственно реакционных труб) проводится на сварочном участке.

Сварка трубных центробежно-литых заготовок в плеть проводится на автомате аргонодуговой сварки компании Esab модель Protig 450. Сварка плетей с фитингами (фланцами, переходами, отводами, газоотводящими трубками, велдолетами) проводится вручную с использованием сварочных аппаратов ручной дуговой и аргонодуговой сварки компании Esab моделей AristoArc 400 A4 (ручная дуговая сварка) и AristoTig 4000i, OrigoTig 3000i

(ручная аргодуговая сварка) на специальных сборочных стандах, обеспечивающих удобные условия для сварки.

Применение того или иного способа ручной сварки зависит от применяемой при сварке реакционных труб технологии и требований технического задания заказчика.

На рисунке 7 представлен сварочный источник питания Protig 450, работа которого возможна совместно с головками для автоматической сварки A22 и A25. Возможна реализация компьютерного управления процессами сварки с использованием системы Weldox WMSTM 4000, что достигается использованием блока RS 232, обеспечивающего связь источника питания с компьютером.



Рисунок 7 – Автоматическая сварка при помощи источника Protig 450

На рисунке 8 представлен сварочный аппарат AristoArc для ручной дуговой сварки, который собран на базе инверторного источника питания. Корпус сварочного аппарата изготовлен из алюминия, что существенно повышает его долговечность и снижает вес.

Сварочный выпрямитель Aristo Tig 4000i, который представлен на рисунке 9, является самым мощным источником производства ESAB для TIG сварки постоянным током. Прочный корпус из алюминиевого сплава Alutech. Встроенный воздушный фильтр. Можно использовать панели TA4 или TA6. Обе панели предназначены для управления режимами сварки TIG и MMA. TA6 дополнительно позволяет применять импульсную сварку, имеет

расширенные функции MMA сварки и память. Система может быть дополнена блоком водяного охлаждения. Как и на все аппараты ESAB гарантия 2 года.



Рисунок 8 – Аппарат для ручной дуговой сварки AristoArc 400 A4



Рисунок 9 – Сварочный аппарат Aristo Tig 4000i

Профессиональный сварочный аппарат для ответственной аргонодуговой сварки в промышленности и для ремонтных работ OrigoTig 3000i, который представлен на рисунке 10, разработан для высококачественной TIG сварки. Этот аппарат обеспечивает легкость зажигания и стабильность дуги. Может качественно сваривать все типы нержавеющей и малоуглеродистых сталей и большинство других материалов толщиной от 0,5 мм. Сварочный ток может регулируется в широком диапазоне до 300 А. Прочный и надежный инверторный сварочный аппарат. Достоинством этого аппарата являются высокая производительность и

качество сварки. TIG сварка постоянным током в импульсном режиме обеспечивает легкость управления величиной тепловложения и сварочной ванной.



Рисунок 10 – Сварочный аппарат OrigoTig 3000i

Все сварочное оборудование, применяемое для изготовления продукции в ООО «Реакционные трубы», поставлено шведской компанией Esab. Сварочное оборудование, сварочные технологии и сварочные материалы используемые в работе аттестованы в соответствии с требованиями НАКС РФ.

Для подготовки кромок применяют механическое оборудование. На рисунке 11 представлены требования к разделке кромок и геометрии сварного шва № 1. На рисунке 12 требования к разделке кромок и геометрии сварного шва № 2. На рисунке 13 представлены требования к разделке кромок и геометрии сварного шва № 3.

Кромки элементов необходимо очистить на ширину 20 мм с внешней внутренней стороны трубы и обезжирить. Далее выполняют визуальный контроль состояния кромок невооружённым глазом и с применением лупы. После этого проводят капиллярный контроль и радиографический контроль.

При обнаружении дефектов их исправляют с применением абразивного камня. При этом толщина стенки трубы не должна выходить за минусовой

допуск. Применение сварки при исправлении дефектов на торце трубы не допускается. В случае обнаружения неустранимых дефектов на торце выполняют обрезку трубы и контроль состояния торцев.

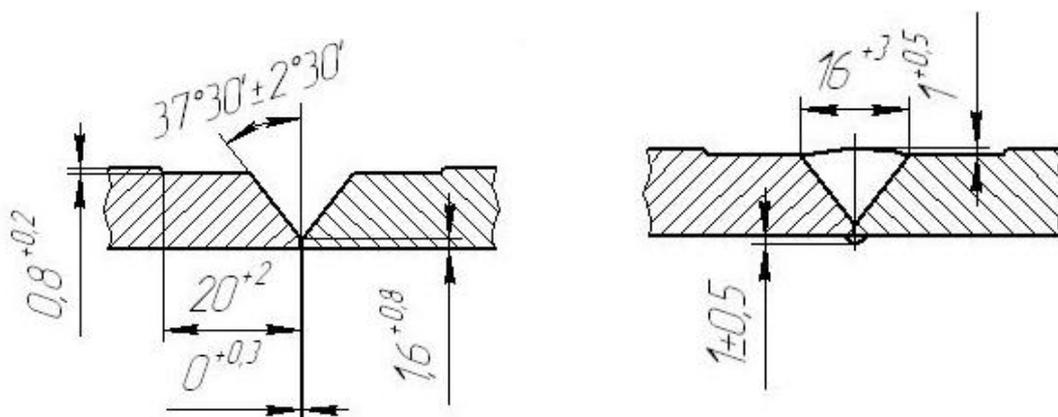


Рисунок 11 – Требования к разделке и геометрии шва № 1

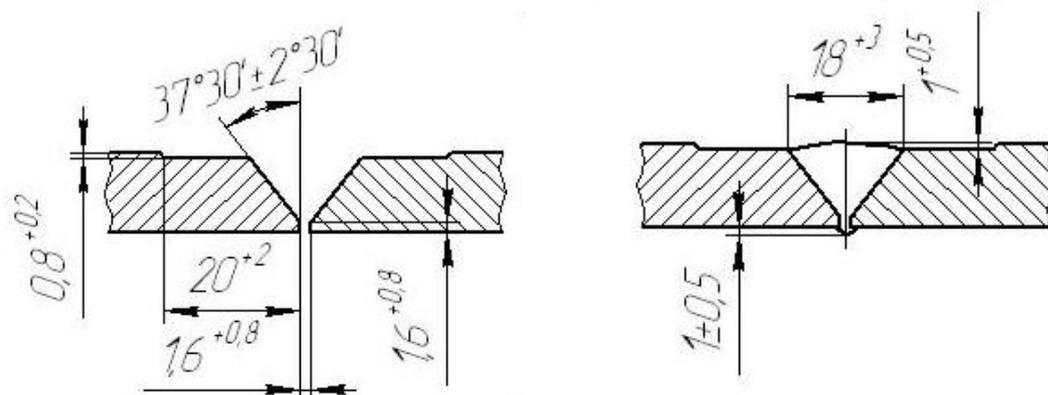


Рисунок 12 – Требования к разделке и геометрии шва № 2

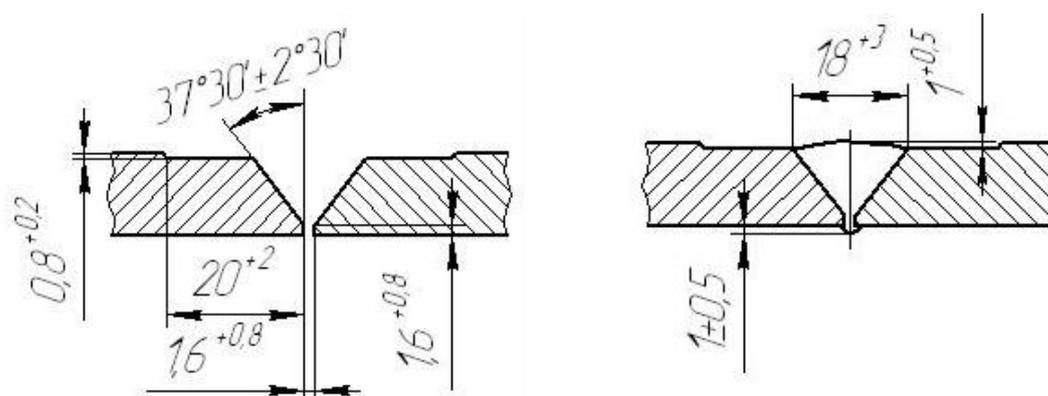


Рисунок 13 – Требования к разделке и геометрии шва № 3

Для сборки под сварки применяется специальный стенд, конструкция которого обеспечивает соосность стыкаемых элементов и позволяет вращать конструкцию для обеспечения оптимального положения при сварке.

Запрещено применять приварку сборочных приспособлений к элементам труб.

При сборке обеспечивается зазор величиной 1,5 мм или отсутствие зазора в зависимости от требований к стыкуемым элементам. Величина смещения элементов не должна превышать 0,5 мм. При сборке проверяется прямолинейность стыка с использованием металлической линейки длиной 400 мм, которую следует прикладывать к стыкуемым трубам в трёх местах по окружности стыка. Величина зазора между трубой и концом линейки не должна превышать 1 мм.

Прихватку стыка выполняют в трёх местах, равномерно расположенных по периметру стыка, длина прихватки составляет 10...15 мм.

Аргонодуговую сварку ведут с поддувом аргона внутрь трубы, что обеспечивает защиту обратной стороны шва. На расстоянии 50...100 мм от стыка устанавливают картонные заглушки, которые уменьшают расход аргона при поддуве.

Диаметры стыкуемых элементов по внутренней стороне не должны различаться более чем на 1 мм, в противном случае следует выполнить проточку с внутренней стороны для выравнивания внутренних поверхностей.

Сварку верхнего фланца и трубы выполняют в нижнем поворотном положении. Температура предварительного подогрева составляет 150 °С.

При выполнении корневого слоя шва способ сварки – аргонодуговая неплавящимся электродом. В качестве неплавящегося электрода применяют прутки ЭВТ-15 диаметром 2 мм. В качестве защитного газа применяют чистый аргон, расход которого составляет 8...10 литров в минуту на защиту ванны и 4...6 литров в минуту на поддув. Силу тока устанавливают 100...110 А, напряжение на дуге 10...11 В. Скорость сварки принимают 70...80 мм в минуту. В качестве присадочной проволоки применяют прутки Св-45Х25Н35БС диаметром 2,4 мм.

При заполнении разделки способ сварки – ручная дуговая. В качестве сварочных электродов применяют ЦТ-28 диаметром 3 мм. Сила сварочного тока 80...100 А. Выполняют два слоя.

Зажигание и гашение дуги производить в разделке трубы или уже на наложенном шве на расстоянии 20-25 мм от его конца. Перекрытие крайними валиками кромок труб должно быть в пределах 1-3 мм. Замки в соседних слоях должны быть смещены один относительно другого на 12-18 мм.

Кратер швов должен быть тщательно заплавлен частыми короткими замыканиями электрода или путем постепенного отвода электрода и вывода дуги назад на 15-20 мм на только что наложенный шов. Выводить кратер на основной металл не разрешается. В таблице 4 приведено сварочное оборудование, которое используется для выполнения швов на изделии.

Таблица 4 – Сварочное оборудование при изготовлении реакционной трубы

Наименование свариваемых элементов	Марка аппарата	Тип сварочного аппарата
сварка плетей труб	OrigoTig 3000i AC\DC	аппарат аргонодуговой сварки
сварка фитингов труб	AristoArc 400 A4	Свар. выпрямитель для ручной дуговой сварки
сварка фитингов труб	AristoTig 4000i	аппарат аргонодуговой сварки
сварка фитингов труб	OrigoTig 3000i AC\DC	аппарат аргонодуговой сварки
сварка фитингов труб	AristoTig DTE 255 AC\DC	аппарат аргоно-дуговой сварки

Гидравлические испытания проводят в соответствии с требованиями проектно-конструкторской документации.

Пробное давление выдерживают в течение 10 минут (испытание на прочность), после чего снижают до расчетного давления, при котором производят тщательный осмотр сварных швов (испытание на герметичность). По окончании осмотра давление вновь повышают до пробного и выдерживают еще 5 минут, после чего снова снижают до расчетного и вторично осматривают трубу. Продолжительность испытания на прочность и

герметичность определяется временем осмотра трубы. Результаты гидравлического испытания на прочность и герметичность принимаются удовлетворительными, если во время испытания не произошло разрывов, видимых деформаций, падения давления по манометру, а в основном металле и сварных швах не обнаружено течи и запотевания.

Дефектные сварные соединения удаляются, свариваются вновь и подлежат повторному контролю, если при испытании будут обнаружены: падение давления по манометру, пропуски испытательной среды (течь, потение, пузырьки воздуха или газа), признаки разрыва, остаточные деформации конструкции.

В сварных соединениях не допускаются следующие внешние дефекты

- трещины всех видов и направлений;
- свищи и пористость;
- подрезы, наплывы, прожоги и незаправленные кратеры;
- смещение и совместный увод кромок свыше предусмотренных норм;
- несоответствие формы и размеров швов требованиям чертежа.

В сварных соединениях не допускаются следующие внутренние дефекты:

- трещины и микротрещины всех видов и направлений;
- непровары;
- свищи, поры в виде сплошной сетки;
- единичные шлаковые и газовые включения глубиной выше 10% от толщины стенки, при этом количество дефектов должно быть не более пяти штук на стык;
- цепочки пор и шлаковых включений, имеющих суммарную длину дефектов более толщины стенки на участке шва, равном десятикратной толщине стенки;
- скопление газовых пор и шлаковых включений на отдельных участках шва свыше пяти штук на  $1 \text{ см}^2$  площади шва.

## **1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы**

В настоящей работе преследуется цель – повышение производительности и качества сварки реакционных труб печей конверсии углеводородных газов.

Базовая технология сварки реакционных труб предусматривает применение аргонодуговой сварки неплавящимся электродом.

Применение аргонодуговой сварки неплавящимся электродом ограничивается из-за недостатков этого способа сварки. Первым недостатком является низкая производительность процесса, кроме того, приходится постоянно выполнять заточку неплавящегося электрода, что также снижает производительность. Вторым недостатком является необходимость использования в качестве защитного газа дорогостоящих аргона, гелия или их смесей, что существенно повышает стоимость аргонодуговой сварки неплавящимся электродом. Третьим недостатком является высокая стоимость и сложность обслуживания сварочного оборудования. Четвёртым недостатком является необходимость привлечения сварщиков высокой квалификации.

Исходя из этого могут быть сформулированы задачи выпускной квалификационной работы, решение которых обеспечит достижение поставленной цели.

В исполнительском разделе предстоит выполнить задачи, относящиеся к технологическим вопросам

Первой такой задачей является обоснование выбора способа сварки. При её решении необходимо перечислить альтернативные способы сварки, применение которых к рассматриваемой конструкции позволяет обеспечить эффективность производства и требуемое качество продукции. Далее, на основании анализа недостатков и преимуществ каждого способа следует выставить экспертную оценку. По результатам такой оценки следует

обосновать выбор способа сварки, который будет применён при построении проектной технологии сборки и сварки.

Второй задачей является повышение эффективности выбранного способа сварки применительно к рассматриваемой конструкции. При выполнении этой задачи предстоит рассмотреть предлагаемые современными исследователями решения для расширения технологических возможностей выбранного ранее способа сварки. В ходе выполнения этой задачи необходимо основной упор делать на отечественные разработки, что позволит обеспечить независимость российской промышленности от иностранных технологий и оборудования [15], [21].

Третьей задачей является построение проектной технологии сварки. Построение карты технологического процесса предусматривает составление перечня технологических операций, выбор основного и вспомогательного сварочного оборудования, назначение оптимальных параметров режима и формулировка технологических требований на выполнение операций.

В оценочном блоке предстоит выполнение ещё двух задач, связанных с оценкой предлагаемых решений на предмет возможности и целесообразности их внедрения.

Необходимо выполнить идентификацию опасных и вредных производственных факторов, которые возникают в ходе реализации проектной технологии. На основании нормативной документации по обеспечению безопасности технологических процессов требуется предложить меры по их нейтрализации. Также необходимо выполнить экологическое обоснование предлагаемых решений [5], [7].

Для экономического обоснования следует провести расчёт и сопоставительный анализ экономических показателей базовой и проектной технологии [16], [17], после чего можно сделать вывод о целесообразности внедрения предлагаемых решений в современное производство.

## 2 Проектная технология сборки и сварки реакционных труб

### 2.1 Обоснование выбора способа сварки

Элементы реакционных труб выполняются из коррозионностойкой стали 45Х25Н35БС и жаропрочной стали 15ХМ. С учётом состава этих сталей при изготовлении конструкций могут применяться такие способы сварки:

- «ручная дуговая сварка с применением штучных электродов;
- механизированная сварка с применением плавящегося электрода в защитных газах;
- сварка с применением неплавящегося электрода в инертных газах;
- сварка под слоем флюса;
- плазменная сварка» [3], [27].

При обосновании выбора способа сварки необходимо принимать во внимание свариваемость материала конструкции, техническую и финансовую возможность предприятия по применению дорогостоящего и уникального оборудования, квалификацию персонала и возможность его переобучения, производительность сварки и другие критерии [10], [22].

На рисунке 14 представлены схемы выполнения рассматриваемых способов сварки.

Схема выполнения ручной дуговой сварки представлена на рисунке 14-а. Этот способ сварки получил самое широкое распространение при изготовлении сварных конструкций. Широкое применение ручной дуговой сварки объясняется высокой универсальностью способа и гибкостью технологического процесса. В настоящее время доля соединений, получаемых с применением ручной дуговой сварки, неуклонно снижается, а сама ручная дуговая сварка уступает место более производительным и перспективным процессам [6], [20], [22].

Автоматическая сварка под флюсом, схема выполнения которой показана на рисунке 14-б, позволяет существенно повысить производительность и качество выполнения сварочных работ. При этом существенно улучшаются условия труда сварщика [8], [31].

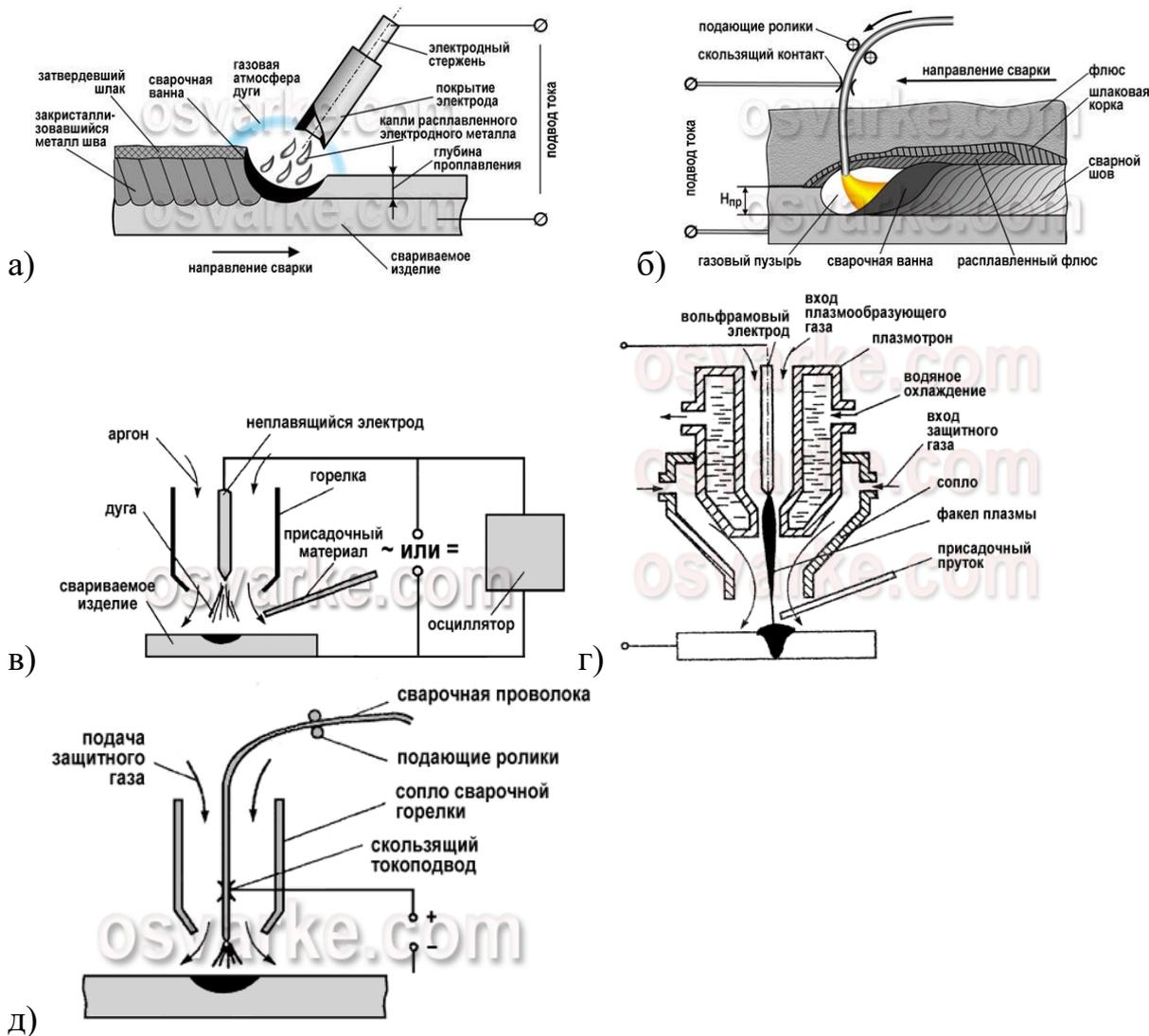


Рисунок 14 – Схемы выполнения рассматриваемых способов сварки

В числе преимуществ аргонодуговой сварки неплавящимся электродом, схема выполнения которой представлена на рисунке 14-в, следует указать, в первую очередь, высокое качество сварного шва. Этот способ сварки широко применяется в составе комбинированной сварки, когда с применением аргонодуговой сварки неплавящимся электродом выполняются прихватки и коневой слой шва, а заполнение разделки выполняется с применением ручной дуговой сварки. Также существует

возможность сварки металлов с особыми свойствами за счёт регулирования состава наплавленного металла [33]. Сварка неплавящимся электродом характеризуется условиями труда, намного лучшими, чем ручная дуговая сварка.

Высоколегированные стали сваривают плазменной сваркой, схема выполнения которой представлена на рисунке 14-г. Преимуществами этого способа являются чрезвычайно малый расход защитного газа, возможность получения плазменных струй различного сечения и изменения расстояния от плазменной горелки до изделия.

При механизированной сварке проволокой сплошного сечения в защитных газах плотность тока, а значит, и производительность, могут быть увеличены по сравнению с ручной дуговой сваркой. На рисунке 14-д представлена схема выполнения механизированной сварки в защитных газах. При сварке в углекислом газе расплавленный металл обладает повышенной вязкостью, что упрощает удержание сварочной ванны при выполнении вертикальных и потолочных швов [35].

В мире интенсивно ведутся работы в области расширения технологических возможностей механизированной сварки в защитных газах [32], [34]. Первым направлением следует указать поиск оптимальных газовых смесей, которые позволят повысить пространственную стабильность сварочной дуги, уменьшить разбрызгивание и улучшить внешний вид сварных швов. Вторым направлением следует указать построение систем импульсного управления сваркой за счёт импульсной подачи сварочной проволоки или импульсного изменения электрических параметров сварки (ток и напряжение). Полученные результаты позволяют существенно повысить производительность и качество сварки, улучшить внешний вид соединений. При этом удаётся получить сочетание производительности механизированной сварки и качества, которое становится соизмеримо с качеством соединений, выполненных с применением аргонодуговой сварки неплавящимся электродом [12], [25].

## 2.2 Повышение эффективности выбранного способа сварки

Эффективность сварки в защитных газах в значительной степени определяется типом переноса электродного металла, который влияет на тепловой баланс при сварке, пространственную устойчивость сварочной дуги, металлургические процессы, геометрию сварного шва, образование дефектов, потери на угар и разбрызгивание [11], [25], [26].

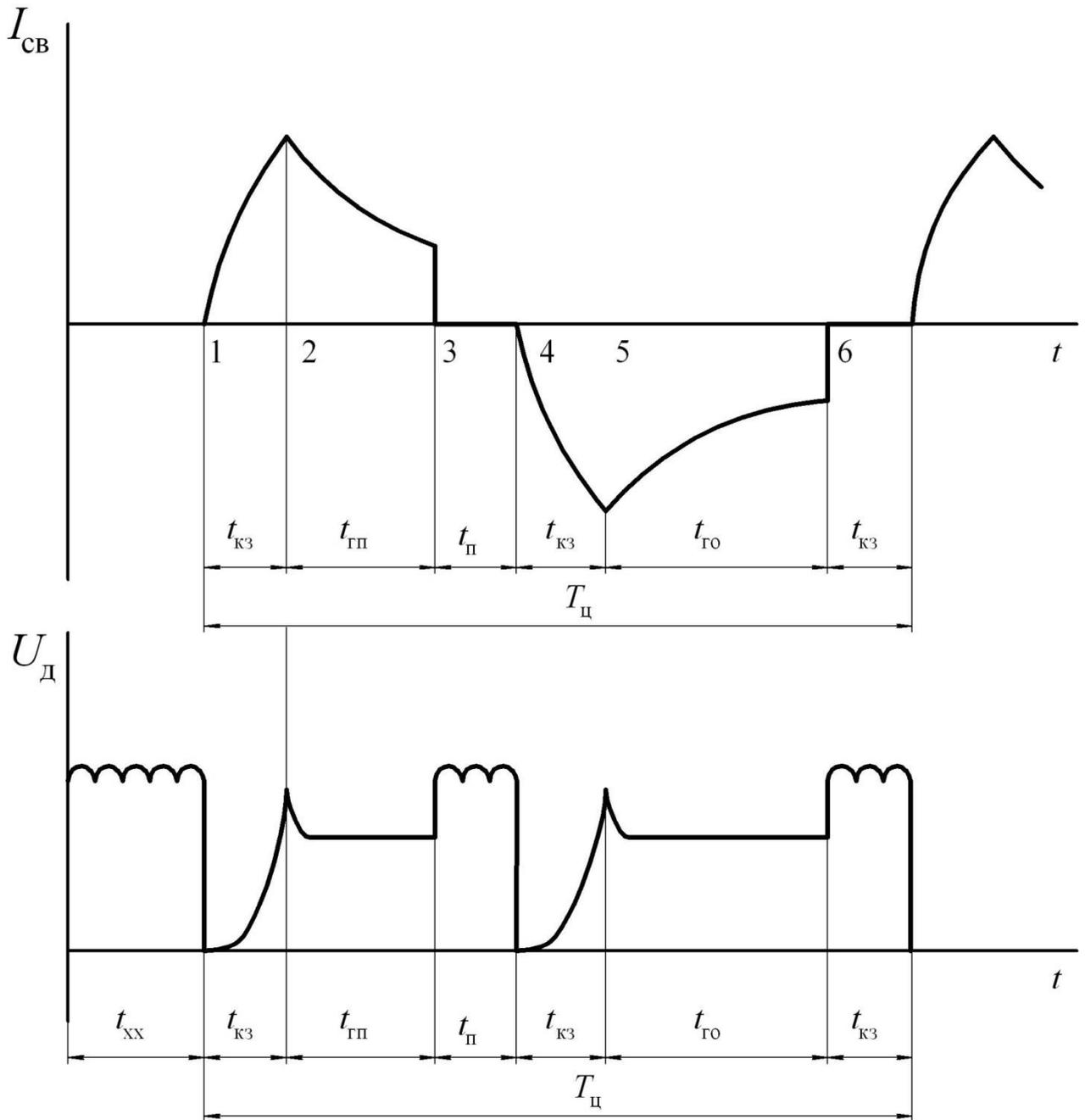
Применение импульсных источников питания сварочной дуги позволяет реализовать преимущества сварки в защитных газах и уменьшить её недостатки [9]:

- происходит существенное уменьшение потерь металла на угар и разбрызгивание, кроме того, устранение разбрызгивания позволяет существенно улучшить качество сварки, улучшить внешний вид изделий и повысить производительность;
- при сварке в различных положениях повышается стабильность горения дуги и качество выполнения сварных швов;
- существенно повышается качество сварных швов в узкую разделку и при выполнении корневого слоя шва, улучшается проплавливающая способность дуги;
- протекание металлургических процессов при кристаллизации сварного шва носит более благоприятный характер, что повышает эксплуатационные свойства сварных соединений.

Для импульсного управления сварочной дугой предлагается использовать разработку отечественных исследователей-сварщиков [1].

Осциллограммы тока и напряжения при сварке представлены на рисунке 15. Режим короткого замыкания начинается в момент времени 1. На диапазоне 1-2 в течение времени  $t_{кз}$  источник работает в режиме короткого замыкания. После окончания короткого замыкания в момент времени 2 происходит возбуждение сварочной дуги на прямой полярности. На диапазоне 2-3 в течение времени  $t_{гп}$  горит дуга прямой полярности, и

происходит дозирование энергии на расплавление одной капли электродного металла.



- $t_{кз}$  – интервал короткого замыкания дугового промежутка;
- $t_{хх}$  – интервал холостого хода источника питания;
- $t_{гп}$  – длительность горения дуги на прямой полярности;
- $t_{по}$  – длительность горения дуги на обратной полярности;
- $t_{п}$  – длительность паузы тока перед коротким замыканием;
- $T_{ц}$  – длительность цикла плавления и переноса электродного металла

Рисунок 15 – Осциллограммы тока и напряжения при сварке по предлагаемому способу

По окончании периода времени  $t_{гп}$  в момент времени 3 происходит обрыв сварочной дуги. На диапазоне 3-4 в течение времени  $t_{г}$  сварочный ток не протекает. За это время под действием сил поверхностного натяжения капля расплавленного металла располагается соосно с электродом. В момент времени 4 начинается фаза короткого замыкания, и происходит смена полярности источника питания.

В диапазоне 4-5 в течение времени  $t_{кз}$  источник работает в режиме короткого замыкания. В момент времени 5 начинает гореть дуга на обратной полярности, которая горит в диапазоне 5-6 в течение времени  $t_{го}$ . В момент времени 6 происходит обрыв дуги. С учётом особенностей плавления электродного металла при горении дуги на прямой обратной полярности время  $t_{го}$  горения дуги на обратной полярности устанавливают в 1,3...1,5 раза больше времени  $t_{гп}$  горения дуги на прямой полярности.

Функциональная схема устройства для обеспечения предлагаемого способа управления горением сварочной дуги представлена на рисунке 16. Параллельно источнику постоянного тока (обозначен на рисунке позицией 1) подключен тиристорный преобразователь. При этом к положительному полюсу источника 1 подключены силовые тиристоры анодной группы (обозначены на рисунке позициями 2 и 3) и сглаживающий дроссель (обозначен на рисунке позицией 4).

К отрицательному полюсу источника питания подключены силовые тиристоры катодной группы (обозначены на рисунке позициями 5 и 6) и коммутирующий дроссель (обозначен на рисунке позицией 7).

Два диода (обозначены на рисунке позициями 8 и 9) шунтируют силовые тиристоры 2 и 3 анодной группы в обратном направлении. К отрицательному полюсу источника питания 1 подключена нижняя обкладка конденсатора фильтра (обозначен на рисунке позицией 10). Верхняя обкладка конденсатора 10 подключена к анодной группе через блокирующий диод (обозначен на рисунке позицией 11).

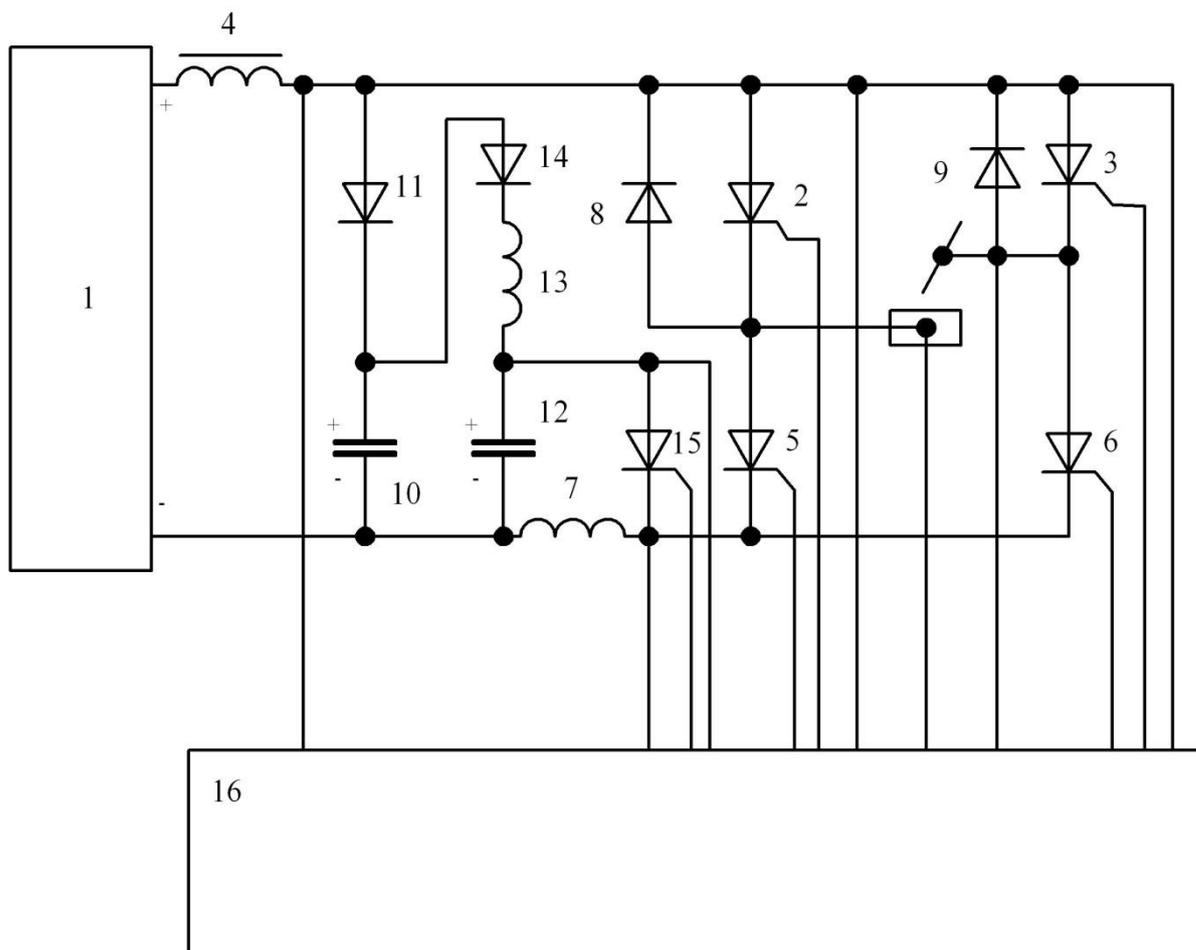


Рисунок 16 – Функциональная схема устройства для осуществления способа

К отрицательному полюсу источника питания 1 подключена нижняя обкладка коммутирующего конденсатора (обозначен на рисунке позицией 12). Верхняя обкладка коммутирующего конденсатора 12 подключается к верхней обкладке конденсатора фильтра 10 через зарядный дроссель и блокирующий диод (обозначены на рисунке позициями 13 и 14). Верхняя обкладка коммутирующего конденсатора 12 подключается к катодной группе тиристоров через вспомогательный тиристор (обозначен на рисунке позицией 15).

Управление схемой происходит от блока управления тиристорами (обозначен на схеме позицией 16).

## 2.3 Описание операций технологического процесса сварки реакционных труб

Кромки элементов необходимо очистить на ширину 20 мм с внешней и внутренней стороны трубы и обезжирить. Далее выполняют визуальный контроль состояния кромок невооружённым глазом и с применением лупы. После этого проводят капиллярный контроль и радиографический контроль.

При обнаружении дефектов их исправляют с применением абразивного камня. При этом толщина стенки трубы не должна выходить за минусовой допуск. Применение сварки при исправлении дефектов на торце трубы не допускается. В случае обнаружения неустраняемых дефектов на торце выполняют обрезку трубы и контроль состояния торцев.

Для выполнения фаски на торцах труб применяется фаскорез ВМ-21, который представлен на рисунке 17. Этот фаскорез позволяет снимать фаску и обрабатывать кромку трубы в условиях серийного и мелкосерийного производства. Форма разделки стыкуемых труб представлена на рисунке 18.



Рисунок 17 – Фаскорез ВМ-21

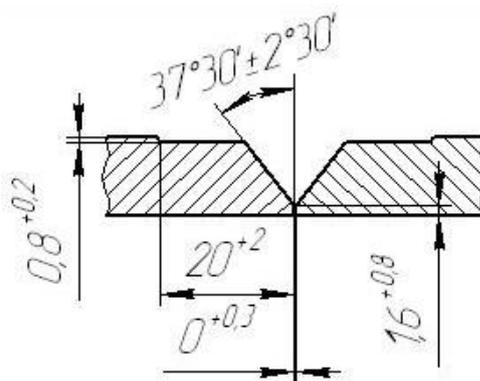


Рисунок 18 – Форма разделки стыкуемых труб

Для сборки под сварки применяется специальный стенд, конструкция которого обеспечивает соосность стыкаемых элементов и позволяет вращать конструкцию для обеспечения оптимального положения при сварке. Запрещено применять приварку сборочных приспособлений к элементам труб.

При сборке обеспечивается зазор величиной 1,5 мм или отсутствие зазора в зависимости от требований к стыкуемым элементам. Величина смещения элементов не должна превышать 0,5 мм. При сборке проверяется прямолинейность стыка с использованием металлической линейки длиной 400 мм, которую следует прикладывать к стыкуемым трубам в трёх местах по окружности стыка. Величина зазора между трубой и концом линейки не должна превышать 1 мм.

Сварку ведут с применением источника питания Aristo Arc и предлагаемого устройства импульсного управления сварочной дугой.

Параметры режима сварки:

- ток сварки 280...300 А;
- напряжение 25...28 В;
- вылет электрода 16...20 мм;
- расход газа 30...40 л/мин;
- сварочная проволока Св-45Х25Н35БС Ø1,6 мм.

Сварку ведут с поддувом аргона внутрь трубы, что обеспечивает защиту обратной стороны шва. На расстоянии 50...100 мм от стыка устанавливают картонные заглушки, которые уменьшают расход аргона при поддуве.

Выполняют сварку корневого слоя шва и двух последующих слоёв. Зажигание и гашение трубы следует производить на разделке или на уже наложенном шве. Необходимо производить послойную очистку. Перекрытие валиками кромок труб должно быть 1...3 мм. Смещение замков в соседних слоях 12...18 мм. Выводить кратер на основной металл запрещено.

## 2.4 Применяемые средства для механизации и автоматизации

Для автоматизации процесса сварки предлагается устройство [19], разработанное отечественными исследователями, которое представлено на рисунке 19. Предлагаемое устройство позволяет с высокой точностью позиционировать относительно свариваемого стыка сварочную горелку. В состав устройства входит корпус (обозначен на рисунке позицией 1), на котором установлены оси (обозначены на рисунке позицией 2), снабжённые подшипниками качения (обозначены на рисунке позицией 3). Относительно подшипников 3 проворачивается планшайба (обозначена на рисунке позицией 4), снабжённая шестернёй (обозначена на рисунке позицией 5). На планшайбе закреплена сварочная горелка (обозначена на рисунке позицией 6).

Окружность, по которой установлены оси 2 с подшипниками 3, имеет диаметр 1,0...1,8 от внутреннего диаметра планшайбы. В свою очередь, внутренний диаметр планшайбы на 2...3 мм больше внешнего диаметра трубы. Наружный диаметр подшипников 3 составляет 10...15 % внутреннего диаметра планшайбы.

При работе устройства происходит вращение планшайбы относительно стыка. При этом планшайба охватывает две трети всех подшипников независимо от положения относительно стыка.

Для сборки стыка труб предлагается применить центратор [23], разработанный отечественными инженерами. Функциональная схема центратора представлена на рисунке 20.

Предлагаемая конструкция центратора позволяет повысить производительность и точность сборочных операций. В основе конструкции лежат два сектора (обозначены на рисунке позициями 1 и 2), которые снабжены центрирующими приводными кулачками (обозначены на рисунке позицией 3). Крепление кулачков 3 выполняется на штоках силовых цилиндров (обозначены на рисунке позицией 4). Установка цилиндров 4

выполняется на секторах 1 и 2, для чего на них выполнены ребра (обозначены позицией 5). В зоне стыка секторов 1 и 2 выполнены выступы (обозначены на рисунке позициями 6 и 7). На торце одного выступа выполнен паз, а на торце другого выступа выполнен зуб. В выступах 6 и 7 выполнены подвижные опоры (обозначены на рисунке позицией 8), которые имеют лыски. На опоры одеваются стягивающие рамки (обозначены на рисунке позицией 9).

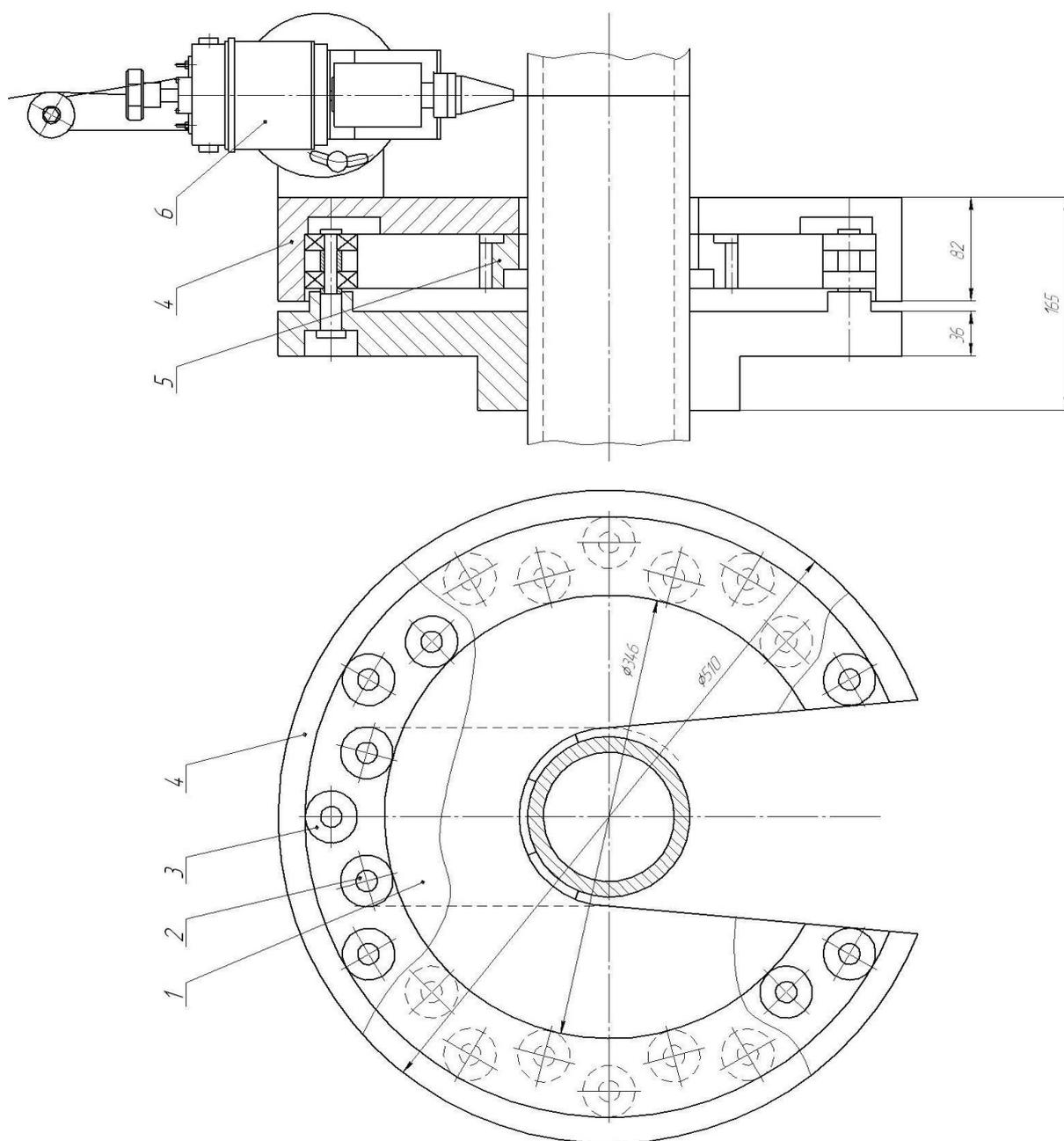


Рисунок 19 – Устройство для сварки стыков труб [19]

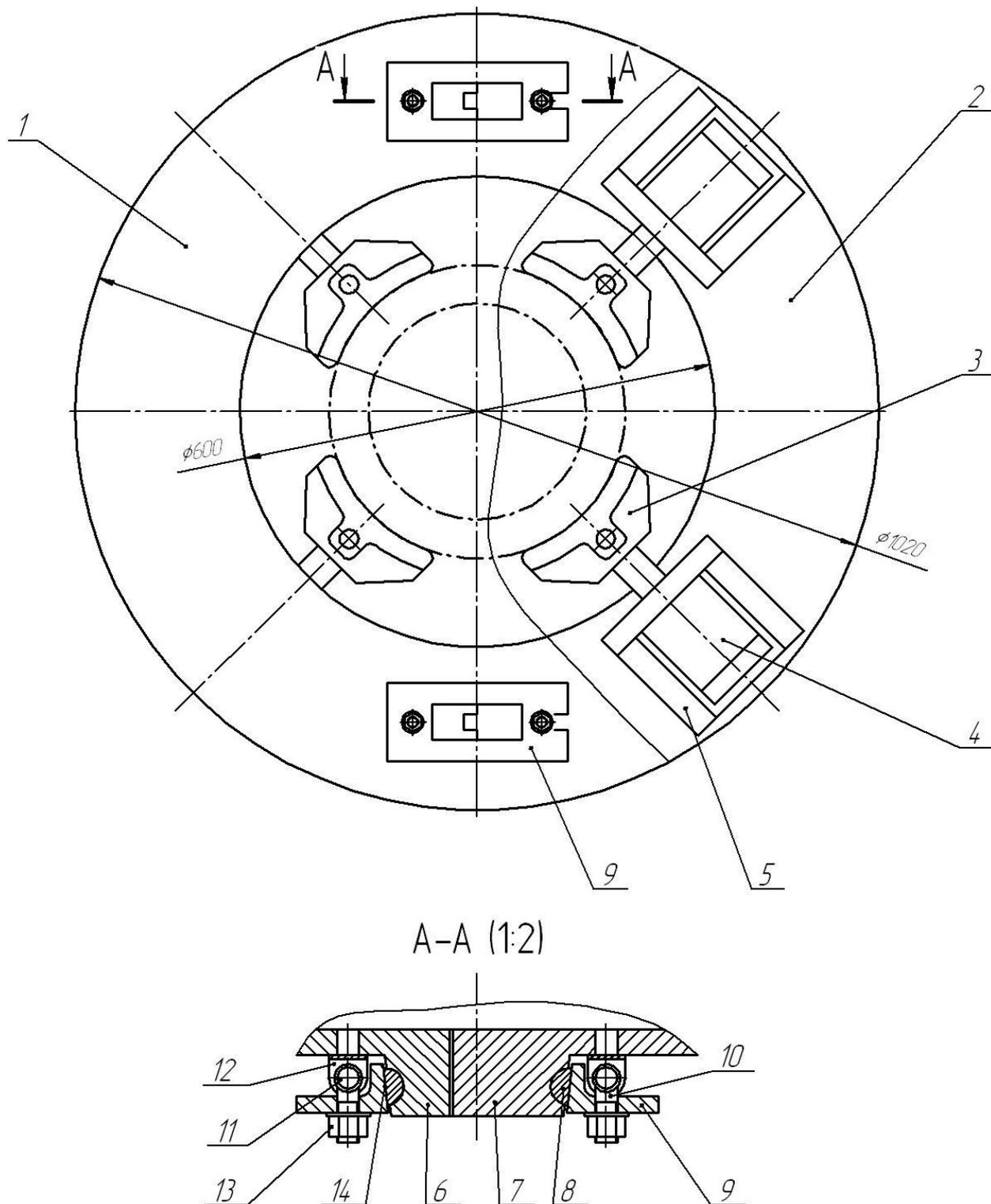


Рисунок 20 – Наружный центратор в сборе

На рамках 9 с одной стороны выполнены отверстия, в которые входят откидные болты (обозначены на рисунке позицией 10). Болты 10 установлены на осях и вилках (обозначены на рисунке позициями 11 и 12),

которые крепятся на секторах 1 и 2. С обратной стороны на рамках 9 выполнены пазы под откидные болты 10, которые снабжены гайками (обозначены на рисунке позицией 13). Контакт рамки 9 с лысками опор 8 происходит по контактными поверхностям (обозначены на рисунке позицией 14).

«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» [23].

В ходе выполнения настоящего раздела выпускной квалификационной работы решались задачи, поставленные в первом разделе.

Дальнейшее выполнение выпускной квалификационной работы предусматривает разработку оценочного блока [13] в котором предстоит оценить экологичность предложенных в работе решений и дать оценку на предмет обеспечения безопасности труда [5], [7].

Также при выполнении оценочного блока предстоит оценить возможный экономический эффект при внедрении предлагаемых решений в производство [16], [17].

### **3 Обеспечение безопасности и экологичности предлагаемых технических решений**

#### **3.1 Конструктивно-технологическая характеристика рассматриваемого объекта**

В ходе выполнения настоящей выпускной квалификационной работы решались вопросы, связанные с повышением эффективности сварочных технологий при изготовлении реакционных труб. Применение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технических решений повлекло за собой изменение технологического процесса сборки и сварки. В свою очередь это может привести к возникновению новых опасных производственных факторов. Защита от этих факторов должна быть выполнена в настоящем разделе выпускной квалификационной работы.

Особенности выполнения операций проектной технологии сборки и сварки представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Особенности выполнения операций проектного технологического процесса

Наименование технологической операции в соответствии с проектным процессом	Привлекаемый для выполнения операции персонал	Перечень применяемого на операции технологического оборудования
Разделка кромок и зачистка	слесарь-сборщик	Фаскорез, шлифовальная машина
Контроль качества	дефектоскопист	Комплект визуально-измерительного контроля
Сборка	слесарь-сборщик	Сборочное приспособление, воздушный компрессор, комплект измерительных инструментов
Сварка	сварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	Источник питания, формирователь сварочных импульсов, механизм подачи, газовая аппаратура
Контроль качества	дефектоскопист	Комплект визуально-измерительного контроля, комплект проникающего контроля

Применение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технических решений повлекло за собой изменение технологического процесса сборки и сварки. В свою очередь это может привести к возникновению новых опасных производственных факторов. Защита от этих факторов должна быть выполнена в настоящем разделе выпускной квалификационной работы.

Представленные в таблице 6 особенности выполнения операций технологического процесса позволят в дальнейшем идентифицировать опасные производственные факторы и предложить методы защиты от них.

### **3.2 Идентификация профессиональных и производственных рисков**

При проведении операций технологического процесса, который был разработан в ходе выполнения настоящей выпускной квалификационной работы, возникают профессиональные и производственные риски, источником которых являются опасные и вредные факторы.

Решение по выбору эффективных средств устранения выявленных опасных и вредных производственных факторов должно основываться на основании идентификации этих факторов. При этом следует учитывать не только опасное воздействие на персонал негативных факторов, но и их кумулятивный эффект при длительном воздействии.

Источником негативных производственных факторов является применяемое на участке оборудование: фаскорез, шлифовальная машина, комплект визуально-измерительного контроля, комплект проникающего контроля, сборочное приспособление, воздушный компрессор, комплект измерительных инструментов, источник питания, формирователь сварочных импульсов, механизм подачи, газовая аппаратура. Идентификация негативных производственных факторов представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Выявление и анализ источников возникновения производственных рисков

Наименование технологической операции	Формулировка вредного или опасного фактора, который возникает в процессе выполнения данной операции технологического процесса
Разделка кромок и зачистка	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;
Контроль качества	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны
Сборка	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;
Сварка	- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение
Контроль качества	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны

В результате действия опасного производственного возможно резкое нарушение физического состояния персонала. В результате действия вредного производственного фактора возрастает риск профессиональных заболеваний.

Дальнейшие работы предусматривают обоснование выбора стандартных методик и технических средств. В крайнем случае, необходимо будет предусмотреть разработку специализированных методик.

### **3.3 Методики и технические средства для устранения профессиональных рисков**

Ранее выполненная идентификация профессиональных рисков позволяет сформулировать опасные и вредные производственные факторы:

- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования,
- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования,
- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны,
- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека,
- повышенная температура поверхностей оборудования, материалов,
- инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации,
- ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений.

Технические средства и организационные мероприятия по защите от перечисленных негативных производственных факторов представлены в таблице 7.

Следует принимать во внимание, что при выполнении сварочных и наплавочных работ содержание вредных веществ в цехе превышает действующие санитарные нормы в 7...10 раз, что подтверждается рядом отечественных и зарубежных исследователей. Поэтому при организации рабочих мест сварщика следует особое внимание уделять общей и местной вентиляции. Также работа сварочных машин сопряжена с риском получения удара электрическим током, так как первичное напряжение на сварочных установках составляет 220 В или 380 В (для случая питания сварочной установки от трёх фаз).

Таблица 7 – Предлагаемые методики и технические средства для обеспечения производственной безопасности

Формулировка вредного или опасного фактора, который возникает в процессе выполнения данной операции технологического процесса	Перечень организационных мероприятий и технических средств, обеспечивающих устранение вредного производственного фактора
1) острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования	1) организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности 2) оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками
2) движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования	1) оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками 2) устройства защитного отключения привода станков 3) ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений
3) повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции
4) повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	1) контроль изоляции и заземления 2) организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности 3) защитное заземление, защитное отключение
5) повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	1) организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности 2) оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками
6) инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	1) ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений 2) защитные экраны
7) ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений	1) ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений 2) защитные экраны

Представленные в таблице 7 технические средства и мероприятия позволяют устранить негативные производственные факторы и обеспечить требуемую безопасность персонала при выполнении проектного технологического процесса. Для индивидуальной защиты жизни и здоровья рабочих предлагается оснастить их средствами индивидуальной защиты. В качестве средств индивидуальной защиты используются: специальная одежда, перчатки, защитные очки, маски, резиновые коврики и средства защиты органов дыхания. Разработки специальных технических средств и организационных мероприятий для защиты персонала не требуется.

### 3.3 Пожарная безопасность рассматриваемого технологического объекта

В процессе осуществления проектного технологического процесса кроме возникновения негативных производственных факторов существует опасность возникновения пожара. При этом необходимо принимать во внимание, что сварочные и наплавочные работы являются источником высокой температуры и излучения. Для защиты предприятия от возможного возникновения пожара следует идентифицировать опасные факторы возможного пожара на рассматриваемом производственном участке, что показано в таблице 8.

Таблица 8 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Наименование участка	Участок, на котором осуществляется сборка и сварка
Наименование оборудования	кран-балка, стапель, набор измерительного инструмента, сварочный трансформатор, система формирования сварочных импульсов, механизм подачи проволоки, газовое оборудование, набор для проведения визуально-измерительного контроля, дефектоскоп
Классификация по виду горящего вещества	Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Наименование основных опасных факторов пожара	Резкое повышение температуры на участке и вокруг него; выделение при горении токсичных продуктов и угарного газа; выделение аэрозолей, снижающих видимость на участке и вокруг него.
Наименование вторичных опасных факторов пожара	Короткие замыкания на оборудовании, запитанном высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения

На основании данных таблицы 8 возможный пожар, который может произойти на рассматриваемом производственном участке, относится к классу «Е», который предполагает горение материалов и веществ при наличии опасного напряжения.

Основными негативными факторами возможного пожара являются тепловой поток, разлетающиеся искры, повышенная температура воздуха,

открытое пламя, токсические продукты термического разложения и горения, плохая видимость вследствие задымления, снижение концентрации кислорода в воздухе.

В результате пожара может быть нарушена целостность несущих конструкций здания, в результате чего оно может потерять устойчивость. Кроме того, наличие газового оборудования при возникновении пожара может привести к хлопкам.

Также следует указать на наличие сопутствующих отрицательных проявлений пожара, к которым относят нарушение целостности изоляции и порчу электрического оборудования, отравление персонала используемыми при тушении химическими веществами, порчу оборудования используемыми при тушении химическими веществами. В таблице 9 приведены технические средства по устранению этих факторов.

Таблица 9 – Технические средства, обеспечивающие устранение опасных факторов при пожаре

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	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели

Предложенные в настоящем разделе технические средства и мероприятия позволяют максимально снизить риск возникновения пожара и своевременно устранить негативные факторы при его возникновении.

### 3.5 Вопросы обеспечения экологической безопасности

При выполнении операций проектного технологического процесса возникает негативное антропогенное действие на окружающую среду. Следование мировой экологической повестки заставляет современное предприятие проводить мероприятия по обеспечению экологической безопасности производственных процессов. При этом следует обеспечить защиты основных элементов нашего ареала обитания: атмосферы, гидросферы и литосферы. Особое внимание следует уделить организации селективного сбора мусора, который в значительных количествах накапливается на производственных участках. Раздельный сбор отходов позволяет выполнять эффективный рециклинг, что не только уменьшает нагрузку на окружающую среду, но и позволяет получать значительный экономический эффект за счёт экономии ресурсов.

Предлагаемые средства для защиты от антропогенного воздействия представлены в таблице 10 и включают в себя набор стандартных методик и технических средств.

Таблица 10 – Предложенные мероприятия по уменьшению антропогенного действия на окружающую среду при реализации проектной технологии

Наименование составляющего среды	Производственный участок сборки и сварки с установленным на нём технологическим оборудованием
Атмосфера	Установка в вентиляционную систему цеха специальных улавливающих фильтров, обеспечивающих задержку выделяющихся при сварке и работе оборудования вредных веществ
Гидросфера	Обеспечить отсутствие протечек масла из гидравлических систем применяемого оборудования. В случае обнаружения таких протечек своевременно их устранять
Литосфера	Размещение на территории предприятия специализированных емкостей для селективного сбора производственного мусора. Проведение инструктажа работников на предмет соблюдения мероприятий по сбору промышленного мусора и отходов.

Таким образом, предложенные мероприятия позволяют уменьшить антропогенное воздействие на окружающую среду.

## **4 Экономическое обоснование предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений**

### **4.1 Анализ исходной информации по базовой и проектной технологиям**

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности сварочных технологий при изготовлении реакционных труб. Применение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технических решений повлекло за собой изменение технологического процесса сборки и сварки.

Так как проектная технология предусматривает применение прогрессивных технологий, приходится считаться с дополнительными финансовыми и трудовыми затратами. При этом необходимо выполнить экономическое обоснование предлагаемых решений, от реализации которых в производстве экономический эффект должен быть положительным. Следует рассчитать капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии, себестоимость изготовления продукции и на основании этого оценить целесообразность внедрения предлагаемых решений с использованием показателей экономической эффективности.

Предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе технические решения, основанные на разработках отечественных исследователей-сварщиков [1], [2], [23], [24] позволяют существенно повысить производительность и качество выполняемых сварочных работ, но их внедрение приводит к некотором увеличении стоимости технологического оборудования.

В таблице 11 представлены исходные данные для проведения экономических расчётов по рассматриваемым вариантам технологии сборки и сварки с учётом рыночной стоимости используемого оборудования и вспомогательных затрат.

Таблица 11 – Исходные данные для проведения экономических расчётов по рассматриваемым вариантам технологии

Экономический показатель	Принятое в расчётной формуле буквенное обозначение показателя	Единица измерения экономического показателя	Значение экономического показателя применительно к базовой и проектной технологиям	
			Базовая технология	Проектная технология
«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	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	$S$	$m^2$	400	400
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эксп}$	(Р/ $m^2$ )/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	Р/ $m^2$	30000	30000
Норма амортизации площади	$На.пл.$	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	$K_{пл}$	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	$E_n$	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [16]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

Дальнейшие расчёты с использованием представленных выше данных предполагают оценку затрат на осуществление технологического процесса по проектному и базовому вариантам.

## 4.2 Оценка фонда времени работы оборудования

При выполнении операций проектного технологического процесса и базового технологического процесса происходит работа оборудования в течение заданного времени. Величина заработной платы и вспомогательных затрат рассчитываются с учётом фонда времени работы оборудования, который следует рассчитать по исходным данным, представленным выше. Также следует принимать во внимание, что время работы оборудования позволяет рассчитать амортизационные отчисления и затраты на производственные площади. В проектом технологическом процессе и базовом технологическом процессе предусматривается выполнение операций в течение одинакового количества смен. Поэтому годовой фонд времени для проектного технологического процесса по отношению к годовому фонду времени базового технологического процесса не изменится.

Количество рабочих дней для одного года принимаем равным  $D_p=277$ , при этом продолжительность рабочей смены составляет  $T_{см}=8$  часов. Также следует принимать во внимание уменьшение рабочей смены на величину  $T_{п}=1$  час в предпраздничные дни, количество которых для одного календарного года составляет  $D_{п}=7$  дней. Для количества рабочих смен  $K_{см}=1$  рассчитываем годовой фонд времени:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $F_H = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209$  часов. Значение эффективного фона рабочего времени следует вычислить с учётом задаваемых потерь рабочего времени  $V=7\%$ :

$$F_3 = F_H(1 - V/100). \quad (2)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $F_3 = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054$  часов.

### 4.3 Оценка штучного времени при выполнении операций проектного и базового вариантов технологии

Величину штучного времени, которое будет затрачиваться на выполнение операций проектного технологического процесса и базового технологического процесса, рассчитываем с учётом нормирования труда по выполняемым операциям согласно технологической карте. Штучное время  $t_{шт}$  включает в себя затраты времени на выполнение основных операций проектного и базового технологического процессов (машинное время  $t_{маш}$ ), подготовительных и вспомогательных операций (вспомогательное время  $t_{всп}$ ), личный отдых (время отдыха  $t_{отд}$ ), подготовительно-заключительное время  $t_{п-з}$  и времени на мелкий ремонт и обслуживание оборудования (время обслуживания  $t_{обсл}$ ):

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $t_{шт.баз} = 15 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 18,2$  часа и  $t_{шт.проектн.} = 4 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 4,9$  часа.

Размер годовой программы  $\Pi_{г}$  рассчитывается с учётом рассчитанных выше штучного времени для проектного и базового вариантов технологии, а также с учётом ранее определённого годового фонда времени работы оборудования:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $\Pi_{г.баз.} = 2054 / 18,2 = 112$  деталей для базового технологического процесса и  $\Pi_{г.пр.} = 2054 / 4,9 = 419$  деталей для проектного технологического процесса. На основании анализа потребности отрасли в рассматриваемом оборудовании принимаем размер годовой программы для проектного варианта технологии и базового варианта технологии  $\Pi_{г} = 100$  деталей в год.

Требуемое количество технологического оборудования определяем с учётом ранее рассчитанного штучного времени для проектного варианта технологии и базового варианта технологии. При этом следует учесть коэффициент выполнения нормы  $K_{\text{вн}} = 1,03$ . Выполняем расчёт:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $n_{\text{расч}} = 18,2 \cdot 100 / (2054 \cdot 1,03) = 0,81$  для базового варианта технологического процесса;  $n_{\text{расч}} = 4,9 \cdot 100 / (2054 \cdot 1,03) = 0,22$  для проектного варианта технологического процесса.

В дальнейшем при выполнении экономических расчётов количество оборудования для выполнения операций базового технологического процесса принимаем  $n=1$ . Количество оборудования для выполнения операций проектного технологического процесса принимаем  $n=1$ . На основании этого выполним расчёт коэффициента загрузки оборудования  $K_{\text{з}}$  для базового и проектного вариантов технологии:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $K_{\text{з}} = 0,81/1 = 0,81$  для базового варианта технологического процесса и  $K_{\text{з}} = 0,22/1 = 0,22$  для проектного варианта технологического процесса.

Значение величины коэффициента загрузки оборудования  $K_{\text{з}}$  для проектного и базового вариантов технологического процесса в дальнейшем понадобятся для расчёта капитальных затрат на построение технологии.

При расчётах следует принимать во внимание, что производительность в проектной технологии по сравнению с базовой технологией значительно увеличилась. Это приводит либо к уменьшению количества применяемого оборудования, либо к уменьшению коэффициента загрузки оборудования. В настоящей выпускной квалификационной работе уменьшается коэффициент загрузки оборудования.

#### 4.4 Расчёт заводской себестоимости при осуществлении операций технологического процесса по рассматриваемым вариантам

Выполнение операций проектного технологического процесса и операций базового технологического процесса происходят с применением расходных материалов, затраты на которые рассчитываются в зависимости от коэффициента транспортно-заготовительных расходов  $K_{ТЗ}$ , цены материалов  $C_M$  и нормы расходов материалов  $N_p$  по формуле:

$$M = C_M \cdot N_p \cdot K_{Т-з} . \quad (7)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $M=3000 \cdot 0,8 \cdot 1,05 = 2520$  рублей для операций базового технологического процесса; для операций проектного технологического процесса:  $M=90 \cdot 6 \cdot 1,05 + 50 \cdot 3 \cdot 9 \cdot 1,05 = 56,70 + 41,75 = 1984$  рублей.

Величина основной заработной платы рассчитывается на основании штучного времени  $t_{шт}$ , часовой тарифной ставки  $C_ч$  и коэффициента доплат  $K_d$ , который для рассматриваемой выпускной квалификационной работы принимается равным  $K_d = 1,88$ :

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $Z_{осн} = 18,2 \cdot 200 \cdot 1,88 = 6843$  рублей для базового варианта технологического процесса и  $Z_{осн} = 4,9 \cdot 200 \cdot 1,88 = 1842$  рублей для проектного варианта технологического процесса.

Величина дополнительной заработной платы  $Z_{доп}$  рассчитывается в зависимости от рассчитанной выше основной заработной платы  $Z_{осн}$  и коэффициента доплат  $K_{доп}$ , который для рассматриваемой выпускной квалификационной работы принимается равным  $K_{доп} = 12 \%$ :

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить

расчётную величину:  $Z_{\text{доп}} = 6843 \cdot 12 / 100 = 821$  рублей для операций базового технологического процесса и  $Z_{\text{доп}} = 1842 \cdot 12 / 100 = 221$  рублей для операций проектного технологического процесса.

Величина фонда заработной платы ФЗП рассчитывается как сумма основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  и дополнительной заработной платы  $Z_{\text{доп}}$ . Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $\text{ФЗП} = 6843 + 821 = 7664$  рублей для операций базового технологического процесса и  $\text{ФЗП} = 1842 + 221 = 2063$  рублей для операций проектного технологического процесса.

Отчисления на социальные нужды  $O_{\text{сн}}$  рассчитываем с учётом коэффициента отчислений на социальные нужды  $K_{\text{сн}}$ , который для рассматриваемой выпускной квалификационной работы принимается равным  $K_{\text{сн}} = 34 \%$ :

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $O_{\text{сн}} = 7664 \cdot 34 / 100 = 2605$  рублей для операций базового технологического процесса и  $O_{\text{сн}} = 2063 \cdot 34 / 100 = 701$  рублей для операций проектного технологического процесса.

Величину затрат на оборудование  $Z_{\text{об}}$  определяем расчётным путём на основании амортизационных отчислений  $A_{\text{об}}$  и затрат на электрическую энергию  $P_3$ :

$$Z_{\text{об}} = A_{\text{об}} + P_3. \quad (11)$$

При вычислении амортизационных отчислений  $A_{\text{об}}$  следует учитывать норму амортизации  $H_a$ , которая для рассматриваемой выпускной квалификационной работы составляет  $H_a = 21,5 \%$ . Также в расчёт включено машинное время  $t_{\text{маш}}$ , которое ранее было рассчитано для операций проектной и базовой технологий. В формулу включены также эффективный годовой фонд времени работы оборудования  $F_3$  и цена оборудования  $C_{\text{об}}$ .

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $A_{об.} = 1250000 \cdot 21,5 \cdot 18,2 / 2054 / 100 = 2381$  рублей по базовому варианту технологии, по проектному варианту технологии:  $A_{об.} = 1900000 \cdot 21,5 \cdot 4,9 / 2054 / 100 = 974$  рублей.

Затраты на электрическую энергию при выполнении операций по проектному технологическому процессу рассчитываются с учётом мощности оборудования  $M_{уст}$ , КПД оборудования, машинного времени  $t_{маш}$  и стоимости электрической энергии для предприятий  $Ц_{ээ}$ :

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $P_{ээ} = 40 \cdot 18,2 \cdot 3,2 / 0,7 = 3328$  рублей для базового варианта технологического процесса,  $P_{ээ} = 70 \cdot 4,9 \cdot 3,2 / 0,85 = 1291$  рублей для проектного технологического процесса.

После подстановки рассчитанных выше значений в формулу (11) вычисляем затраты на оборудование:  $Z_{об} = 2381 + 3328 = 5709$  рублей по базовому технологическому процессу и  $Z_{об} = 974 + 1291 = 2265$  рублей по проектному технологическому процессу.

Размер технологической себестоимости  $C_{тех}$  определяется исходя из ранее определённых значений затрат на материалы  $M$ , отчислений на социальные нужды  $O_{сн}$ , фонда заработной платы  $ФЗП$ , затрат на производственные площади  $Z_{пл}$  и затрат на оборудование  $Z_{об}$ :

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $C_{тех} = 2520 + 7664 + 2615 + 3470 + 5709 = 21978$  рублей для базового варианта технологического процесса, и для проектного технологического процесса  $C_{тех} = 1984 + 2063 + 701 + 1750 + 2265 = 8763$  рублей.

Размер цеховой себестоимости  $C_{\text{цех}}$  определяется исходя из ранее определённой технологической себестоимости  $C_{\text{тех}}$ , коэффициента цеховых расходов  $K_{\text{цех}}$  и основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$ :

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $C_{\text{цех}}=21978 + 1,5 \cdot 6843 = 21978 + 10260 = 32238$  рублей для базового технологического процесса и для проектного технологического процесса  $C_{\text{цех}}=8763 + 1,5 \cdot 1842 = 8763 + 2760 = 11532$  рублей.

Размер заводской себестоимости  $C_{\text{зав}}$  определяется исходя из ранее определённой цеховой себестоимости  $C_{\text{цех}}$ , коэффициента заводских расходов и основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$ :

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $C_{\text{зав}} = 32238 + 1,15 \cdot 6843 = 32238 + 7870 = 40108$  рублей для базового варианта технологии, и для проектного технологического процесса  $C_{\text{зав}} = 11532 + 1,15 \cdot 1842 = 11532 + 2120 = 13643$  рублей.

Значительное снижение технологической и заводской себестоимости при изготовлении по проектному варианту технологии по сравнению с базовым вариантом технологии объясняется высокой производительностью труба и повышение стабильности качества выпускаемой продукции. При этом предлагаемые технические решения и организационные мероприятия позволили как повысить качество, так и увеличить производительность работ. При этом себестоимость выпуска продукции уменьшается. Что доказывается проведёнными экономическим расчётами.

В таблице 12 представлена калькуляция заводской стоимости выполнения операций по базовому варианту технологического процесса и проектному варианту технологического процесса.

Таблица 12 – Исходные данные и расчёт заводской стоимости при выполнении операций согласно базового технологического процесса и согласно проектного технологического процесса

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» [16]	Сзав	40108	13643

Дальнейшие работы направлены на определение величины капитальных вложений при реализации проектной технологии и реализации базовой технологии. Далее будут вычислены экономические показатели предлагаемых решений и сделан вывод об эффективности внедрения этих решений в производственный процесс.

#### **4.5 Капитальные затраты при реализации проектного и базового вариантов технологии**

Вычисляем капитальные затраты  $K_{\text{общ. б.}}$  на реализацию технологического процесса по базовому варианту. Расчёт следует выполнять с учётом коэффициента загрузки оборудования  $K_p$  и остаточной стоимости оборудования  $C_{\text{об. б.}}$

Величину остаточной стоимости оборудования определяем с учётом рыночной стоимости аналогичного нового оборудования  $C_{\text{перв.}}$ , срока службы оборудования  $T_{\text{сл}}$  и нормы амортизационных отчислений  $N_a$ :

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $C_{об.б.} = 1250000 - (1250000 \cdot 3 \cdot 21,5/100) = 443750$  рублей.

Капитальные затраты по базовой технологии могут быть рассчитаны как:

$$K_{общ. б.} = C_{об.б.} \cdot K_{з.б.} \quad (18)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $K_{общ. б.} = 1 \cdot 443750 \cdot 0,81 = 360000$  рублей.

Расчёт капитальных затрат  $K_{общ. пр.}$  при реализации проектной технологии требует учёта капитальных вложений в производственные площади  $K_{пл. пр.}$ , сопутствующих затрат  $K_{соп}$  и капитальных затрат на оборудование  $K_{об. пр.}$ :

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

Величина капитальных затрат на оборудование для реализации проектного варианта технологического процесса рассчитывается с учётом коэффициента транспортно-заготовительных расходов, значение которого для настоящей выпускной квалификационной работы составило  $K_{тз}=1,05$ , цены оборудования  $C_{об}$  и коэффициента загрузки оборудования  $K_{з}$ :

$$K_{об. пр.} = C_{об. пр.} \cdot K_{тз} \cdot K_{зп.} \quad (20)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $K_{об. пр.} = 1900000 \cdot 1,05 \cdot 0,22 = 439000$  рублей.

Величина сопутствующих затрат  $K_{соп}$  рассчитывается с учётом расходов на демонтаж  $P_{дем}$  оборудования по базовому технологическому процессу и монтаж  $P_{мон}$  оборудования по проектному технологическому процессу.

Расходы на демонтаж с учётом коэффициента расходов на демонтаж оборудования  $K_{дем} = 0,05$  рассчитываются как

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $P_{\text{дем}} = 1 \cdot 1250000 \cdot 0,05 = 62500$  рублей.

Расходы на монтаж с учётом коэффициента расходов на монтаж оборудования  $K_{\text{мон}} = 0,05$  рассчитываются как

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $P_{\text{монт}} = 1900000 \cdot 0,05 = 95000$  рублей.

Величина сопутствующих расходов определяется как

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $P_{\text{соп}} = 62500 + 95000 = 157500$  рублей.

Далее с использованием подставленных в формулу (19) значений получили общие капитальные затраты  $K_{\text{общ. пр.}} = 439000 + 157500 = 596500$  рублей.

Расчёт дополнительных капитальных вложений  $K_{\text{доп}}$  проводим с учётом капитальных затрат для проектной технологии  $K_{\text{общ. пр}}$  и капитальных затрат по базовой технологии  $K_{\text{общ. б}}$ :

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общ пр}} - K_{\text{общ б}}: \quad (24)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $K_{\text{доп}} = 596500 - 439000 = 157500$  рублей.

Величину удельных капитальных вложений определяем с учётом годовой программы  $\Pi_{\text{г}}$ :

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $K_{\text{уд}} = 439000/100 = 4390$  рублей за единицу продукции по базовой технологии и  $K_{\text{уд}} = 596500/100 = 5965$  рублей за единицу продукции по проектной технологии.

## 4.6 Показатели экономической эффективности

Для выполнения экономического обоснования настоящей выпускной квалификационной работы рассчитаем основные показатели эффективности.

Снижение трудоемкости  $\Delta t_{шт}$  рассчитывается как

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $\Delta t_{шт} = (18,2 - 4,9) \cdot 100 \% / 18,2 = 73 \%$ .

Повышение производительности  $\Pi_T$  рассчитывается как

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $\Pi_T = 100 \cdot 73 / (100 - 73) = 270 \%$ .

Уменьшение технологической себестоимости  $\Delta C_{тех}$  рассчитывается как

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $\Delta C_{тех} = (32238 - 11532) \cdot 100\% / 32238 = 64 \%$ .

Размер условно-годовой экономии  $\Pi_{ож}$  рассчитывается как

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $\Pi_{ож} = (40108 - 13643) \cdot 100 = 2646500$  рублей.

Длительность срока окупаемости предлагаемых мероприятий  $T_{ок}$  составляет:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $T_{ок} = 157500 / 2646500 = 0,1$  года.

Величина годового экономического эффекта  $\mathcal{E}_Г$  рассчитывается как

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $\Delta \Gamma = 2646500 - 0,33 \cdot 157500 = 2126750$  руб.

Проведенные экономические расчёты позволяют судить о высокой эффективности предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решениях. Производительность труда повышается на 270 %. Уменьшение технологической себестоимости составило 64 %. При этом за счёт повышения производительности труда и снижения издержек удалось получить годовой экономический эффект в размере 2,1 млн. рублей. Средства, затраченные на внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений, будут окуплены за 0,1 года.

Значительное снижение технологической и заводской себестоимости при изготовлении по проектному варианту технологии по сравнению с базовым вариантом технологии объясняется высокой производительностью труба и повышение стабильности качества выпускаемой продукции. При этом предлагаемые технические решения и организационные мероприятия позволили как повысить качество, так и увеличить производительность работ. При этом себестоимость выпуска продукции уменьшается. Что доказывается проведёнными экономическим расчётами.

## Заключение

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности сварочных технологий при изготовлении реакционных труб.

Базовая технология сварки реакционных труб предусматривает применение аргонодуговой сварки неплавящимся электродом.

Применение аргонодуговой сварки неплавящимся электродом ограничивается из-за недостатков этого способа сварки. Первым недостатком является низкая производительность процесса, кроме того, приходится постоянно выполнять заточку неплавящегося электрода, что также снижает производительность. Вторым недостатком является необходимость использования в качестве защитного газа дорогостоящих аргона, гелия или их смесей, что существенно повышает стоимость аргонодуговой сварки неплавящимся электродом. Третьим недостатком является высокая стоимость и сложность обслуживания сварочного оборудования. Четвёртым недостатком является необходимость привлечения сварщиков высокой квалификации.

Применение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технических решений повлекло за собой изменение технологического процесса сборки и сварки. Предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе технические решения, основанные на разработках отечественных исследователей-сварщиков [1], [2], [23], [24] позволяют существенно повысить производительность и качество выполняемых сварочных работ.

При анализе опасных и вредных производственных факторов, которые сопровождают выполнение операций проектного технологического процесса, идентифицированы негативные производственные факторы, предложены технические средства и организационные мероприятия по защите от них.

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

Проведенные экономические расчёты позволяют судить о высокой эффективности предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решениях. Производительность труда повышается на 270 %. Уменьшение технологической себестоимости составило 64 %. При этом за счёт повышения производительности труда и снижения издержек удалось получить годовой экономический эффект в размере 2,1 млн. рублей. Средства, затраченные на внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений, будут окуплены за 0,1 года.

Значительное снижение технологической и заводской себестоимости при изготовлении по проектному варианту технологии по сравнению с базовым вариантом технологии объясняется высокой производительностью труба и повышение стабильности качества выпускаемой продукции. При этом предлагаемые технические решения и организационные мероприятия позволили как повысить качество, так и увеличить производительность работ. При этом себестоимость выпуска продукции уменьшается. Что доказывается проведёнными экономическим расчётами.

На основании вышеизложенного следует считать поставленную цель выпускной квалификационной работы достигнутой.

Результаты настоящей выпускной квалификационной работы рекомендуются к внедрению на предприятиях, которые выполняют сварку реакционных труб для химической промышленности.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Авторское свидетельство № 1292959 СССР. Способ дуговой сварки плавящимся электродом с короткими замыканиями дугового промежутка и устройство для его осуществления / Князьков А. Ф., Гребенников А. А., Сараев Ю. Н.; Заявл. 29.04.1985; Оpubл. 28.02.1987, Бюл. № 8. 9 с.
2. 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.
3. Акулов А.И., Бельчук Г.А., Демянцевич В.П. Технология и оборудование сварки плавлением. М.: Машиностроение, 1977
4. Андреев В. А., Алексеев А. М. Технология связанного азота. М. : Химия, 1996. 343 с.
5. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372с.
6. Голов Р.С., Сорокин А.Е., Мельник А.В., Рожков И.В. Основные технологические и маркетинговые тенденции развития сварочного производства // Сварочное производство. 2016. № 11. С. 46–51.
7. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
8. Еремин Е. Н., Кац В. С., Бородихин С. А. Оборудование для дуговой сварки под слоем флюса. Омск : ОмГТУ, 2018. 121 с.
9. Жерносеков А. М., Андреев В. В. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом (Обзор) // Автоматическая сварка. 2007. № 10. С. 48–52.
10. Занковец П. В., Шелег В. К. Математическое моделирование и автоматизация технологической подготовки производства сварных конструкций // Наука и техника. 2017. № 1. С. 5–15.

11. Карасев М. В., Вышемирский Е. М., Беспалов В. И. Особенности современных установок для механизированной сварки плавящимся электродом в защитных газах // Автоматическая сварка. 2004. № 12. С. 38–41.
12. Карасев М. В., Копиленко Е. А., Павленко Г. В. Основные тенденции развития производства сварочного оборудования в объединении «СЭЛМА-ИТС» и его применение в России и странах СНГ // Автоматическая сварка. 2002. № 5. С. 52–57.
13. Климов А. С. Выпускная квалификационная работа бакалавра: учебно-метод. пособие по выполнению выпускной квалификационной работы бакалавра. Тольятти : ТГУ, 2021. 62 с.
14. Конищев К. Б. Конищев Б. П. Оценка сопротивляемости конструкционных и высоколегированных сталей образованию горячих трещин при сварке // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева. 2015. № 2. С. 98–103.
15. Крампит А. Г., Крампит Н. Ю., Габитов Э. К. Модернизация сварочного оборудования – как решение приоритетной задачи по импортозамещению // Технологии и материалы: технический научно-производственный журнал. 2016. № 6. С. 18–23.
16. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
17. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.
18. Лебедев Н. Н. Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза. М. : Химия, 1982. 736 с.
19. 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.
20. Маковецкая О.К. Состояние и тенденции развития мирового рынка основных конструкционных материалов и сварочной техники // Автоматическая сварка. 2015. № 10. С. 54–61.

21. Мау В. А., Улюкаев А. В. Глобальный кризис и тенденции экономического развития // Вопросы экономики. 2014. № 11. С. 15–21.
22. Павлова И. А., Павлов А. С. Технико-экономический анализ при внедрении инновации на производственном предприятии // Экономический анализ: теория и практика. 2014. № 40. С. 14–21.
23. 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.
24. Патент № 2395606 РФ, МПК В С22С30/00. Жаропрочный сплав / Байдуганов А. М.; Заявл. 06.04.2009; Оpubл. 27.07.2010, Бюл. № 21. 11 с.
25. Патон Б. Е. Потапьевский А. Г., Подола И. В. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом с программным регулированием процесса // Автоматическая сварка. 1964. № 1. С. 1–6.
26. 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.
27. Сварка и резка материалов: учеб. пособие / М. Д. Банов и др.; под ред. Ю. В. Казакова. - 3-е изд., стер.; Гриф МО. - М. : Академия, 2003. – 399 с.
28. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов : учебное пособие. Тольятти : ТГУ, 2007. 301 с.
29. Сорокин В. Г.Э, Волосникова А. В., Вяткин С. А. Марочник сталей и сплавов. М. : Машиностроение, 1989. 640 с.
30. Степанов А. В. Получение водорода и водородсодержащих газов. Киев: Наукова думка, 1982. 312 с.
31. Cary H. B. Flux-cored arc welding. Advances and applications in USA // Welding and metal fabrication. 1971. vol. 1. P. 39–47.

32. Doria J. G. Welding consumables: Market Trends // European Welding Association. Istanbul. 2001. vol. 20. P. 18–25.

33. Haidar J., Farmer A. Surface temperature measurements for tungsten-based cathodes of high-current free-burning arcs // Journal of Physics D: Applied Physics. 1995. vol. 28. P. 2089–2094.

34. Katayama T., Tashiro S., Tanaka M. Improvement of bead formation of plasma MIG welding in pure argon atmosphere // Quarterly Journal of the Japan Welding Society. 2011. vol. 29. P. 39–42

35. Tanaka M. Characteristic of ionized gas metal arc processing. // Surface Coating Technology. 2008. vol. 202. P. 251–254.