

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 и оборудование для изготовления опоры под
оборудование атомных электростанций

Обучающийся

Е.А. Каратаева

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент К.В. Моторин

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

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярдова

(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

Основу энергетического комплекса развитого государства должны составлять атомные электростанции, позволяющие обеспечить сочетание высокой энергетической эффективности с низкими антропогенными факторами. До недавнего времени при производстве элементов оборудования атомных станций широкое применение имела ручная дуговая сварка штучными электродами. Применение ручной дуговой сварки следует признать нежелательным. 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.

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение эффективности сварочных работ при строительстве атомных станций на примере сварки закладных опор.

Выполненный анализ состояния вопроса позволил обосновать выбор способа сварки, в качестве которого для построения проектной технологии предлагается применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения с импульсным управлением горением сварочной дугой.

Составлена проектная технология сварки, особенности выполнения операций которой описаны в настоящей выпускной квалификационной работе.

Производительность труда повышается на 270 %. Уменьшение технологической себестоимости составило 30 %. При этом за счёт повышения производительности труда и снижения издержек удалось получить годовой экономический эффект в размере 1,4 млн. рублей.

Полученное многократное повышение производительности труда позволяет увеличить годовую программу выпуска изделий и закладывает основы в дальнейшее развитие российской атомной энергетики.

Содержание

Введение	5
1. Современное состояние технологии сборки и сварки закладных опор.	7
1.1 Описание изделия и особенностей его работы.	7
1.2 Сведения о материале изделия и особенностях его сварки.	13
1.3 Сведения об особенностях выполнения операций по базовой технологии сборки и сварки.	15
1.4 Поиск и анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности сварки.	21
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы.	24
2 Построение проектного технологического процесса сборки и сварки.	26
2.1 Обоснование выбора способа сварки.	26
2.2 Описание сварочного оборудования.	34
2.3 Проектная технология сборки и сварки.	38
3 Обеспечение безопасности и экологичности предлагаемых технических решений	42
3.1 Конструктивно-технологическая характеристика рассматриваемого объекта.	42
3.2 Идентификация профессиональных и производственных рисков	44
3.3 Методики и технические средства для устранения профессиональных рисков	46
3.4 Пожарная безопасность рассматриваемого технологического объекта	48
3.5 Обеспечение экологической безопасности промышленного объекта.	49
4 Экономическое обоснование предлагаемых в выпускной	

квалификационной работе решений	51
4.1 Анализ исходной информации по базовой и проектной технологиям.	51
4.2 Оценка фонда времени работы оборудования.	53
4.3 Оценка штучного времени при выполнении операций проектного и базового вариантов технологии	54
4.4 Расчёт заводской себестоимости при осуществлении операций технологического процесса по рассматриваемым вариантам.	56
4.5 Капитальные затраты при реализации проектного и базового вариантов технологии	60
4.6 Показатели экономической эффективности.	63
Заключение	65
Список используемой литературы и используемых источников.	67

Введение

В качестве глобальной проблемы человечества, от успешного решения которой зависит существование, дальнейшее развитие человеческого общества и способность обеспечивать заданный уровень потребления, следует указать рост необходимости в производстве электрической энергии. Основное количество электрической энергии, которая поступает на промышленные и бытовые нужды, вырабатывается посредством атомных, тепловых и гидравлических станций. При этом следует принимать во внимание, что навязываемая концепция «кизьяк+ветряк», предусматривающая доминирование экологических источников энергии, к которым ошибочно причисляют солнечную, ветровую, приливную и прочие энергетика, не позволяет обеспечить поддержание привычного уровня потребления энергии. Основу энергетического комплекса развитого государства должны составлять атомные электростанции, позволяющие обеспечить сочетание высокой энергетической эффективности с низкими антропогенными факторами [30].

В настоящее время в мире, а особенно на территории бывшего СССР происходит регресс состояния тепловых электрических станций, что связано с естественным старением и невозможностью поддержания их работоспособного состояния по экономическим и политическим причинам. Доля вырабатываемой этими станциями электрической энергии, которая к концу 90-х годов составляла 60 %, неуклонно снижается. При этом возрастает роль атомных электрических станций, которая в настоящий момент приближается к 50 % от вырабатываемой энергии. Поддержание производственного потенциала страны и её энергетической безопасности требует сохранения и развития технологий сварки при строительстве и ремонте атомных электрических станций.

До недавнего времени при производстве элементов оборудования атомных станций широкое применение имела ручная дуговая сварка

штучными электродами [11]. Применение ручной дуговой сварки следует признать нежелательным. 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 [16], [22]. Это объясняется большим количеством недостатков, устранение которых при существующем уровне развития техники и технологий неосуществимо.

В качестве первого недостатка ручной дуговой сварки следует указать малую производительность, которая не может быть повышена за счёт форсирования режимов или применения новых сварочных электродов. Вторым недостатком является вредность условий труда сварщика, которому приходится работать в атмосфере сварочного аэрозоля и излучения от дуги. Третьим недостатком следует указать увеличение расхода сварочных материалов из-за затрат на огарки, кроме того, необходимость прерывания горения дуги при смене электрода приводит к снижению производительности и качества сварки. Четвёртым недостатком является малая стабильность качества сварки, имеющая прямую зависимость от квалификации сварщика.

В настоящее время наблюдается увеличение количества монтируемых атомных энергоблоков. В тоже время количество сварщиков, обладающих необходимой квалификацией, уменьшается. В настоящее время такая ситуация начинает представлять проблему и требует решения за счёт применения новых сварочных технологий, которые позволят повысить производительность и качество работ при существенном снижении требований к квалификации сварщика.

На основании вышеизложенного можно признать актуальность выбранной темы выпускной квалификационной работы и поставленную цель – повышение эффективности сварочных работ при строительстве атомных станций на примере сварки закладных опор.

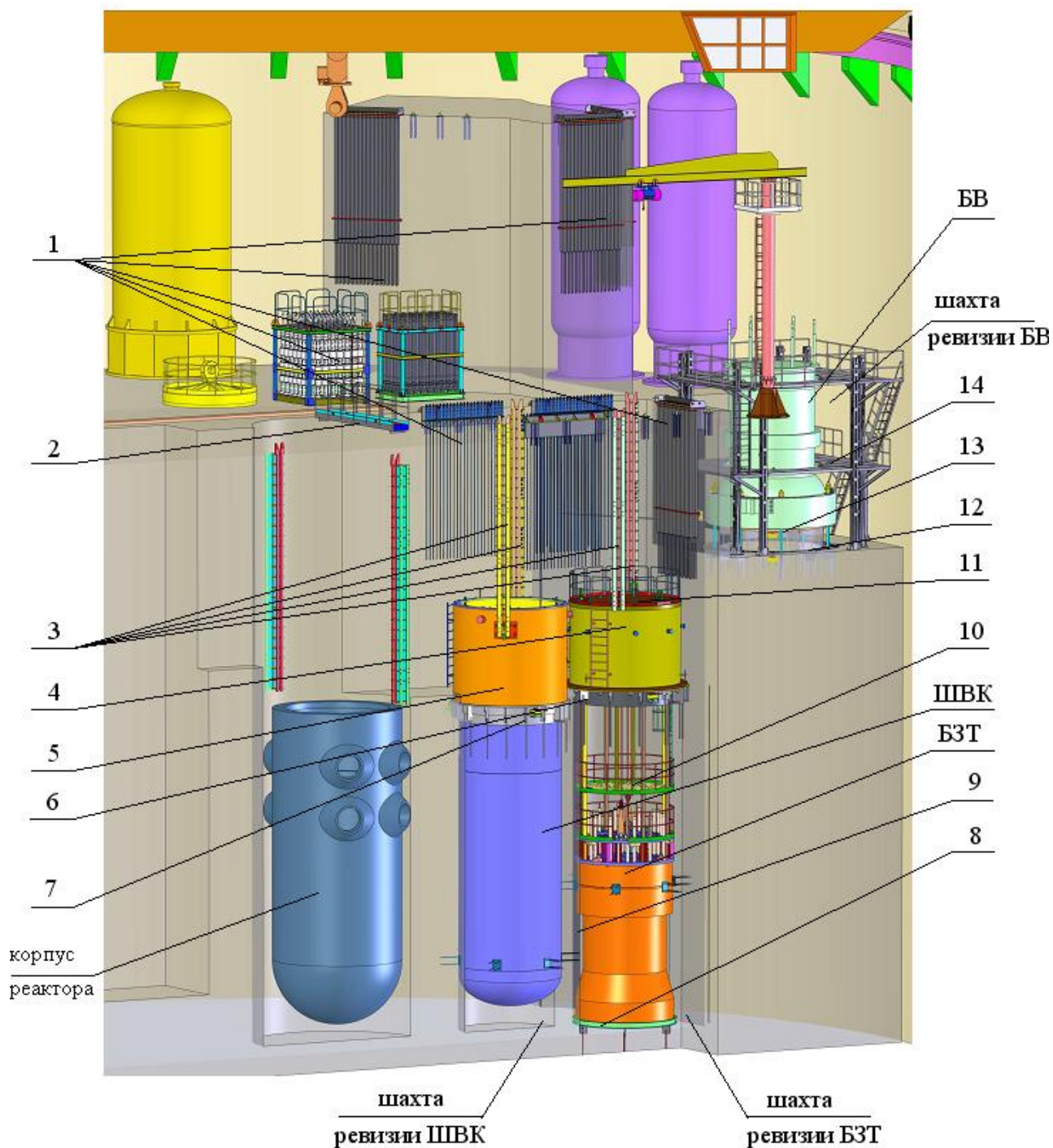
1 Современное состояние технологии сборки и сварки закладных опор

1.1 Описание изделия и особенностей его работы

Оборудование и закладные элементы шахт ревизии атомной станции представлены на рисунке 1 и включают в себя следующие элементы: стеллажи (позиция 1), переходные площадки (позиция 2), направляющие системы центровки (позиция 3), проставка (позиция 4), устройство для транспортировки шахты внутрикорпусной – ШВК (позиция 5), опора проставки (позиция 6), опора шахты внутрикорпусной (позиция 7), опора блока защитных труб – БЗТ (позиция 8), направляющие системы контроля (позиция 9), платформа для транспортировки блока защитных труб (позиция 10), люк (позиция 11), опора блока верхнего – БВ (позиция 12), площадка (позиция 13), площадка для обслуживания блока верхнего (позиция 14).

Оборудование и закладные элементы шахт ревизии служат для транспортировки и установки составленных элементов реактора, к которым относят блок защитных труб (БЗТ), шахту внутрикорпусную (ШВК) и блок верхний (БВ). Элементы реактора устанавливаются в шахты при строительстве и извлекают обратно при ремонте. Плановый останов реакторной установки осуществляется при проведении технического обслуживания, ревизии и ремонта. При этом может производиться как частичная, так и полная выгрузка топлива.

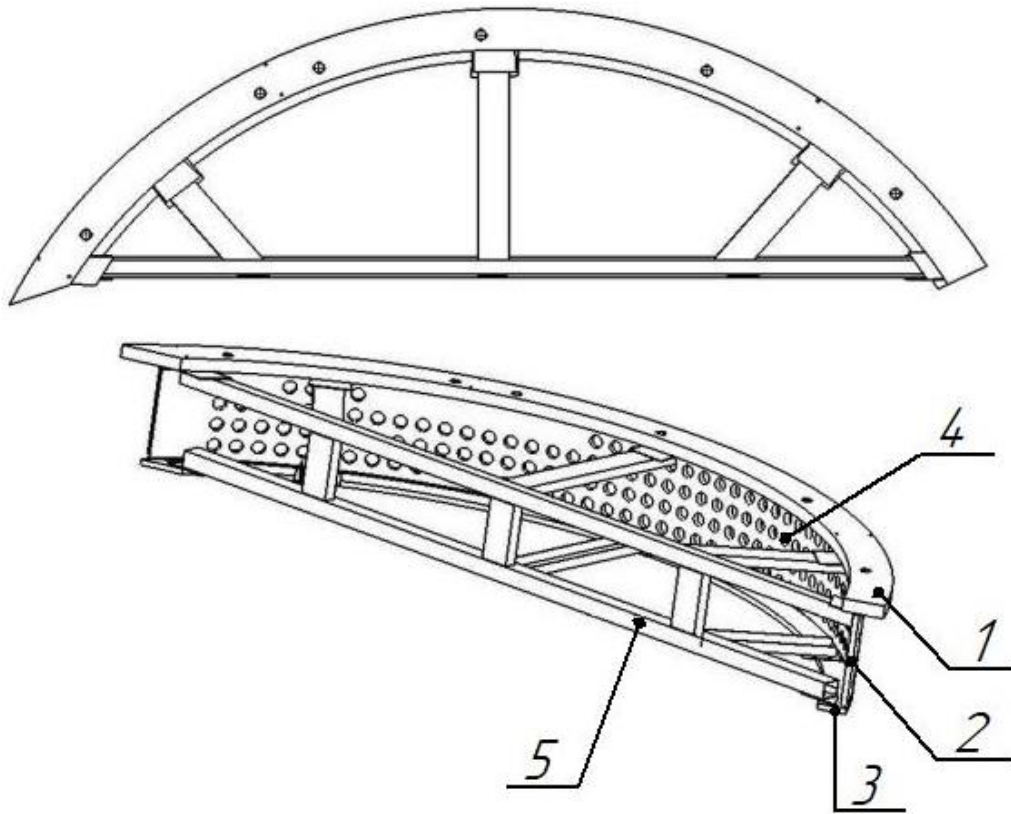
В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается вопрос сборки и сварки закладной опоры, которая представлена на рисунке 2. В состав опоры проставки в сборе входит опора (позиция 1), лист опоры (позиция 2), полукольцо опоры (позиция 3). В лист опоры (позиция 3) ввариваются переходники в количестве 185 штук (позиция 4). Для поддержания формы элементов опоры служат временно привариваемые распорки в количестве 11 штук (позиция 5).



1 – стеллажи, 2 – переходные площадки, 3 – направляющие системы центровки, 4 – проставка, 5 – устройство для транспортировки шахты внутрикорпусной (ШВК), 6 – опора проставки, 7 – опора шахты внутрикорпусной, 8 – опора блока защитных труб (БЗТ), 9 – направляющие системы контроля, 10 – платформа для транспортировки блока защитных труб, 11 – люк, 12 – опора блока верхнего (БВ), 13 – площадка, 14 – площадка для обслуживания блока верхнего

Рисунок 1 – Оборудование и закладные шахт ревизии атомных станций

Опора представляет собой заготовку толщиной 90 мм, которая выполнена в виде полукольца с внешним радиусом 3600 мм. Геометрия опоры в виде полукольца с указанием габаритных размеров представлена на рисунке 3.



1 – опора. 2 – лист опоры, 3 – полукольцо опоры, 4 – переходники, 5 – распорки

Рисунок 2 – Опора проставки в сборе

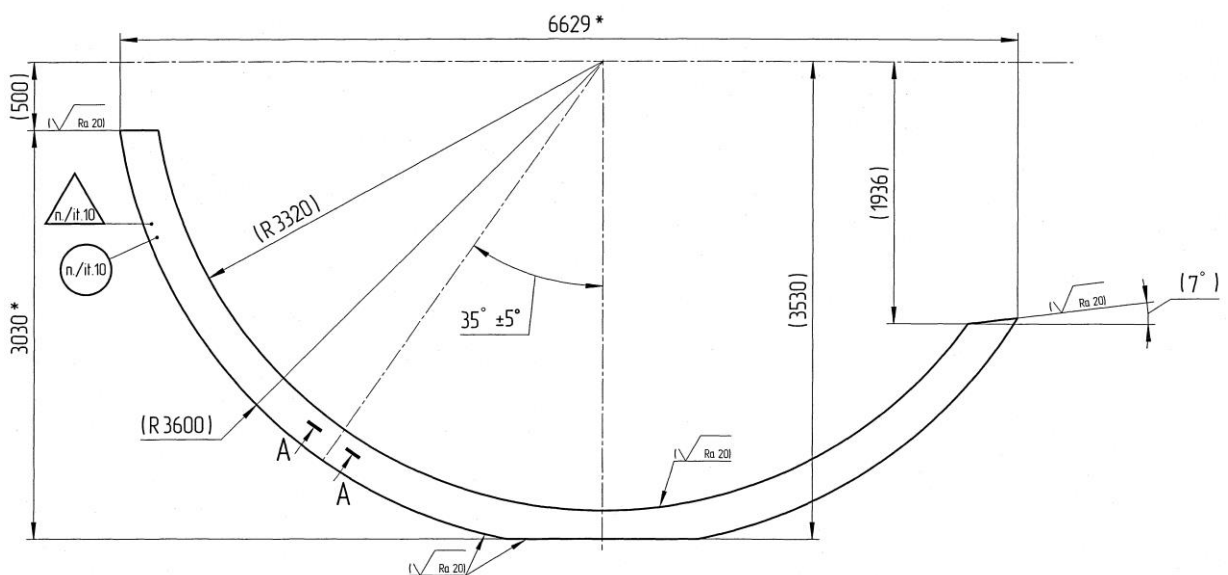


Рисунок 3 – Заготовка опоры в виде полукольца

На рисунке 4 представлена подготовка кромок и геометрия сварного шва при выполнении опоры из нескольких частей.

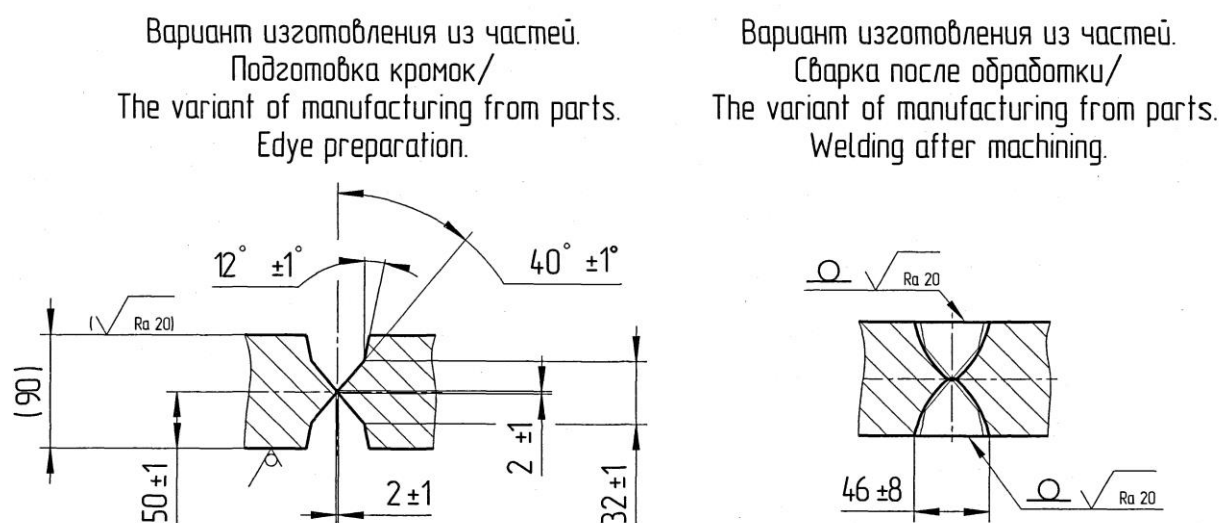


Рисунок 4 – Подготовка кромок и сварной шов при выполнении опоры

Изготовление опоры из нескольких частей предусматривает выполнение заготовок, подготовку кромок и сварку с применением ручной дуговой сварки покрытыми электродами. Нормирование проведения работ по сварке опоры осуществляется в соответствии с требованиями ПНАЭ Г-009-89.

Полукольцо опоры представляет собой листовую заготовку толщиной 40 мм и внешним радиусом 3440 мм. Данная деталь представлена на рисунке 5.

Лист опоры представляет собой сегмент обечайки толщиной 40 мм, на которой выполнено 185 отверстий диаметром 90 мм под сварку переходников. Развертка листа опоры представлена на рисунке 6. Для изготовления листа опоры применяются заготовки, которые сваривают между собой при помощи ручной дуговой сварки. Сварной шов должен соответствовать требованиям соединения С25 согласно ГОСТ 5264-80. При сварке должны применяться электроды ЭА-400/10Т. Попадание отверстий на сварной шов не допускается. Развертка детали составляет в длину 8216 мм.

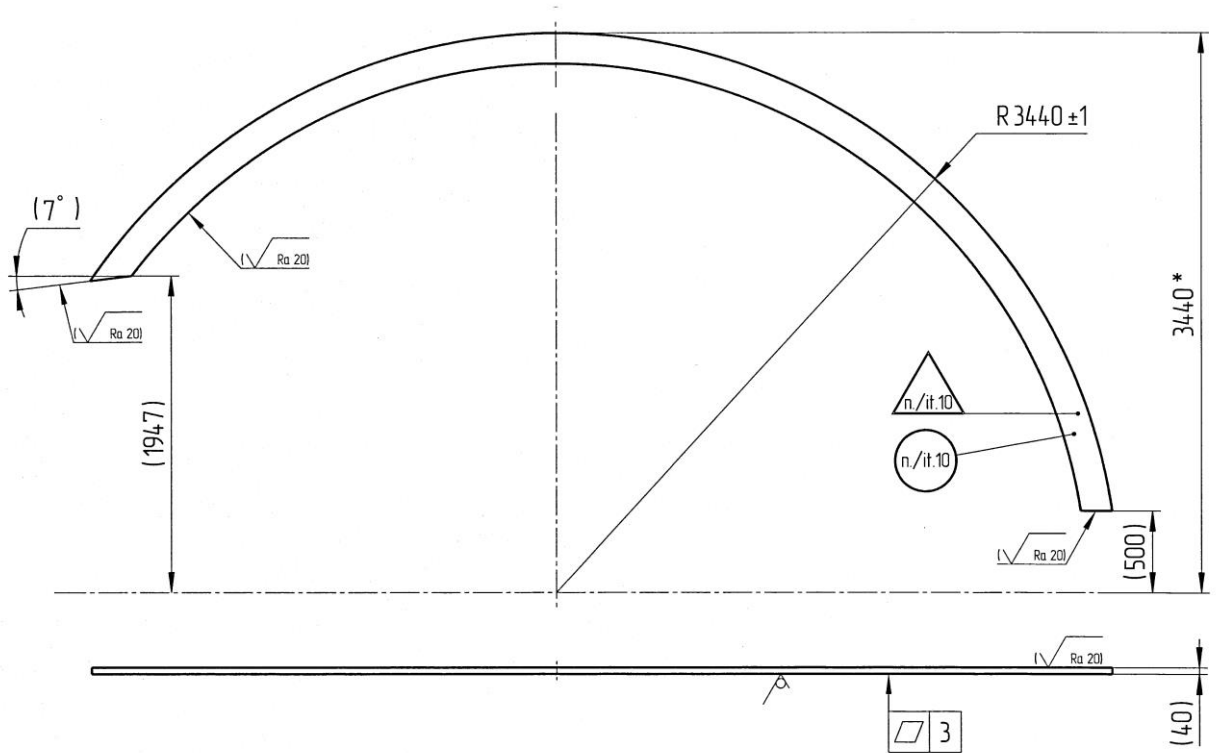


Рисунок 5 – Заготовка полукольца опоры толщиной 40 мм

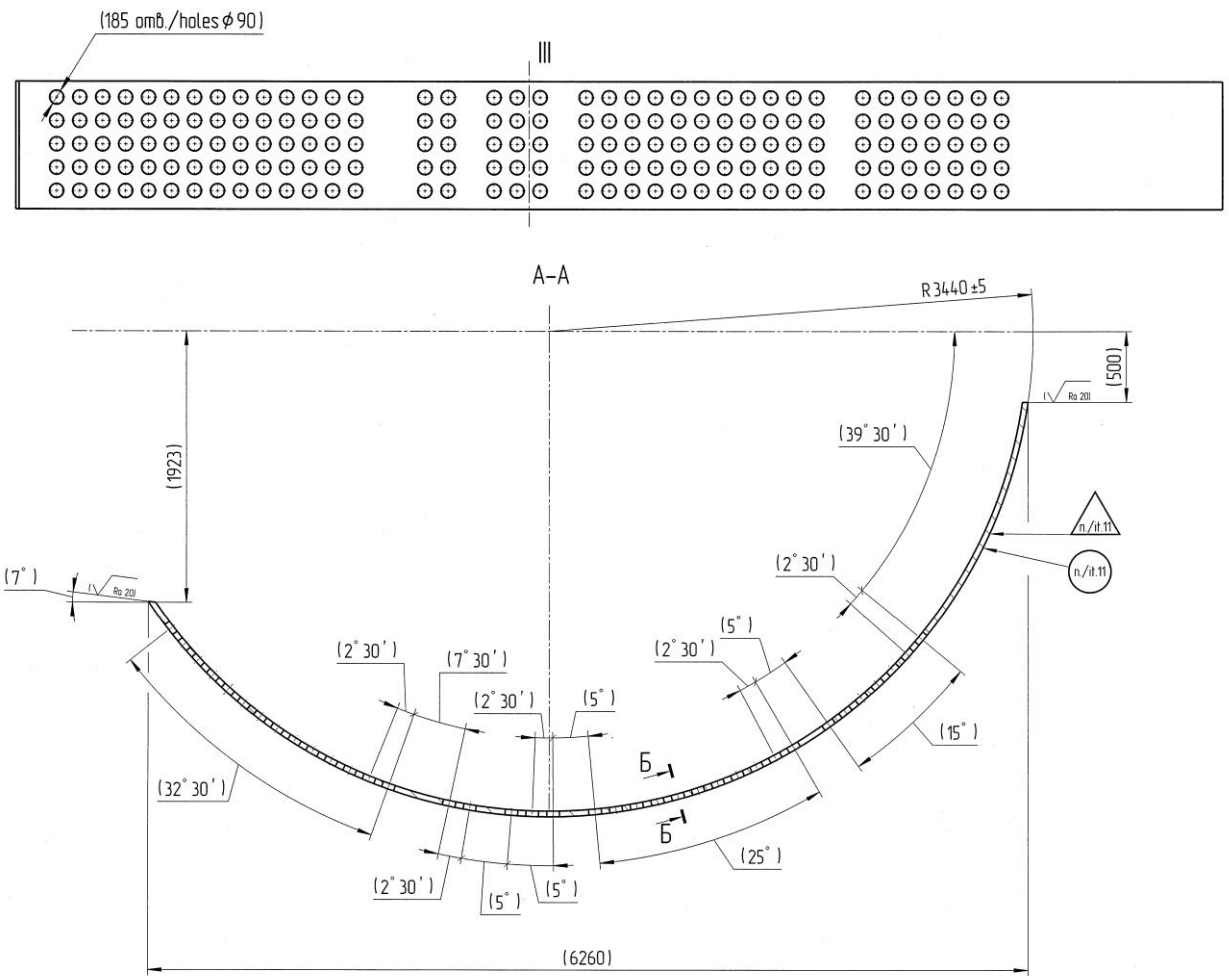


Рисунок 6 – Заготовка листа опоры

При изготовлении опоры проставки в сборе применяется три типа сварных швов, особенности выполнения которых и расположение представлены на рисунке 7.

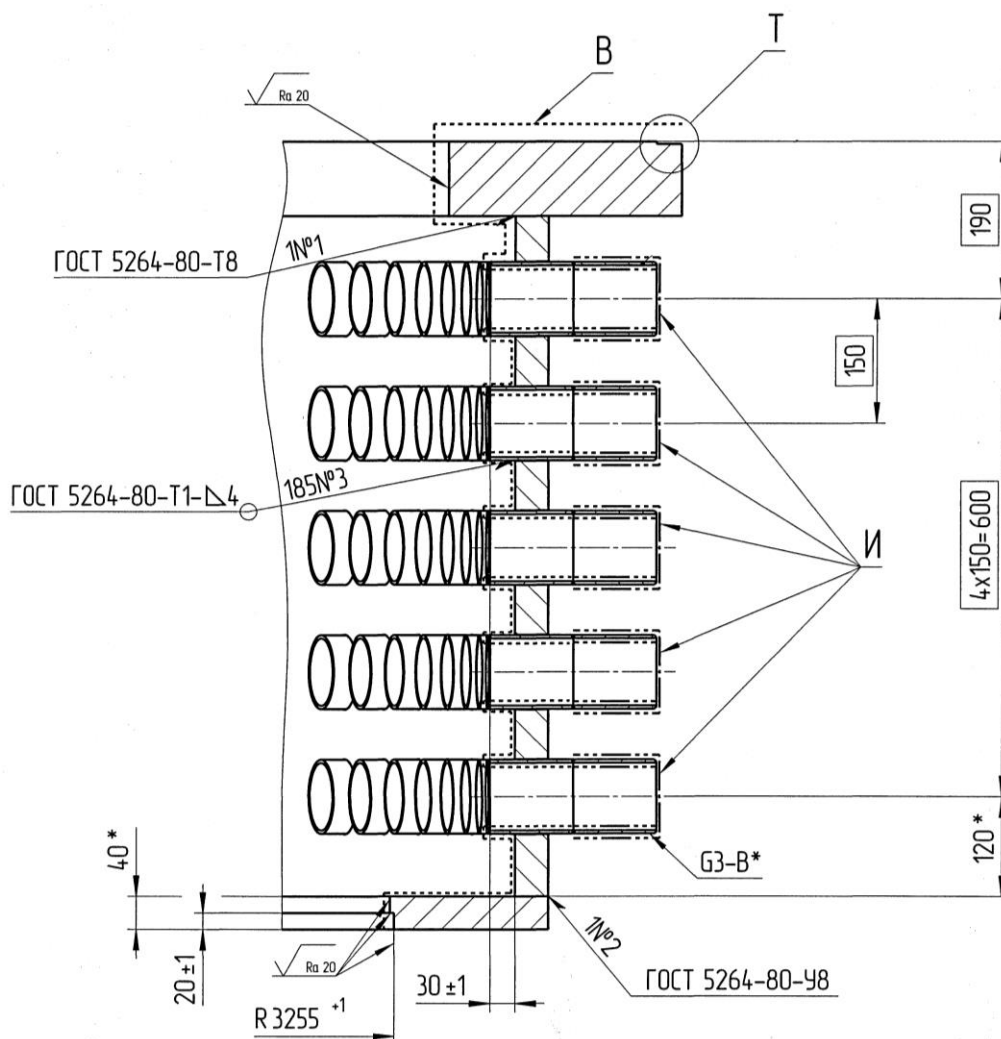


Рисунок 7 – Сварные швы при сборке и сварке опоры проставки в сборе

Первый сварной шов (обозначен на рисунке № 1) в количестве одна штука выполняется согласно ГОСТ 5264-80 по размерам соединения Т8 – двухстороннее тавровое соединение с симметричными скосами кромок. Второй сварной шов (обозначен на рисунке № 2) в количестве одна штука выполняется по размерам соединения У8 – двусторонний угловой шов с симметричным скосом одной кромки. Третий сварной шов (обозначен на рисунке №4) в количестве 185 штук выполняется кольцевым по размерам соединения Т1 – односторонний тавровый шов без разделки кромок.

1.2 Сведения о материале изделия и особенностях его сварки

Для выполнения элементов опоры применяются заготовки из стали 08X18H10T, которая принадлежит классу коррозионностойких жаропрочных сталей. Рассматриваемая сталь нашла применение при изготовлении деталей химических аппаратов, работа которых происходит в условиях воздействия среды с повышенной агрессивностью и при повышенных температурах (печная арматура, муфели, теплообменники и т.д.). Свойства стали 08X18H10T позволяют выполнять эксплуатацию изделий при температурах от -196 до $+600$ °С в условиях действия повышенных давлений. Рассматриваемая сталь относится к сталям аустенитного класса, в ней практически отсутствует ферритная составляющая. В таблице 1 представлено содержание химических элементов в стали 08X18H10T согласно [38], [39].

Таблица 1 – Химический состав в % стали 08X18H10T

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

За счёт того, что в стали достигнуто высокое содержание хрома, которое составляет 17...19 %, обеспечивается её высокая коррозионная стойкость, которая получается при повышении склонности металла к пассивации. Содержание никеля в стали составляет 9...11 %, поэтому в структуре наблюдается преобладание аустенита, что обеспечивает благоприятное сочетание эксплуатационных свойств и высокой технологичности стали 08X18H10T. Содержание в стали углерода составляет порядка 0,08 %, что оставляет возможность получения некоторого количества ферритных составляющих в структуре стали так как аустенитообразующее действие углерода в полной мере проявляется при его содержании в стали более 0,08 %. Кроме того, следует учитывать, что

содержащиеся в стали кремний, алюминий и титан могут способствовать образованию некоторого количества феррита.

При выполнении сварных соединений в конструкциях из стали 08X18H10T приходится преодолевать затруднения, которые связаны с особенностями сварки этих сталей.

В качестве первой особенности при сварке стали 08X18H10 следует указать опасность появления межкристаллитной коррозии, которая возникает как в металле сварного шва, так и в основном металле, который в процессе сварки подвергался нагреву до температур порядка 450...650 °С.

В качестве второй особенности при сварке конструкций из стали 08X18H10T следует указать опасность возникновения горячих трещин, которые образуются в металле сварного шва по причине аустенитной структуры.

В качестве третьей особенности при сварке конструкций из стали 08X18H10T следует указать усиленное коробление изделия по сравнению с низкоуглеродистыми сталями, которое возникает по причине низкой теплопроводности и высокого коэффициента температурного расширения. По этой же причине приходится выполнять прихватки в 1,5...2 раза длиннее, чем при сварке конструкций из низкоуглеродистых сталей.

В качестве четвертой особенности при сварке конструкций из стали 08X18H10T следует указать снижение пластических свойств металла сварного при длительной работе в условиях действия температур выше 350 °С.

Для того чтобы устранить межкристаллитную коррозию в сварных швах конструкций из стали 08X18H10, 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.

Для того чтобы устранить горячие трещины, следует поддерживать минимальную длину дуги, а сварку вести без поперечных колебаний. Необходимо выполнять тщательное заплывление 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.

1.3 Сведения об особенностях выполнения операций по базовой технологии сборки и сварки

К выполнению сварочных работ допускаются сварщики, которые прошли аттестацию согласно требований ПНАЭ Г-7-003-87. При подготовке к сварке выполняют зачистку деталей в месте наложения сварного шва до металлического блеска. Ширина зачистки составляет 20...25 мм в каждую сторону от предполагаемой границы сварного шва. Перед выполнением основной сварки следует также выполнить зачистку прихваток, обеспечивая плавный переход к основному металлу.

Перед тем, как выполнять сварку и прихватку, следует провести обезжиривание кромок, торцев и околошовной зоны в обе стороны от сварного шва на ширину 20...25 мм. После обезжиривания следует выполнить просушку поверхности сжатым воздухом. После подготовки детали могут пролеживаться не более 30 минут. Для обезжиривания применяется растворитель – уайт-спирит или «Нефрос-С» согласно ГОСТ 8505-80. Для протирки применяется ветошь согласно ТУ 63-178-77-82.

Сборку деталей перед сваркой выполняют на ровной сборочной плите. Заготовки позиций 1, 2 и 3 согласно рисунка 2 размещают с точностью до

1 мм. При установке применяют временно привариваемые распорки, которые изготавливают из швеллера. Сборку ведут с применением прихваток. Длина прихватки составляет 60...70 мм, расстояние между прихватками 300...350 мм. Перед выполнением прихватки и сварки поверхность окружающего металла должна быть закрыта асбестом. Высота прихватки составляет 3...4 мм.

Для выполнения прихваток применяются сварочные электроды марок ЭА-400/10Т диаметром 3 мм. Ток сварки при выполнении прихваток составляет 70...90 А. Типовой состав наплавленного металла представлена в таблице 2. При использовании электродов марки ЭА-400/10Т обеспечивается высокая стойкость металла сварного шва по отношению к межкристаллитной коррозии. Ферритная фаза в наплавленном металле не превышает 8 %. Сварка не требует проведения последующей термической обработки. Перед использованием электроды следует прокалить в течение 1 часа при температуре 120...150 °С. Для прокалики электродов применяется печь ПСПЭ 90-400, которая представлена на рисунке 8-а. После прокалики электроды помещают в резервную печь ПСПЭ 10-40, представленную на рисунке 8-б. Температура разогретой резервной печи составляет 80...100 °С. Электроды из резервной печи вынимают непосредственно перед использованием. В течение смены должны быть использованы все прокаленные электроды, в противном случае перед использованием электроды снова должны быть прокалены. Такое количество прокалок не должно превышать трёх штук. В противном случае электроды следует признать негодными и утилизировать.

Таблица 2 – Содержание химических элементов в наплавленном металле при использовании электродов ЭА-400/10Т

С	Mn	Si	Mo	Ni	Cr	V	S	P
0,07	2,2	0,5	2,8	10,5	18,1	0,58	0,020	0,025



Рисунок 8 – Печи для прокали электродов: основная печь ПСПЭ 90-400 (а) и резервная печь ПСПЭ 10-400 (б)

Сварку следует вести короткой дугой, длина которой не превышает диаметр электрода. Не допускаются перерывы до полного израсходования электрода. Возбуждение дуги следует выполнять на сварном шве с отступом от кратера на 10...15 мм. Кратеры выводить на основной металл не допускается.

Для питания сварочной дуги применяется сварочный источник питания Idealarc DC-655 (производства Lincoln Electric), который представлен на рисунке 9. Источник имеет существенный запас по мощности и может быть использован для организации многопостовой сварки. Система управления источником питания позволяет обеспечить лёгкое зажигание дуги и отсутствие залипания сварочного электрода. Источник позволяет проводить ручную дуговую сварку, аргодуговую сварку неплавящимся электродом, сварку плавящимся электродом в защитных газах, сварку под флюсом.



Рисунок 9 – Источник питания Idealarc DC-655

После выполнения прихватки проводят визуальный контроль качества их выполнения. Требования к качеству прихваток такие же, как и к качеству сварных швов. Не допускается наличие таких дефектов, как непровары в корне шва, поверхностные поры размером более 2 мм. Также не допускается наличие трещин всех видов и направлений и подрезы, которые имеют глубину более 2 мм. При обнаружении прихватки с недопустимыми дефектами, такую прихватку следует удалить механическим путём и заварить снова.

После выполнения прихваток выполняют приварку входных и выходных планок по концам сварных швов. Параметры режима при приварке планок соответствуют параметрам режима при выполнении прихваток: сварку ведут на постоянном токе обратной полярности при величине сварочного тока 70...90 А.

После выполнения прихваток проводят сварку основных швов. Последовательность выполнения сварных швов по базовой технологии представлена на рисунке 10.

Тавровое соединение и угловое соединение выполняют в несколько слоёв. Принимается рациональная последовательность выполнения слоев, которая обеспечивает минимальное тепловое вложение в основной металл. Сварку ведут обратно ступенчатым способом от середины к краям с постепенным заполнением разделки. После наложения каждого валика следует выполнить тщательную зачистку поверхности от брызг металла и шлака. Необходимо проверить валик на отсутствие трещин и других недопустимых дефектов. При выполнении сварных швов контролируется межслойная температура, которая не должна превышать 100 °С.

Корень сварных швов следует вышлифовать при помощи шлифовальной машины. Далее с применением цветной дефектоскопии следует выполнить проверку в корне шва на наличие недопустимых дефектов. После проведения контроля проводят заполнение разделки с другой стороны.

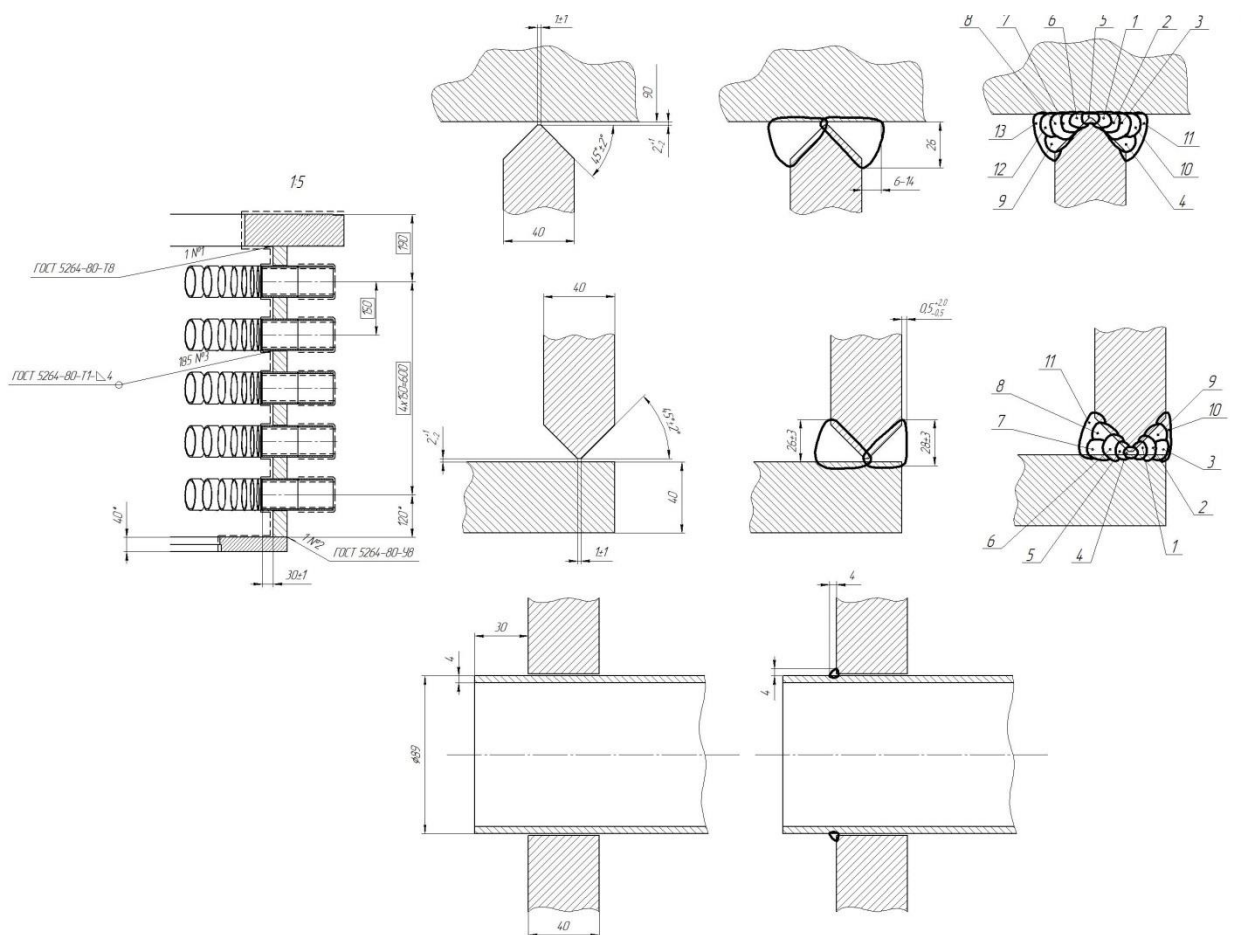


Рисунок 10 – Особенности выполнения сварных швов по базовой технологии

После выполнения сварки протяженных швов, проводят установку и прихватку переходников. Длина прихватки составляет 8...15 мм. Следует выполнять четыре прихватки на каждый патрубок, прихватки необходимо располагать равномерно по периметру патрубка. Требования к качеству прихваток такие же, как и к качеству сварных швов. Не допускается наличие таких дефектов, как непровары в корне шва, поверхностные поры размером более 2 мм. Также не допускается наличие трещин всех видов и направлений и подрезы, которые имеют глубину более 2 мм. При обнаружении прихватки с недопустимыми дефектами, такую прихватку следует удалить механическим путём и заварить снова. Далее выполняют проверку геометрии свариваемого узла. Все несоответствия устраняются путём переустановки патрубка в теле листовой детали. Далее выполняют сварку патрубков. Сварку проводят вразброс, не допуская перегрева детали выше 100 °С.

Для выполнения прихваток и вварки штуцеров применяется аргонодуговая сварка неплавящимся электродом. В качестве неплавящегося электрода применяется электрод ЭВЛ диаметром 3 мм. Ток сварки принимается равным 50...70 А. Напряжение на дуге принимается равным 15...20 В. Расход аргона составляет 6...8 литров в минуту. Суммарная длина сварных швов на изделии составляет 52 метра. В качестве защитного газа применяется чистый аргон согласно ГОСТ 10157-2016. В качестве присадочной проволоки применяются прутки диаметром 1,2 мм Св-04Х19Н11М3. Перед возбуждением сварочной дуги необходимо провести обдув зоны сварки. В качестве источника питания применяется сварочный выпрямитель Idealarc DC-655, который представлен на рисунке 9.

После выполнения сборки и сварки проводят контроль качества сварных швов. Предварительно следует провести зачистку, удаляя брызги металла и недопустимые неровности. Для зачистки используется шлифовальная машина и круги для нержавеющей стали.

Для проведения капиллярного контроля применяется набор «Клевер», в состав которого входит очиститель КЛ, пенетрант ПК и проявитель ДП. Система капиллярного контроля «Клевер» позволяет выявлять дефекты с шириной раскрытия до 1 мкм. Материалы, которые входят в набор, не являются токсичными, не обладают коррозионной активностью и могут быть использованы для широкого класса материалов.

Для проведения визуально-измерительного контроля применяется набор, который включает в себя необходимое измерительное оборудование, средства подсветки, увеличительные стекла и маркер по металлу.

Для проведения ультразвукового контроля применяется дефектоскоп USD-50 и набор стандартных образцов.

При обнаружении недопустимых дефектов следует провести вырубку дефектного места и его повторную заварку с применением аргонодуговой сварки неплавящимся электродом. Не допускается исправление одного места более трёх раз.

1.4 Поиск и анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности сварки

Необходимо провести поиск источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности сварки аналогичных конструкций, который позволит предложить направления дальнейших работ по повышению эффективности сварки и построению проектной технологии сборки и сварки.

Выполнен поиск источников научно-технической информации по вопросу сварки конструкций из нержавеющей стали. Поиск вёлся в сети ИНТЕРНЕТ по базам данных «ДиссерКЭТ», «Киберленинка», «ПатонПАБЛИШ».

Авторами работы [19] являются сотрудники Юргинского технологического института (Кузнецов М. А. и Карцев Д. С.) и Института физики высоких технологий (Журавков С. П.). В работе рассматривались различные способы повышения эффективности сварки аустенитных сталей. На основании литературных и натурных исследований установлено, что эффективное повышение свойств металла сварного шва возможно при применении наноструктурированных порошков в защитном газе. При этом наибольшая эффективность достигается при концентрации порошка в защитном газе 20 мг на 1 метр сварного шва. Применение порошков молибдена и вольфрама позволяют существенно повысить коррозионную стойкость сварных соединений.

Авторами работы [5] является сотрудники Кубанского государственного технологического университета (Гаврилов С. Н., и Ниров А. Д.), а также сотрудник ОАО «Краснодаргазстрой» (Хицов О. В.). В работе выполнен анализ сварочных материалов, которые могут быть применены при сварке ответственных конструкций из аустенитных сталей. На основании анализа экономических показателей доказана эффективность

применения порошковых проволок по сравнению с ручной дуговой сваркой покрытыми электродами.

Авторами работы [11] являются сотрудники Аттестационного центра городского хозяйства (г. Москва) и Волгодонского инженерно-технического института Национального исследовательского ядерного университета (г. Волгодонск). В статью представлены подходы к формализации понятия свариваемости применительно к ответственным конструкциям атомной энергетики. Для использования в нормативной документации предложена расширенная формулировка термина «свариваемость».

Авторами работы [37] являются сотрудники Института материаловедения и НПО «Физика-Солнце» Академии Наук Республики Узбекистан. Представлены результаты исследований по повышению эффективности аргонодуговой сварки неплавящимся электродом деталей из нержавеющей сталей. Показана высокая эффективность применения импульсного управления горением сварочной дуги и подачей проволоки.

Авторами работы [20] являются сотрудники Донбасской государственной машиностроительной академии. В работе показано, что повышение эффективности механизированной сварки конструкций из нержавеющей сталей может быть получено при импульсной подаче сварочной проволоки.

Авторами работы [35] являются сотрудники Приазовского государственного технического университета. В работе представлены результаты исследования вопроса повышения эффективности аргонодуговой сварки неплавящимся электродом за счёт воздействия на сварочную дугу магнитного поля.

Авторами работы [14] являются сотрудники Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова. В работе предложено в качестве защитного газа использовать восстановительную атмосферу монооксида углерода, применение которого позволяет

предотвратить окисление легирующих элементов и повысить коррозионную стойкость сварного шва.

Авторами работы [25] являются сотрудники кафедры сварки МГТУ им. Н. Э. Баумана и УГАТУ. В работе показана высокая эффективность применения роботизированной сварки плавящейся проволокой в защитных газах при производстве ответственных конструкций из легированных сталей.

Авторами работы [21] являются сотрудники Донского государственного технического университета. В работе показана высокая эффективность применения роботизированной сварки при изготовлении габаритных конструкций с большим количеством коротких швов.

Авторами работы [26] являются сотрудники Астраханского государственного технического университета. В работе показана высокая эффективность применения роботизированной сварки при строительстве крупногабаритных конструкций в судостроении. При изготовлении изделий, содержащих значительное количество коротких сварных швов роботизированная сварка становится наиболее предпочтительной по сравнению с другими средствами автоматизации. Указывается актуальность поиска и применения простых универсальных решений для роботизации сварки типовых конструкций.

Авторами работы [28] доказывается высокая эффективность применения роботизированной сварки габаритных конструкций на фоне снижения человеческого потенциала и необходимости высвобождения трудовых ресурсов на выполнение других работ. Применение роботизированной сварки в совокупности с достижениями в области управления сварочными процессами позволяет снизить требования к профессионализму сварщика и значительно повысить производительность высококвалифицированного персонала за счёт автоматизации типовых операций технологического процесса.

1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается вопрос повышения эффективности сварки ответственных конструкций на примере закладной опоры атомной станции. Материал заготовок – аустенитная сталь 08X18H10T, толщина свариваемых заготовок 90 мм, 40 мм и 4 мм. При этом выполняется три типа сварных швов. Первый сварной шов в количестве одна штука выполняется согласно ГОСТ 5264-80 по размерам соединения Т8 – двухстороннее тавровое соединение с симметричными скосами кромок. Второй сварной шов в количестве одна штука выполняется по размерам соединения У8 – двусторонний угловой шов с симметричным скосом одной кромки. Третий сварной шов в количестве 185 штук выполняется кольцевым по размерам соединения Т1 – односторонний тавровый шов без разделки кромок.

Базовая технология сварки предусматривает применение ручной дуговой сварки штучным электродом. В качестве первого недостатка ручной дуговой сварки следует указать малую производительность, которая не может быть повышена за счёт форсирования режимов или применения новых сварочных электродов. Вторым недостатком является вредность условий труда сварщика, которому приходится работать в атмосфере сварочного аэрозоля и излучения от дуги. Третьим недостатком следует указать увеличение расхода сварочных материалов из-за затрат на огарки, кроме того, необходимость прерывания горения дуги при смене электрода приводит к снижению производительности и качества сварки. Четвёртым недостатком является малая стабильность качества сварки, имеющая прямую зависимость от квалификации сварщика.

Проведенный анализ содержания научно-исследовательских работ по вопросу повышения эффективности сварки ответственных крупногабаритных конструкций из аустенитных сталей показал два

направления дальнейших работ. Первое направление предусматривает применение современных достижений в области импульсного управления процессами сварки, которые позволяют существенно повысить производительность и качество выполнения работ. Второе направление предусматривает применение роботизированной сварки, которая позволяет существенно повысить производительность работ. Высокая эффективность роботизации сварки рассматриваемой детали объясняется особенностями её конструкции, которая предусматривает помимо двух протяжных швов наличие 185 замкнутых швов диаметром 90 мм.

На основании вышеизложенного следует сформулировать задачи выпускной квалификационной работы, решение которых позволит достигнуть поставленной цели.

Первой задачей является обоснование выбора способа сварки. При этом следует рассмотреть альтернативные способы сварки, дать им экспертную оценку по критериям технологичности, экономичности и долговечности сварных соединений. Далее необходимо предложить способ сварки, который будет использован для построения проектной технологии.

Второй задачей является повышение производительности выбранного способа сварки применительно к рассматриваемой конструкции за счёт роботизации производства. Предстоит выбрать средства роботизации и составить планировку роботизированного технологического комплекса.

Третьей задачей является построение проектной технологии сварки. При этом следует дать перечень технологических операций, которые будут выполняться при осуществлении процесса. Также необходимо сформулировать требования к выполнению каждой операции и назначить параметры режима обработки, выбрать необходимое технологическое оборудование.

В оценочном блоке выпускной квалификационной работы предстоит выполнить оценку экологичности предлагаемых решений [1], [10] и их экономической эффективности при внедрении в производство [17], [18].

2 Построение проектного технологического процесса сборки и сварки

2.1 Обоснование выбора способа сварки

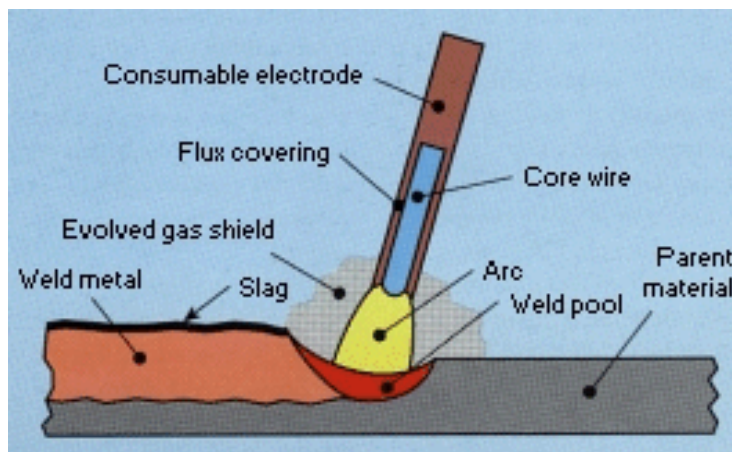
Построение проектного технологического процесса сборки и сварки рассматриваемой конструкции должно предусматривать расширение технологических возможностей процесса, повышение производительности и качества выполняемых операций. Для этого необходимо провести обоснование выбора способа сварки, который будет принят для построения технологического процесса и будет предоставлять возможность для применения современных достижений в области повышения эффективности сварочных процессов [2], [4].

Обоснование выбора способа сварки при изготовлении ответственных конструкций из аустенитных сталей должно обеспечивать хорошую свариваемость, которая проявляется в виде отсутствия трещин различной природы и свойств. Также особое внимание следует уделить вопросы получения необходимой технологической прочности [9], [38].

В процессе обоснования выбора способа сварки следует стремиться к уменьшению погонной энергии, что позволяет снизить перегрев основного металла и получение неблагоприятных свойств металла в зоне термического влияния. Особо следует уделять внимание возможности применения высококонцентрированных источников тепла при сварке и технике сварки.

Самое широкое применение при изготовлении конструкций из аустенитных сталей получила ручная дуговая сварка. 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 [8], [23], [27]. Схема выполнения ручной дуговой сварки представлена на рисунке 11.



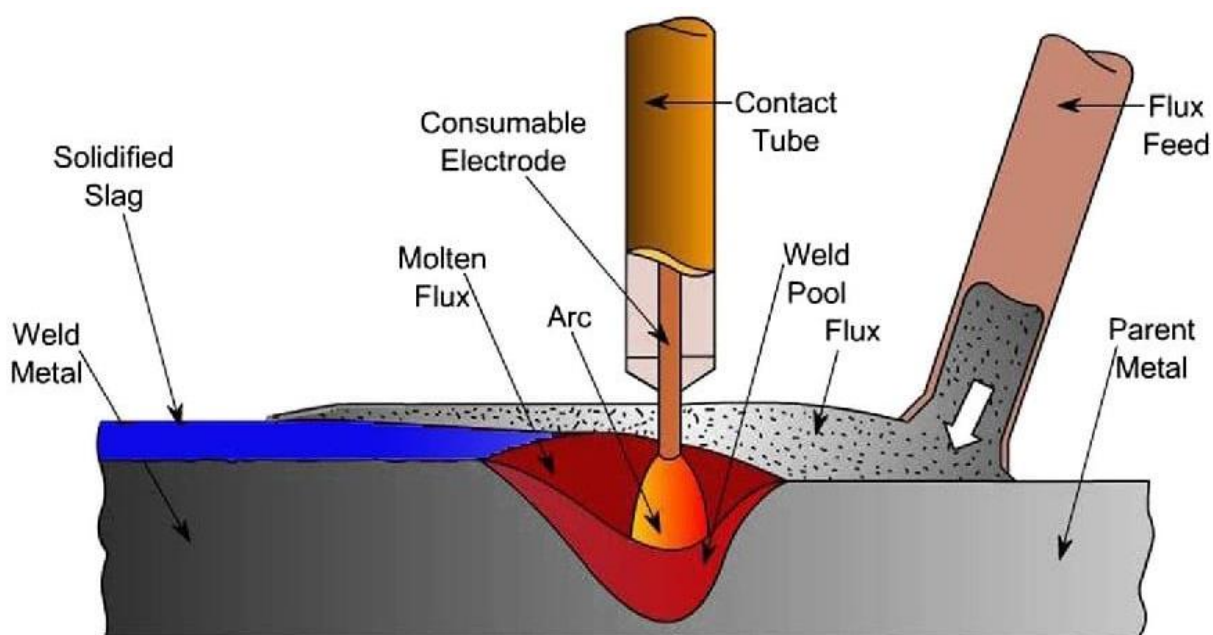
core wire – металлический сердечник, consumable electrode – плавящийся электрод, flux covering – покрытие электрода, arc – сварочная дуга, weld pool – сварочная ванна, parent metal – основной металл, evolved gas shield – защитная газовая оболочка, slag – шлак, weld metal – наплавленный металл

Рисунок 11 – Схема выполнения ручной дуговой сварки

Следует отметить значительное количество недостатков, которые присущи ручной дуговой сварке и заставляют повсеместно заменять её другими, более перспективными способами. Первым недостатком является малая производительность ручной дуговой сварки, которая не может быть повышена за счёт форсирования режимов или применения новых сварочных электродов. Вторым недостатком является вредность условий труда сварщика, которому приходится работать в атмосфере сварочного аэрозоля и излучения от дуги. Третьим недостатком следует указать увеличение расхода сварочных материалов из-за затрат на огарки, кроме того, необходимость прерывания горения дуги при смене электрода приводит к снижению производительности и качества сварки. Четвёртым недостатком является малая стабильность качества сварки, имеющая прямую зависимость от квалификации сварщика. За счёт применения электродов со специальным покрытием [29] можно повысить текучесть шлака и улучшить формирование корневого слоя шва. Также повышение эффективности ручной дуговой

сварки возможно за счёт применения специальной техники сварки и импульсного управления дугой [12].

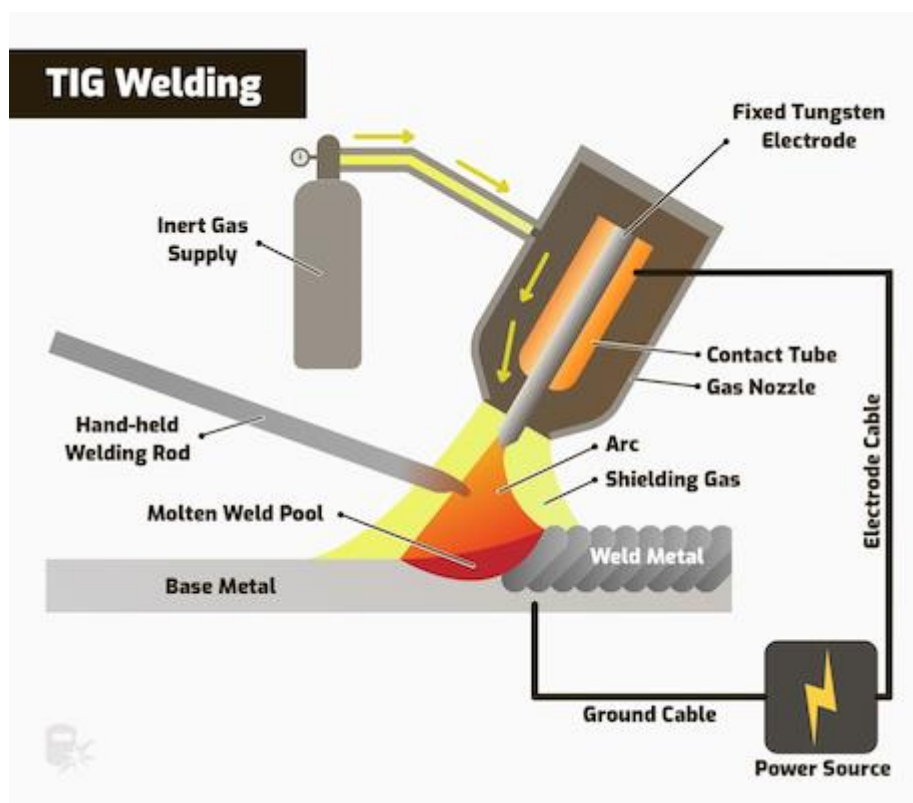
Для сварки рассматриваемой конструкции с учётом толщины свариваемых деталей следует признать возможность высокой эффективности автоматической сварки под флюсом, схема выполнения которой представлена на рисунке 12. Применение автоматической сварки под флюсом позволяет повысить производительность и качество сварных соединений. Также следует отметить существенное улучшение условий труда сварщиков за счёт отсутствия вредного излучения от сварочной дуги, снижения вредных выделений и устранения разбрызгивания при сварке [13]. Некоторое затруднение применения автоматической сварки под флюсом может быть вызвано кривизной сварного шва. Кроме того, при приварке переходников приходится выполнять замкнутый сварной шов незначительного диаметра (90 мм), который при помощи автоматической сварки под флюсом выполнить будет крайне затруднительно.



arc – сварочная дуга, parent metal – основной металл, weld metal – наплавленный металл, flux – сварочный флюс, molten flux – расплавленный флюс, consumable electrode – плавящийся электрод, weld pool – сварочная ванна, slag – шлак

Рисунок 12 – Схема выполнения автоматической сварки под флюсом

Применительно к конструкциям из аустенитных сталей следует рассмотреть возможность использования аргодуговой сварки неплавящимся электродом, схема выполнения которой представлена на рисунке 13. В числе преимуществ аргодуговой сварки неплавящимся электродом следует указать, в первую очередь, высокое качество сварного шва. Этот способ сварки широко применяется в составе комбинированной сварки, когда с применением аргодуговой 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. Сварка неплавящимся электродом характеризуется условиями труда, намного лучшими, чем ручная дуговая сварка.

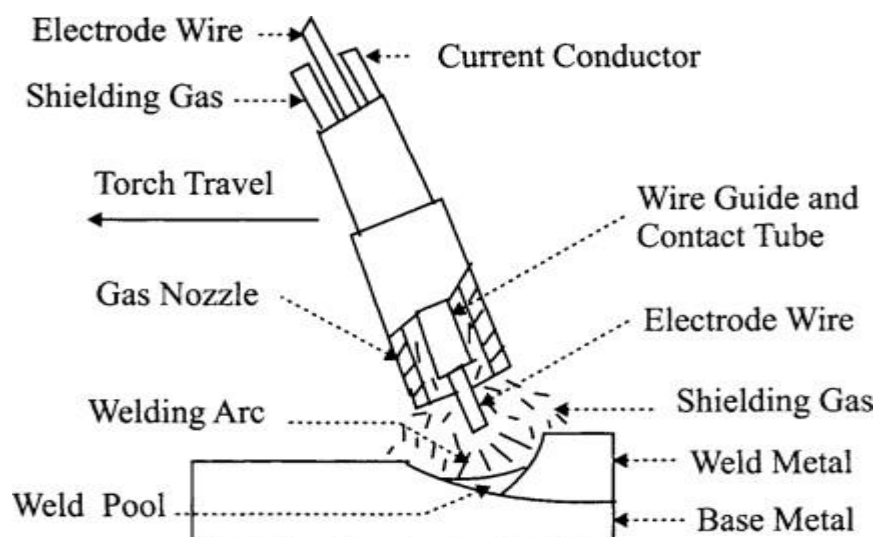


arc – сварочная дуга, base metal – основной металл, , shielding gas – защитный газ, contact tube – контактный наконечник, inert gas supply - источник подачи инертного газа, molten weld pool – расплавленная сварочная ванна, fixed tungsten electrode – неплавящийся вольфрамовый электрод, hand-held welding rod – присадочный пруток

Рисунок 13 – Схема выполнения аргодуговой сварки неплавящимся электродом

Традиционная ручная аргодуговая сварка по сравнению с другими способами сварки является процессом с низкой производительностью. Однако этот способ сварки имеет свои преимущества, например, высокое качество сварного шва, отсутствие шлака и окисления на поверхности шва. При этом по таким показателям, как плотность металла шва и незначительное количество дефектов, этот способ сварки превосходит большинство традиционных, имеющих более высокую производительность наплавки. Благодаря стабильности и возможности безопасной работы в различных условиях ручную аргодуговую сварку можно легко автоматизировать и механизировать. В случае необходимости обеспечения высокого уровня механических свойств металла шва применяют автоматическую аргодуговую сварку [33], [34].

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 представлена схема выполнения механизированной сварки в защитных газах.



electrode wire – электродная проволока, current conductor – токоподвод, shielding gas – защитный газ, torch travel – направление сварки, wire guide and contact tube – контактный наконечник, welding arc – сварочная дуга, shielding gas – защитный газ, weld metal – наплавленный металл, base metal – основной металл, weld pool – сварочная ванна

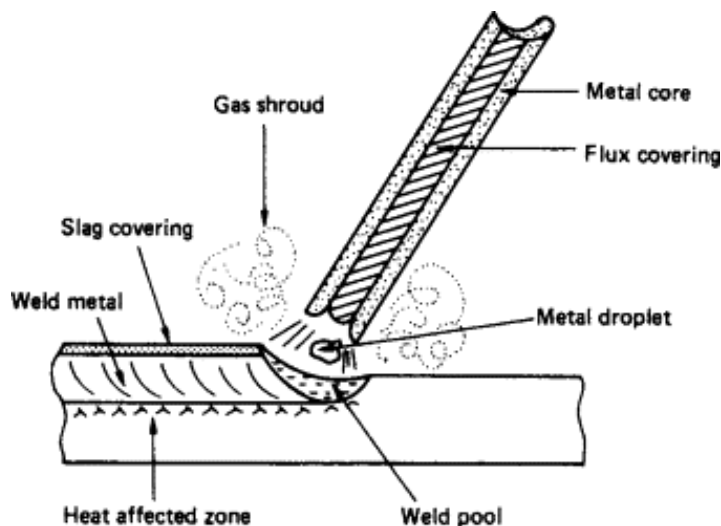
Рисунок 14 – Схема выполнения механизированной сварки в защитном газе проволокой сплошного сечения

Недостатками сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения следует признать интенсивное разбрызгивание, которое ограничивает величину сварочного тока и не позволяет применять форсированные режимы сварки. Также повышенная вязкость расплавленного металла может стать причиной образования горячих трещин. В мире интенсивно ведутся работы в области расширения технологических возможностей механизированной сварки в защитных газах. 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 [15], [31].

Широкими технологическими возможностями обладает сварка порошковыми проволоками, которые в условиях монтажа и производства позволяют эффективно заменять ручные способы сварки при изготовлении конструкций из аустенитных сталей [5], [6], [7]. На рисунке 15 представлена схема выполнения сварки порошковыми проволоками, которая может быть выполнена с использованием того же оборудования, что и сварка проволокой сплошного сечения. При сварке порошковыми проволоками удаётся получить сочетание положительных качеств ручной дуговой сварки и механизированной сварки в защитных газах [24], [36].

Таким образом, для изготовления рассматриваемой конструкции могут быть рассмотрены следующие способы сварки: ручная дуговая сварка покрытым электродом, автоматическая под флюсом, аргонодуговая

неплавящимся электродом, сварка в защитном газе проволокой сплошного сечения, сварка порошковой проволокой. Оценка преимуществ и недостатков каждого способа выполним по критериям оценки, которые предложены в работах [3], [27], [32].



metal core – металлическая оболочка, flux covering – флюсовый наполнитель, metal droplet – капля электродного металла, gas shroud – защитная газовая оболочка, weld pool – сварочная ванна, slag covering – шлаковая корка, weld metal – наплавленный металл, heat affected zone – зона термического влияния

Рисунок 15 – Схема выполнения сварки порошковой проволокой

В качестве критериев оценки рассматриваемых способов сварки приняты следующие позиции:

- стоимость применяемого в технологическом процессе оборудования и материалов,
- производительность процесса сварки,
- качество выполняемого сварного соединения,
- условия труда сварщика,
- эксплуатационные качества изделия после выполнения сварки,
- универсальность способа возможность выполнения всех рассматриваемых соединений.

На основании анализа преимуществ и недостатков каждого способа сварки им были выставлены следующие экспертные оценки по критериям, которые приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Экспертная оценка рассматриваемых способов сварки

Наименование способа сварки	Номер критерия оценки					
	1	2	3	4	5	6
ручная дуговая сварка покрытыми электродами	5	2	1	1	1	2
автоматическая сварка под флюсом	2	5	4	5	4	1
аргонодуговая сварка неплавящимся электродом	1	1	5	4	5	5
сварка проволокой сплошного сечения в защитных газах	3	3	3	3	3	5
сварка порошковой проволокой	4	4	2	2	2	3

На основании выставленных экспертных оценок ручная дуговая сварка покрытыми электродами получила суммарный балл – 12. Автоматическая сварка под флюсом получила суммарный балл – 21. Аргонодуговая сварка неплавящимся электродом получила суммарный балл – 21. Сварка проволокой сплошного сечения получила суммарный балл – 21. Сварка порошковой проволокой получила суммарный балл – 19. Таким образом, видно, что применяемая в настоящий момент ручная дуговая сварка должна быть заменена.

Для пристального рассмотрения с точки зрения применения при построении проектной технологии следует рассмотреть автоматическую сварку под флюсом, аргонодуговую сварку неплавящимся электродом и сварку проволокой сплошного сечения в защитных газах.

Применение сварки проволокой сплошного сечения более предпочтительно, так как позволяет сочетать высокую универсальность способа с высокой производительностью. Кроме того, повышение эффективности сварки возможно за счёт применения современных достижений в области управления горением сварочной дуги. При этом один и тот же способ сварки может быть применён как для сборки и прихватки, так и для выполнения основных сварных швов.

На основании проведенного анализа предлагается проводить сборку и прихватку с применением механизированной сварки проволокой сплошного сечения в защитном газе. Заполнение разделки предлагается проводить роботизированной сваркой проволокой сплошного сечения в защитных газах.

2.2 Описание сварочного оборудования

Для автоматизации процесса обварки патрубков предлагается применить промышленный робот производства FANUC Robotics серии Arc Mate. В настоящей выпускной квалификационной работе при построении роботизированного комплекса будет использован робот AM-120iB, который представлен на рисунке 16.



Рисунок 16 – Промышленный сварочный робот AM-120iB

Робот позволяет повысить производительность и качество сварочных работ при изготовлении конструкций из низколегированных и высоколегированных сталей. Робот имеет шесть степеней подвижности и грузоподъемность на кисть до 20 кг, что позволяет закрепить на фланце кисти сварочную горелку любой сложности. Механизм подачи сварочной проволоки может быть размещён на самом сварочном манипуляторе, что позволяет увеличить размеры рабочей зоны робота. Точность позиционирования горелки при сварке составляет 0,08 мм, что позволяет

обеспечить высокую точность выполнения сварных швов. Максимальный вылет робота составляет 1667 мм. Этот размер намного меньше габаритов свариваемой детали, поэтому необходимо рассмотреть возможность увеличения рабочей зоны промышленного робота.

Для увеличения рабочей зоны промышленного робота предлагается применить устройство линейного перемещения GUEDEL TM-72, которое представлено на рисунке 17. В состав устройства входят установочные планки 1 в количестве 10 штук, основание базисное 2, каретка 3, цепь кабельная 4, привод перемещения 5, упор стопорный 6, датчик линейных перемещений 7. Устройство позволяет осуществлять перемещение каретки на расстояние до 4000 мм и имеет грузоподъёмность до 1000 кг. Поскольку масса робота составляет 220 кг, то на подвижной каретке может быть закреплён робот с оснасткой и катушка сварочной проволоки с механизмом подачи.

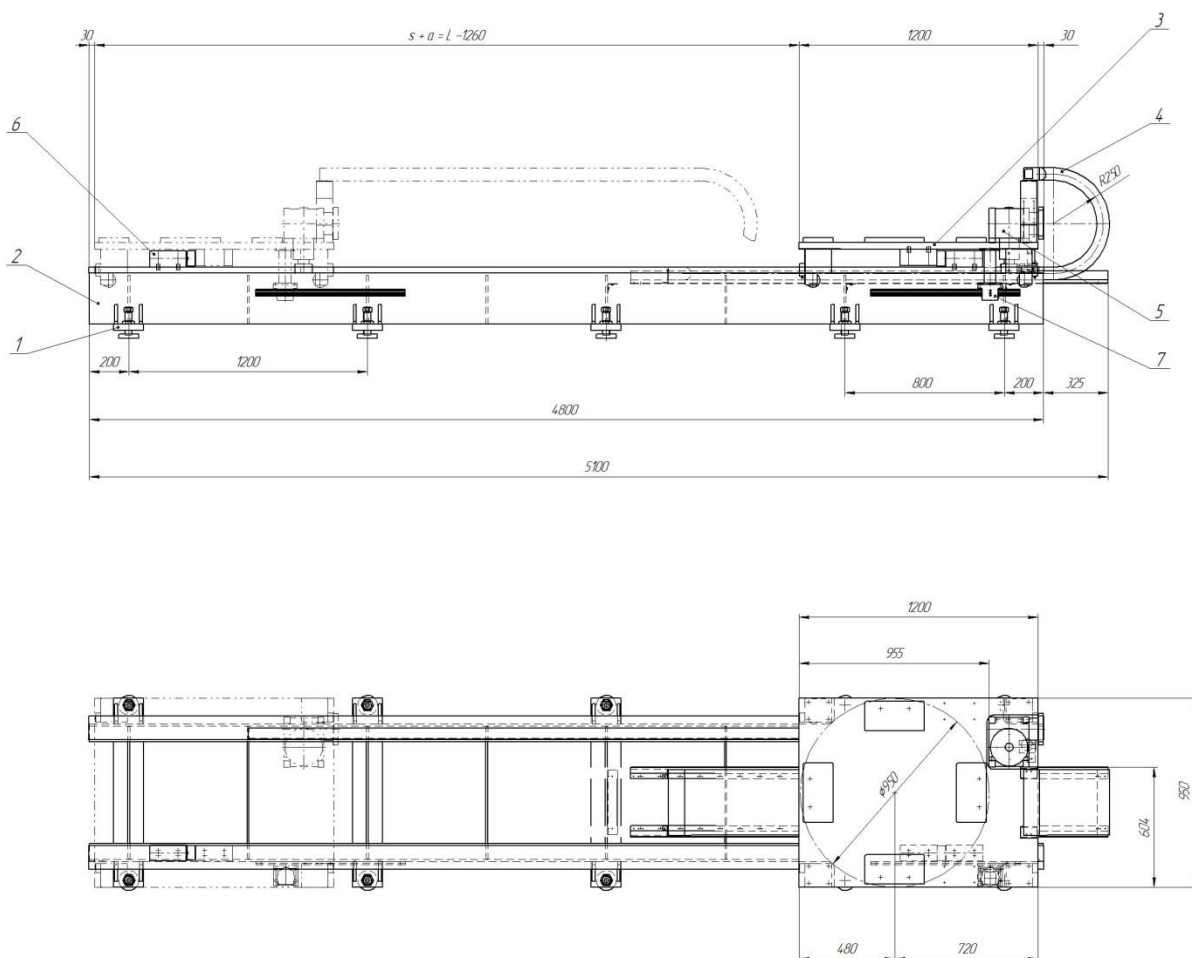


Рисунок 17 – Устройство линейного перемещения GUEDEL TM-72

Подвод сварочного робота к свариваемому изделию предлагается выполнять, как показано на рисунке 18. Свариваемое изделие имеет массу порядка 4 тонн и размещается на специализированном одноосном вращателе. Конструкция вращателя позволяет выполнять механизированную установку заготовки, её закрепление при помощи гидравлических прижимов. За счёт поворота платформы устанавливается оптимальное положение для доступа сварочной горелки робота к выполнению кольцевых швов при приварке штуцеров.

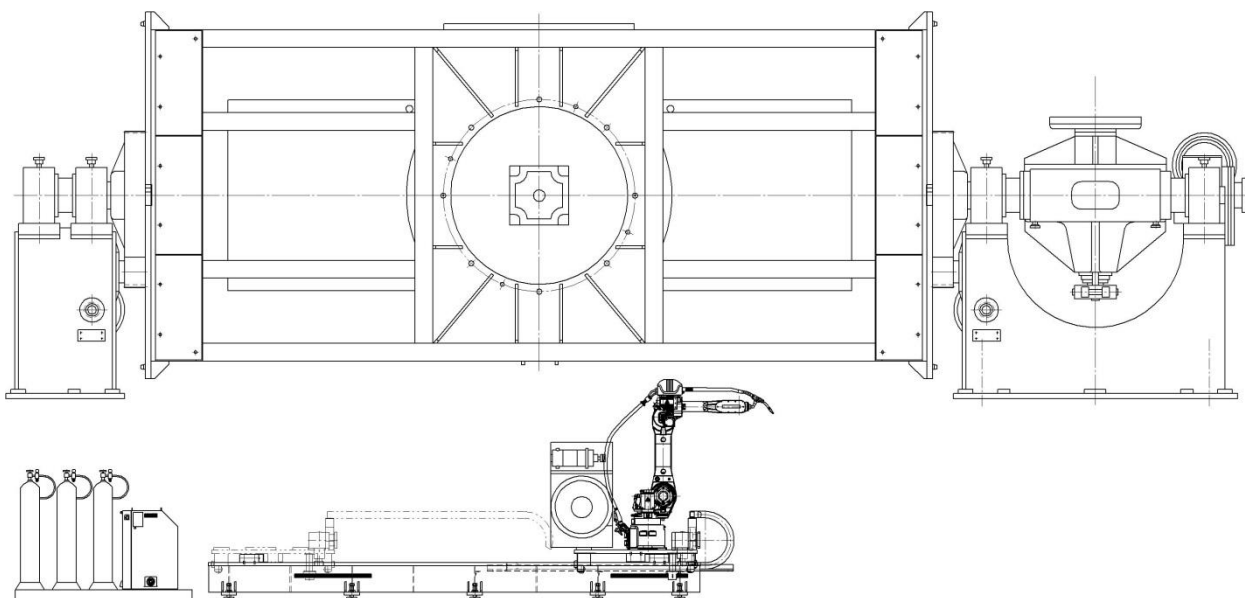


Рисунок 18 – Концепция построения роботизированной сварки

Для обеспечения питания сварочной дуги и подачи сварочной проволоки предлагается применить оборудование производства китайского предприятия MEGMEET, поставкой оборудования которого в Россию занимается предприятие ООО «МегмитВелдинг». В качестве механизма подачи проволоки применяется блок, представленный на рисунке 19-а. Для дистанционного управления сваркой предлагается применить пульт, представленный на рисунке 19-б. В качестве источника питания сварочной дуги предлагается применить Arsen Plus Megmeet, представленный на рисунке 19-в. Компоновка робота для сварки представлена на рисунке 20. Интеллектуальная система управления позволяет обеспечить высокое качество сварки за счёт импульсного управления горением сварочной дуги.



Рисунок 19 – Оборудование для роботизированной сварки: механизм подачи проволоки (а), пульт дистанционного управления (б), источник питания Artsen Plus Megmeet 350D (в)



Рисунок 20 – Компоновка робота для дуговой сварки

Система управления горением сварочной дуги обеспечивает несколько механизмов горения и переноса электродного металла. Устранение разбрызгивания и снижение тепловложения в основной металл происходит за счёт запатентованной системы «Tranquil Fusion». Повышение производительности сварки и проплавляющей способности достигается за счёт применения алгоритмов «Thunder Fusion» и «DP Fusion».

2.3 Проектная технология сборки и сварки

Проектная технология с варки изделия предполагает применение механизированной и автоматической сварки плавящимся электродом в защитном газе. Сборка, прихватка и сварка первых двух швов проходит с вручную на установочном приспособлении с применением механизированной сварки в защитном газе проволокой сплошного сечения. Далее выполняется установка и прихватка патрубков. После этого проходит роботизированная обварка установленных и прихваченных патрубков на описанном выше роботизированном технологическом комплексе.

Первая операция – подготовительная. выполняют зачистку деталей в месте наложения сварного шва до металлического блеска. Ширина зачистки составляет 20...25 мм в каждую сторону от предполагаемой границы сварного шва. Перед тем, как выполнять сварку и прихватку, следует провести обезжиривание кромок, торцев и околошовной зоны в обе стороны от сварного шва на ширину 20...25 мм. После обезжиривания следует выполнить просушку поверхности сжатым воздухом. После подготовки детали могут пролеживаться не более 30 минут. Для обезжиривания применяется растворитель – уайт-спирит или «Нефрос-С» согласно ГОСТ 8505-80. Для протирки применяется ветошь согласно ТУ 63-178-77-82.

Вторая операция – сборка и прихватка. Сборку деталей перед сваркой выполняют на ровной сборочной плите. Заготовки позиций 1, 2 и 3 согласно рисунка 2 размещают с точностью до 1 мм. При установке применяют временно привариваемые распорки, которые изготавливают из швеллера. Сборку ведут с применением прихваток. Длина прихватки составляет 60...70 мм, расстояние между прихватками 300...350 мм. Перед выполнением прихватки и сварки поверхность окружающего металла должна быть закрыта асбестом. Высота прихватки составляет 3...4 мм.

Для механизированной сварки применяется источник питания Artsen Plus Megmeet 350D (производства КНР), механизм подачи и устройство

водяного охлаждения. Комплект для механизированной сварки представлен на рисунке 21. Сварку ведём в смеси защитных газов «Аргон + углекислый газ». В аргон добавляется углекислый газ в количестве 5...10 %, что позволяет уменьшить критический ток и эффективно противостоять образованию пор в сварном шве. Малое содержание углекислого газа не вызывает интенсивного выгорания легирующих элементов. Диаметр сварочной проволоки составляет 1,2 мм, расход защитного газа составляет 9...12 литров в минуту. Расстояние между соплом горелки и свариваемой деталью не должно превышать 25 мм. В качестве сварочной проволоки предлагается применить проволоку Св-04Х19Н11М3.



Рисунок 21 – Оборудование для механизированной сварки производства MEGMEET (КНР)

Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности. Для диаметра проволоки 1,2 мм сварочный ток устанавливают 180...250 А, напряжение на дуге 20...25 В, расход защитного газа составляет 9...12 литров в минуту.

После выполнения прихватки проводят визуальный контроль качества их выполнения. Требования к качеству прихваток такие же, как и к качеству сварных швов. Не допускается наличие таких дефектов, как непровары в корне шва, поверхностные поры размером более 2 мм. Также не допускается наличие трещин всех видов и направлений и подрезы, которые имеют

глубину более 2 мм. При обнаружении прихватки с недопустимыми дефектами, такую прихватку следует удалить механическим путём и заварить снова.

Следующая операция – заполнение разделки. Принимается рациональная последовательность выполнения слоев, которая обеспечивает минимальное тепловое вложение в основной металл. Сварку ведут обратнo-ступенчатым способом от середины к краям с постепенным заполнением разделки. После наложения каждого валика следует выполнить тщательную зачистку поверхности от брызг металла и шлака. Необходимо проверить валик на отсутствие трещин и других недопустимых дефектов. При выполнении сварных швов контролируется межслойная температура, которая не должна превышать 100 °С.

Корень сварных швов следует вышлифовать при помощи шлифовальной машины. Далее с применением цветной дефектоскопии следует выполнить проверку в корне шва на наличие недопустимых дефектов. После проведения контроля проводят заполнение разделки с другой стороны.

Следующая операция – установка и прихватка патрубков. Длина прихватки составляет 8...15 мм. Следует выполнять четыре прихватки на каждый патрубок, прихватки необходимо располагать равномерно по периметру патрубка. Требования к качеству прихваток такие же, как и к качеству сварных швов. Не допускается наличие таких дефектов, как непровары в корне шва, поверхностные поры размером более 2 мм. Также не допускается наличие трещин всех видов и направлений и подрезы, которые имеют глубину более 2 мм. При обнаружении прихватки с недопустимыми дефектами, такую прихватку следует удалить механическим путём и заварить снова. Далее выполняют проверку геометрии свариваемого узла. Все несоответствия устраняются путём переустановки патрубка в теле листовой детали.

Далее свариваемый узел при помощи кран-балки устанавливают на вращатель роботизированного комплекса, на котором проходит автоматическая заварка кольцевых швов в количестве 185 штук в соответствии с заданной программой. При сварке поддерживается положение детали, близкое к нижнему.

После выполнения сборки и сварки проводят контроль качества сварных швов. Предварительно следует провести зачистку, удаляя брызги металла и недопустимые неровности. Для зачистки используется шлифовальная машина и круги для нержавеющей стали.

Для проведения капиллярного контроля применяется набор «Клевер», в состав которого входит очиститель КЛ, пенетрант ПК и проявитель ДП. Система капиллярного контроля «Клевер» позволяет выявлять дефекты с шириной раскрытия до 1 мкм. Материалы, которые входят в набор, не являются токсичными, не обладают коррозионной активностью и могут быть использованы для широкого класса материалов.

Для проведения визуально-измерительного контроля применяется набор, который включает в себя необходимое измерительное оборудование, средства подсветки, увеличительные стекла и маркер по металлу.

Для проведения ультразвукового контроля применяется дефектоскоп USD-50 и набор стандартных образцов.

При обнаружении недопустимых дефектов следует провести вырубку дефектного места и его повторную заварку с применением аргонодуговой сварки неплавящимся электродом. Не допускается исправление одного места более трёх раз.

Таким образом, внедрение проектной технологии позволяет существенно повысить качество и производительность сварочных операций при выполнении протяжённых швов за счёт замены способа сварки и применения современного сварочного оборудования. Также многократно повышена производительность вварки штуцеров за счёт применения роботизированной сварки.

3 Обеспечение безопасности и экологичности предлагаемых технических решений

3.1 Конструктивно-технологическая характеристика рассматриваемого объекта

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности сварки крупногабаритных конструкций из аустенитных сталей для атомной энергетики. В качестве объекта исследования рассматривается технология сборки и сварки закладной опоры проставки ревизионной шахты атомной станции. Выполненный анализ состояния вопроса позволил обосновать выбор способа сварки, в качестве которого для построения проектной технологии предлагается применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения с импульсным управлением горением сварочной дугой.

При построении проектной технологии выполняется пять операций, особенности которых представлены в таблице 4. Основные операции проектного технологического процесса предполагают использование механизированной или роботизированной сварки проволокой сплошного сечения в защитном газе.

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

Таблица 4 – Технологический паспорт технического объекта

Наименование технологической операции в соответствии с проектным процессом	Привлекаемый для выполнения операции персонал	Перечень применяемого на операции технологического оборудования
Подготовительная	Слесарь-сборщик	Зачистная пневматическая машинка, набор кругов по нержавеющей стали
Сборка и прихватка	Слесарь-сборщик, электросварщик	Кран-балка, сборочная плита, универсальное сборочное приспособление, комплект измерительного инструмента, источник питания Arsten Plus Megmeet 350D, механизм подачи проволоки, зачистная пневматическая машинка
Заполнение разделки	Электросварщик	источник питания Arsten Plus Megmeet 350D, механизм подачи проволоки, зачистная пневматическая машинка
Установка и прихватка патрубков	Слесарь-сборщик, электросварщик	универсальное сборочное приспособление, комплект измерительного инструмента, источник питания Arsten Plus Megmeet 350D, механизм подачи проволоки, зачистная пневматическая машинка
Обварка патрубков	Электросварщик	Сварочный робот AM 120iB, источник питания Arsten Plus Megmeet 350D механизм подачи проволоки, вращатель детали, механизм линейного перемещения GUDEL TM-72, стойка обслуживания сварочной горелки
Контроль качества	Дефектоскопист	Ультразвуковой дефектоскоп

Дальнейшие работы по выполнению раздела предполагают идентификацию опасных и вредных производственных факторов, которые сопровождают реализацию проектной технологии сборки и сварки. Анализ этих факторов позволит предложить технические средства и организационные мероприятия по защите от вредных и опасных производственных факторов. Кроме того, следует рассмотреть проектную технологию на предмет пожарной и экологической безопасности, предложить мероприятия по соблюдению мировой экологической повестке

3.2 Идентификация профессиональных и производственных рисков

При работе технологического оборудования, которое задействовано в осуществлении проектного технологического процесса, возникают опасные и вредные производственные факторы. Наличие этих факторов обусловлено особенностями выполнения каждой операции технологического процесса, которые были рассмотрены выше. В таблице 5 представлены результаты идентификации возникающих профессиональных рисков.

Таблица 5 – Выявление и анализ источников возникновения производственных рисков

Наименование технологической операции	Формулировка вредного или опасного фактора, который возникает в процессе выполнения данной операции технологического процесса
Подготовительная	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования
Сборка и прихватка	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;
Заполнение разделки	- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;
Установка и прихватка патрубков	- 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
Обварка патрубков	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека
Контроль качества	- наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев - повышенное значение ультразвука

На основании результатов исследований проектного технологического процесса на предмет выявления производственных и профессиональных рисков, которые представлены в таблице 5, выделено семь негативных производственных факторов:

- 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,
- . – повышенное значение ультразвука

Выявленные негативные факторы ранее возникали в других технологических процессах, являются известными и могут быть устранены.

При этом следует учитывать не только опасное воздействие на персонал негативных факторов, но и их кумулятивный эффект при длительном воздействии.

Дальнейшие работы предусматривают обоснование выбора стандартных методик и технических средств. В случае, если для устранения опасного или вредного производственного фактора стандартные средства использованы быть не могут, может понадобиться разработка специализированных технических средств и организационных мероприятий.

3.3 Методики и технические средства для устранения профессиональных рисков

В таблице 6 представлены решения по обеспечению безопасности производственного процесса. Для обеспечения защиты персонала от возникающих негативных производственных факторов не требует разработки специальных методик и технических средств.

Таблица 6 – 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	Средства индивидуальной защиты
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	Специальная одежда, перчатки, защитные очки
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	Специальная одежда, перчатки, защитные очки
3) повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	Индивидуальные средства защиты дыхательных путей
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	Специальная одежда, перчатки, резиновые коврики
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	Специальная одежда, перчатки
6) инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	1) ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений 2) защитные экраны	Специальная одежда, перчатки, защитные маски
7) ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений	1) ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений 2) защитные экраны	Специальная одежда, перчатки, защитные маски

Представленные в таблице 6 технические средства и мероприятия позволяют устранить негативные производственные факторы и обеспечить требуемую безопасность персонала при выполнении проектного технологического процесса. Анализ данных в таблице 6 позволяет заключить, что устранение влияния негативных производственных факторов или их снижение до приемлемого уровня может быть выполнено путём применения стандартных методик и технических решений.

3.4 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 7.

Таблица 7 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Наименование участка	Участок, на котором осуществляется сборка и сварка
Наименование оборудования	Печь для термической обработки, воздушный компрессор, шлифовальный станок, сверлильный станок, установка для пламенного нанесения покрытий.
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, запитанным высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения

На основании данных таблицы 7 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.

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 8 приведены технические средства по устранению этих факторов.

Таблица 8 – 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 Обеспечение экологической безопасности промышленного объекта

Реализация предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технических решений приводит к возникновению негативного антропогенного действия 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.

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	«Применение специальных фильтров, устанавливаемых в вентиляционную систему цеха, которые позволяют собирать и утилизировать выделяющиеся при работе технологического оборудования вредные вещества» [1]
Гидросфера	«Контролировать утечки машинного масла из гидравлической системы технологического оборудования, в случае возникновения таких утечек их следует незамедлительно устранять» [1]
Литосфера	«На производственном участке необходимо выполнить установку ёмкостей, которые позволяют провести селективный сбор получаемых при выполнении технологического процесса отходов. Проведение инструктажа персонала о необходимости соблюдения мер по сбору мусора» [1]

Таким образом, предложенные мероприятия позволяют уменьшить антропогенное воздействие на окружающую среду. Выполнение операций проектного технологического процесса, который был представлен в

исполнительском разделе настоящей выпускной квалификационной работы, приводит к возникновению негативных производственных факторов и негативных экологических факторов.

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.

Выполненная идентификация этих негативных факторов позволила предложить стандартные методики и технические средства для защиты персонала и окружающей среды.

На основании вышеизложенного следует сделать вывод, что реализация проектной технологии приводит к возникновению ряда опасных и вредных производственных факторов. Идентификация этих факторов позволила установить, что для устранения действия этих факторов потребуются стандартные технические средства и организационные мероприятия, которые были предложены в настоящем разделе выпускной квалификационной работы.

Для обеспечения пожарной безопасности производственного участка выполнен анализ опасных факторов пожара и предложены стандартные средства для его предотвращения.

Для обеспечения экологической безопасности рассматриваемого технологического процесса предложен ряд организационных мероприятий.

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 сварки крупногабаритных конструкций из аустенитных сталей для атомной энергетики. В качестве объекта исследования рассматривается технология сборки и сварки закладной опоры проставки ревизионной шахты атомной станции. Выполненный анализ состояния вопроса позволил обосновать выбор способа сварки, в качестве которого для построения проектной технологии предлагается применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения с импульсным управлением горением сварочной дугой.

Проектная технология с варки изделия предполагает применение механизированной и автоматической сварки плавящимся электродом в защитном газе. Сборка, прихватка и сварка первых двух швов проходит с вручную на установочном приспособлении с применением механизированной сварки в защитном газе проволокой сплошного сечения. Далее выполняется установка и прихватка патрубков. После этого проходит роботизированная обварка установленных и прихваченных патрубков на описанном выше роботизированном технологическом комплексе.

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.

Дальнейшие работы проведём в направлении оценки затрат по проектному варианту технологического процесса и базовому варианту технологического процесса, расчёта показателей эффективности.

Таблица 10 – 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	-	IV	IV
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	250	250
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.	500 тыс.	4500 тыс.
Норма амортизации оборудования	K_a	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	60	200
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	0,8
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	S	m^2	100	100
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» [18]	$K_{зав}$	-	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: $t_{шт.баз} = 35 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 42$ часа и $t_{шт.проектн.} = 9 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 11$ 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: $\Pi_{г.баз.} = 2054/42 = 48$ деталей для базового технологического процесса и $\Pi_{г.пр.} = 2054/11 = 186$ 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 $\Pi_{г} = 20$ 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: $n_{\text{расч}} = 42 \cdot 20 / (2054 \cdot 1,03) = 0,38$ для базового варианта технологического процесса; $n_{\text{расч}} = 11 \cdot 20 / (2054 \cdot 1,03) = 0,1$ 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: $K_{\text{з}} = 0,38/1 = 0,38$ для базового варианта технологического процесса и $K_{\text{з}} = 0,1/1 = 0,1$ 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 наблюдается уменьшение коэффициента загрузки используемого 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:

$$M = C_M \cdot N_p \cdot K_{ТЗ} . \quad (7)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $(800 \cdot 2,52 + 1300 \cdot 4,14 + 30000 \cdot 0,0495) \cdot 1,05 = 60000$ рублей для операций базового технологического процесса; для операций проектного технологического процесса средства, которые затрачиваются на материалы: $(800 \cdot 2,16 + 1300 \cdot 34,2 + 30000 \cdot 0,0468) \cdot 1,05 = 50000$ 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: $Z_{осн} = 42 \cdot 250 \cdot 1,88 = 19800$ рублей для базового варианта технологического процесса и $Z_{осн} = 11 \cdot 250 \cdot 1,88 = 5170$ 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: $Z_{\text{доп}} = 19800 \cdot 12 / 100 = 2400$ рублей для операций базового технологического процесса и $Z_{\text{доп}} = 5170 \cdot 12 / 100 = 620$ 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: $\text{ФЗП} = 19800 + 2400 = 22200$ рублей для операций базового технологического процесса и $\text{ФЗП} = 5170 + 620 = 5790$ 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: $O_{\text{сн}} = 22200 \cdot 34 / 100 = 7548$ рублей для операций базового технологического процесса и $O_{\text{сн}} = 5790 \cdot 34 / 100 = 1968$ 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 N_a , которая для рассматриваемой выпускной квалификационной работы составляет $N_a = 21,5 \%$. 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 $C_{\text{об}}$.

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $A_{об.} = 500000 \cdot 21,5 \cdot 42 / 2054 / 100 = 2200$ рублей по базовому варианту технологии, по проектному варианту технологии: $A_{об.} = 4500000 \cdot 21,5 \cdot 11 / 2054 / 100 = 5181$ 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 $C_{ээ}$:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $P_{ээ} = 60 \cdot 42 \cdot 3,4 / 0,7 = 12240$ рублей для базового варианта технологического процесса, $P_{ээ} = 200 \cdot 11 \cdot 3,4 / 0,8 = 9350$ рублей для проектного технологического процесса.

После подстановки рассчитанных выше значений в формулу (11) вычисляем затраты на оборудование: $Z_{об} = 2200 + 12240 = 14440$ рублей по базовому технологическому процессу и $Z_{об} = 5181 + 9350 = 14531$ 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 $\Phi ЗП$, затрат на производственные площади $Z_{пл}$ и затрат на оборудование $Z_{об}$:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $C_{тех} = 60000 + 22200 + 7548 + 14440 = 104188$ рублей для базового варианта технологического процесса, и для проектного технологического процесса $C_{тех} = 50000 + 5790 + 1968 + 14531 = 72289$ 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: $C_{\text{цех}}=104188+1,5 \cdot 19800 = 104188 + 29700 = 133888$ рублей для базового технологического процесса и для проектного технологического процесса $C_{\text{цех}}=72289 + 1,5 \cdot 5170 = 72289 + 7755 = 80044$ 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 $C_{\text{зав}} = 133888 + 1,15 \cdot 19800 = 133888 + 22770 = 156658$ рублей для базового варианта технологии, и для проектного технологического процесса $C_{\text{зав}} = 80044 + 1,15 \cdot 5170 = 80044 + 5946 = 85990$ рублей.

В таблице 11 представлена калькуляция заводской стоимости выполнения операций по базовому варианту технологического процесса и проектному варианту технологического процесса.

Данные, представленные в таблице 11, позволяют судить о высокой эффективности проектной технологии, которая позволяет уменьшить заводскую себестоимость относительно базовой технологии.

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.

Таблица 11 – 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	<i>M</i>	60000	50000
2. Фонд заработной платы	<i>ФЗП</i>	22200	5790
3. Отчисления на соц. нужды	<i>Осн</i>	7548	1968
4. Затраты на оборудование	<i>Зоб</i>	14440	14531
5. Технологическая себестоимость	<i>Стех</i>	104188	72289
6. Цеховые расходы	<i>Рцех</i>	29700	7755
7. Цеховая себестоимость	<i>Сцех</i>	133888	80044
8. Заводские расходы	<i>Рзав</i>	22770	5946
9. Заводская себестоимость» [18]	<i>Сзав</i>	156658	85990

На основании данных таблицы 11 уже можно судить об экономической эффективности проектной технологии, внедрение которой позволяет существенно снизить техническую и заводскую себестоимости изготовления продукции.

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 $C_{\text{об.б.}} = 500000 - (500000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 177500$ рублей.

Капитальные затраты по базовой технологии могут быть рассчитаны как:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $K_{\text{общ. б.}} = 1 \cdot 177500 \cdot 0,38 = 67500$ рублей.

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

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

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 $K_{\text{тз}}=1,05$, цены оборудования $C_{\text{об}}$ и коэффициента загрузки оборудования $K_{\text{зп}}$:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $K_{\text{об. пр.}} = 4500000 \cdot 1,05 \cdot 0,1 = 472500$ рублей.

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

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $P_{\text{дем}} = 1 \cdot 500000 \cdot 0,05 = 25000$ 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 $P_{\text{монт}} = 4500000 \cdot 0,05 = 225000$ 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 $P_{\text{соп}} = 25000 + 225000 = 250000$ рублей.

Далее с использованием подставленных в формулу (19) значений получили общие капитальные затраты $K_{\text{общ. пр.}} = 472500 + 250000 = 722500$ 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 $K_{\text{доп}} = 722500 - 67500 = 655000$ 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 $K_{\text{уд}} = 67500/20 = 3375$ рублей за единицу продукции по базовой технологии и $K_{\text{уд}} = 722500/20 = 36125$ 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 $\Delta t_{шт} = (42 - 11) \cdot 100 \% / 42 = 73 \%$.

Повышение производительности Π_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 $\Delta C_{тех} = (104188 - 72289) \cdot 100\% / 104188 = 30 \%$.

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 $\Pi_{ож} = (156658 - 85990) \cdot 20 = 1413360$ 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 $T_{ок} = 655000 / 1413360 = 0,4$ 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 $\Delta\Gamma = 1413360 - 0,33 \cdot 655000 = 1197210$ рублей.

Таким образом, с учётом особенностей выполнения операций технологического процесса по проектному варианту и базовому варианту был выполнен расчёт основных экономических показателей производства.

Проведенные экономические расчёты позволяют судить о высокой эффективности предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решениях. Производительность труда повышается на 270 %. Уменьшение технологической себестоимости составило 30 %. При этом за счёт повышения производительности труда и снижения издержек удалось получить годовой экономический эффект в размере 1,2 млн. рублей. Средства, затраченные на внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений, будут окуплены за 0,4 года.

Следует также принимать во внимание, что рассчитанные экономические показатели получены для исходных данных, которые предусматривают изготовление 10 деталей в год. При этом коэффициент загрузки оборудования снижается до 0,1. Таким образом, у предприятия появляется резерв для многократного увеличения программы выпуска, которая позволяет прогнозировать увеличение строящихся атомных станций и даёт основание оптимистично оценивать перспективы российской атомной промышленности.

Заключение

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности сварки крупногабаритных конструкций из аустенитных сталей для атомной энергетики. В качестве объекта исследования рассматривается технология сборки и сварки закладной опоры проставки ревизионной шахты атомной станции.

При выполнении базовой технологии применяется ручная дуговая сварка штучными электродами. 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. Это объясняется большим количеством недостатков, устранение которых при существующем уровне развития техники и технологий неосуществимо.

В качестве первого недостатка ручной дуговой сварки следует указать малую производительность, которая не может быть повышена за счёт форсирования режимов или применения новых сварочных электродов. Вторым недостатком является вредность условий труда сварщика, которому приходится работать в атмосфере сварочного аэрозоля и излучения от дуги. Третьим недостатком следует указать увеличение расхода сварочных материалов из-за затрат на огарки, кроме того, необходимость прерывания горения дуги при смене электрода приводит к снижению производительности и качества сварки. Четвёртым недостатком является малая стабильность качества сварки, имеющая прямую зависимость от квалификации сварщика.

Выполненный анализ состояния вопроса позволил обосновать выбор способа сварки, в качестве которого для построения проектной технологии предлагается применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения с импульсным управлением горением сварочной дугой.

Проектная технология с варки изделия предполагает применение механизированной и автоматической сварки плавящимся электродом в

защитном газе. Сборка, прихватка и сварка первых двух швов проходит с вручную на установочном приспособлении с применением механизированной сварки в защитном газе проволокой сплошного сечения. Далее выполняется установка и прихватка патрубков. После этого проходит роботизированная обварка установленных и прихваченных патрубков на описанном выше роботизированном технологическом комплексе.

Выполнение операций проектного технологического процесса, который был представлен в исполнительском разделе настоящей выпускной квалификационной работы, приводит к возникновению негативных производственных факторов и негативных экологических факторов. Выполненная идентификация этих негативных факторов позволила предложить стандартные методики и технические средства для защиты персонала и окружающей среды.

Проведенные экономические расчёты позволяют судить о высокой эффективности предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решениях. Производительность труда повышается на 270 %. Уменьшение технологической себестоимости составило 30 %. При этом за счёт повышения производительности труда и снижения издержек удалось получить годовой экономический эффект в размере 1,2 млн. рублей. Средства, затраченные на внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений, будут окуплены за 0,4 года.

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

Следует также принимать во внимание, что рассчитанные экономические показатели получены для исходных данных, которые предусматривают изготовление 10 деталей в год. За счёт предложенных в работе решений у предприятия появляется резерв для многократного увеличения программы выпуска, которая позволяет прогнозировать увеличение строящихся атомных станций и позволяет прогнозировать развитие российской атомной энергетики.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372с.
2. Бербасова Н. Ю. Инновационная восприимчивость предприятия как инструмент повышения эффективности сварочного производства // Повышение эффективности сварочного производства и мотивация труда. Бобруйск, 2000. С. 39–40.
3. Волченко В.Н. Эффективность сварочных процессов с учетом энергетической классификации. М.: Машиностроение, 1967. 320 с.
4. Денисова Л. С. Рекомендации по обеспечению качества сварочных работ в строительстве. Минск : НТПО «Белстройнаука». 1990. 105 с.
5. Гаврилов С. Н. Перспективы применения и разработки сварочных материалов для сварки аустенитных хромоникелевых сталей в монтажных условиях // Научный журнал КубГАУ. 2013. № 4. С. 14–16.
6. Гаврилов С.Н. Разработка самозащитной порошковой проволоки для сварки аустенитных хромоникелевых сталей в монтажных условиях. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. 05.03.06 Краснодар, 2007. 217 с.
7. Гаврилов С.Н. Экономическая целесообразность замены электродов ЦЛ-11 самозащитной порошковой проволокой для сварки аустенитных хромоникелевых сталей в монтажных условиях // Сварщик профессионал. 2003. №5. С. 23–26.
8. 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.
9. Гольдштейн М. И., Грачёв С. В., Векслер Ю. Г. Специальные стали : учебник для вузов. М. : «МИСИС», 1999. 408 с.
10. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.

11. Доронин Ю. В., Подрезов Н. Н. Необходимость формализации понятия свариваемости в производстве изделий АЭС // Глобальная ядерная безопасность. 2014. № 3. С. 26–30.
12. Дудко Д. А., Сидорчук В. С., Зацерковный С. А. Технология ручной дуговой сварки покрытыми электродами с модуляцией параметров режима // Автоматическая сварка. 1991. № 12. С. 59–60.
13. Еремин Е. Н., Кац В. С., Бородихин С. А. Оборудование для дуговой сварки под слоем флюса. Омск : ОмГТУ, 2018. 121 с.
14. Иванайский Е. А., Ишков А. В., Иванайский В. В. Использование восстановительной атмосферы для сварки сталей аустенитного класса // Ползуновский вестник. 2019. № 2. С. 128–132.
15. 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.
16. Касаткин О. Г., Царюк А. К., Скульский В. Ю. Односторонняя сварка плакированных трубопроводов атомных энергетических установок // Автоматическая сварка. 2012. № 12. С. 11–16.
17. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
18. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.
19. Кузнецов М. А., Карцев Д. С., Журавков С. П. Структурообразование и коррозионная стойкость сварных соединений из стали аустенитного класса // Технологии и материалы. 2015. № 4. С. 18–24.
20. Лебедев В. А., Лендел И. В. Совершенствование механизированной дуговой сварки и наплавки нержавеющей сталей с импульсной подачей электродной проволоки // ВІСНИК Донбаської державної машинобудівної академії. 2016. № 2. С. 156–159.

21. Людмирский Ю. Г., Солтовец М. В. Грицына А. Н. Принципы организационно-технологического проектирования роботизированных сварочных комплексов // Вестник ДГТУ. 2007. № 1. С. 47–53.
22. Мазур А. А., Маковецкая О. К., Пустовойт С. В. Экономико-статистический обзор мирового и регионального рынков сварочных материалов // Автоматическая сварка. 2019. № 9. С. 45–51.
23. Маковецкая О.К. Состояние и тенденции развития мирового рынка основных конструкционных материалов и сварочной техники // Автоматическая сварка. 2015. № 10. С. 54–61.
24. Мойсов Л.П. Порошковая проволока – сварочный материал XXI века. // Монтажные и специальные работы в строительстве. 2002. № 9. С 7–10.
25. Никифоров Р. В., Галимов В. Р., Хисамутдинов Э. Р. Структура и свойства сварных соединений сплава ЭП718, полученных роботизированной сваркой плавящимся электродом // Вестник УГАТУ. 2021. № 4. С. 10–18.
26. Нгуен Д. К., Лубенко В. Н. Особенности роботизации сварочного производства в судостроении // Вестник АГТУ. 2008. № 2. С. 149–155.
27. Павлова И. А., Павлов А. С. Техничко-экономический анализ при внедрении инновации на производственном предприятии // Экономический анализ: теория и практика. 2014. № 40. С. 14–21.
28. Параскевов А. В. Левченко А. В. Современная робототехника в России: реалии и перспективы // Научный журнал КубГАУ. 2014. № 10. С. 17–23.
29. Патент № 2219032 РФ, МКИ В23К35/365. Состав электродного покрытия / Лозовский М. М., Волохов А. П., 2003.
30. Патон Б. Е. Глобальная энергия, сварка и родственные технологии // научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. 2011. № 1. С. 9–14.

31. 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.

32. Перерва О. Л. Экономика инновационных процессов на промышленном предприятии // Экономическая наука современной России. 2005. № 2. С. 89–96

33. Полосков С. И., Букаров В. А., Ищенко Ю. С. Особенности заполнения разделки при автоматической орбитальной сварке неповоротных стыков труб // Сварочное производство. 2003. № 8. С. 3–11.

34. Полосков С. И., Ищенко Ю. С., Букаров В. А. Минимизация вероятности образования наружных дефектов швов в процессе автоматической орбитальной сварки // Сварочное производство. 2003. № 10. С. 6–13.

35. Размышляев А. Д., Миронова М. В., Дели А. А. Особенности процесса проплавления металла при аргонодуговой сварке вольфрамовым электродом в продольном магнитном поле // Вестник Приазовского государственного технического университета. 2009. № 19. С. 185–187.

36. Розерт Р. Применение порошковых проволок для сварки в промышленных условиях // Автоматическая сварка. 2014. № 6-7. С. 60–64.

37. Саидов Р. М., Атабаев И. Г., Ахадов Ж. З. Особенности формирования сварных швов нержавеющей сталей при А-МИГ сварке пульсирующей дугой // Computational nanotechnology. 2017. № 3. С. 45–51.

38. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов. М. : Лань. 2019. 268 с.

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