

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 Сварка бортовой секции лесовоза

Обучающийся

С.А. Исмагилов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доц. Г.М. Короткова

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

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярдова

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

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

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

Тольятти 2025

Аннотация

Так как изготовление секций судна может занимать до 40 % от общей трудоемкости работ, то автоматизация и роботизация процессов позволяет значительно повысить эффективность производства по сравнению с традиционными способами построения производственных участков в судостроении. Также роботизация производства позволяет повысить его гибкость и упрощает переход на изготовление измененной конструкции судна, что особенно важно в связи с тем, что в ходе изготовления судна могут быть внесены изменения в проектную документацию следующей его модификации. В работе поставлена цель – повышение эффективности сварочных операций при «изготовлении сварных конструкций в условиях судостроительных предприятий. На основании экспертной оценки преимуществ и недостатков рассматриваемых способов для построения проектной технологии предложено применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения. Расширение технологических возможностей выбранного способа сварки обеспечивается применением разработки в области импульсного управления» [4] переносом электродного металла, предложенной российскими исследователями-сварщиками. Это позволяет повысить производительность процесса, устранить разбрызгивание, повысить энергетические показатели способа за счёт положительных изменений теплового баланса, а также обеспечить механизированную и автоматизированную сварку с получением стабильно высокого качества, приближающегося по показателям к автоматической сварке под флюсом. Составленная проектная технология сварки может быть реализована на значительном количестве предприятий Российской Федерации с применением имеющегося в наличии сварочного оборудования.

Содержание

Введение	5
1 Современное состояние сварочных технологий при сварке бортовых секций судов.	7
1.1 Описание свариваемой конструкции.	7
1.2 Сведения о материале для изготовления элементов бортовой секции.	9
1.3 Особенности базовой технологии сварки.	11
1.4 Анализ научной литературы по рассматриваемой тематике.	17
1.5 Формулировка задач на выполнение выпускной квалификационной работы.	20
2 Проектная технология сварки боковых секций лесовоза	22
2.1 Обоснование выбора способа сварки.	22
2.2 Расширение технологических возможностей выбранного способа сварки.	28
2.3 Расширение технологических возможностей судостроительного производства за счет автоматизации и роботизации процессов	34
2.4 Описание операций проектного технологического процесса сварки	40
3 Промышленная безопасность производственного участка.	44
3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи	44
3.2 Идентификация негативных производственных факторов.	46
3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов.	47
3.4 Пожарная безопасность производственного участка	49
3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка.	51
4 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений.	53

4.1 Исходные данные для экономического расчёта.	53
4.2 Фонд времени работы оборудования.	55
4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства. .	56
4.4 Заводская себестоимость.	58
4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам.	63
4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей.	65
Заключение	67
Список используемой литературы и используемых источников.	69

.

Введение

На первых этапах развития судостроения в России широкое применение получила ручная дуговая сварка, которая, обладая универсальностью оборудования и возможностью выполнения соединений в различных пространственных положениях, позволяла незамедлительно приступать к изготовлению новых конструкций, не требуя значительной перестройки производства [11]. В настоящее время в Российской Федерации на предприятиях накоплен значительный опыт применения источников питания для дуговой сварки различного типа – трансформаторов, выпрямителей, инверторов, однако дальнейшее повышение экономических показателей производства требует модернизации существующего оборудования, механизации, автоматизации и роботизации технологических процессов, что напрямую связано с изучением и внедрением мирового и российского опыта в области совершенствования сварочных процессов.

Как показала практика изготовления сварных конструкций в судостроении, до настоящего времени не разрешены трудности, сопровождающие формирование соединения при различных способах сварки, к которым, в первую очередь, следует отнести внутренние и внешние дефекты сварных швов, образование которых происходит даже при строгом соблюдении требований технологического процесса. Так, на основании внешнего контроля сварных швов в судостроении признается бракованными до 1,0...1,5 % соединений в год, а на основании рентгеновского контроля дефектными признается до 5...7% сварных швов в год [20]. Существенный вклад в статистику дефектности сварных соединений вносит несовершенство технологического процесса, а исправление брака заставляет проводить дополнительные манипуляции, снижает производительность и повышает стоимость изготовления конструкций. В условиях судостроительного производства это дополнительно негативно сказывается на функционировании всего предприятия, так как выпускаемая продукция носит

штучный характер, и от успешности выполнения каждой операции зависят сроки выпуска всего судна.

Также следует принимать во внимание высокие экономические показатели, которые обеспечивает применение предприятием современных методов построения сварочных производств с использованием средств автоматизации и роботизации [4], [20], [21], [26]. Для этого следует применять самые современные комплексы по перемещению крупногабаритных заготовок и средства повышения мобильности сварочных роботов, так как особенностью выполнения сварных швов в судостроении является значительная протяженность сварного шва, изменение его траектории от линейной. Так как изготовление секций судна может занимать до 40 % от общей трудоемкости работ, то автоматизация и роботизация процессов позволяет значительно повысить эффективность производства по сравнению с традиционными способами построения производственных участков в судостроении. Также роботизация производства позволяет повысить его гибкость и упрощает переход на изготовление измененной конструкции судна, что особенно важно в связи с тем, что в ходе изготовления судна могут быть внесены изменения в проектную документацию следующей его модификации. Применение средств автоматизации и роботизации должно быть основано на внедрении в технологический процесс перспективных способов сварки и расширении технологических возможностей уже используемых способов сварки.

На основании вышеизложенного следует признать актуальным выбранное направление исследования и поставленную цель – повышение эффективности сварочных операций при изготовлении сварных конструкций в условиях судостроительных предприятий.

«Выбор технологических решений следует выполнять на основе достижений российских исследователей-сварщиков» [5], что позволит обеспечить суверенитет российской промышленности и снизить поставок зарубежных высокотехнологичных комплектующих [5], [12], [16], [22].

1 Современное состояние сварочных технологий при сварке бортовых секций судов

1.1 Описание свариваемой конструкции

На рисунке 1 представлена разбивка судна на секции, что позволяет повысить производительность изготовления типовых судов. При таком способе построения весь корпус судна разбивается на отдельные секции, которые собираются и свариваются отдельно друг от друга. Такими секциями являются секции палубы, бортовые секции, секции днища, переборки, секции платформы и секции надстроек судна. Бортовая секция, рассматриваемая в настоящей выпускной квалификационной работе, относится к плоскостным секциям, так как при её изготовлении выполняется незначительная погибь полотнища, к которому привариваются ребра жесткости. Также к плоскостным секциям кроме бортовых секций относят секции палубы, переборок, днища, платформы. Разбивка блок секции на плоскостные секции судна представлена на рисунке 2. В состав блок-секции входит пять плоскостных секций: две бортовые секции, одна днищевая секция, одна палубная секция и секция поперечной переборки. Бортовые секции выполнены с некоторым изгибом обшивки. На рисунке 3 представлены сварные швы, выполняемые при изготовлении бортовой секции судна.

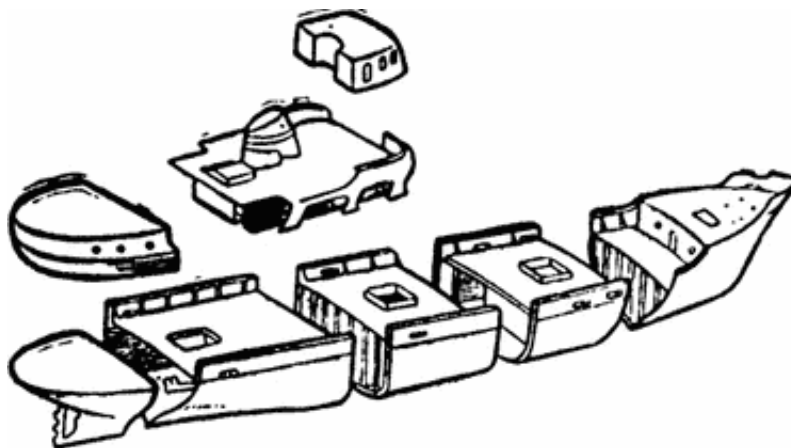


Рисунок 1 – Разбивка судна на блок-секции

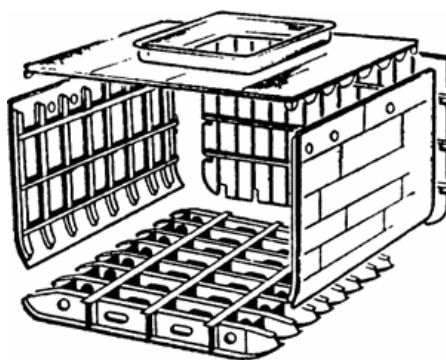


Рисунок 2 – Разбивка блок-секции судна на плоскостные секции

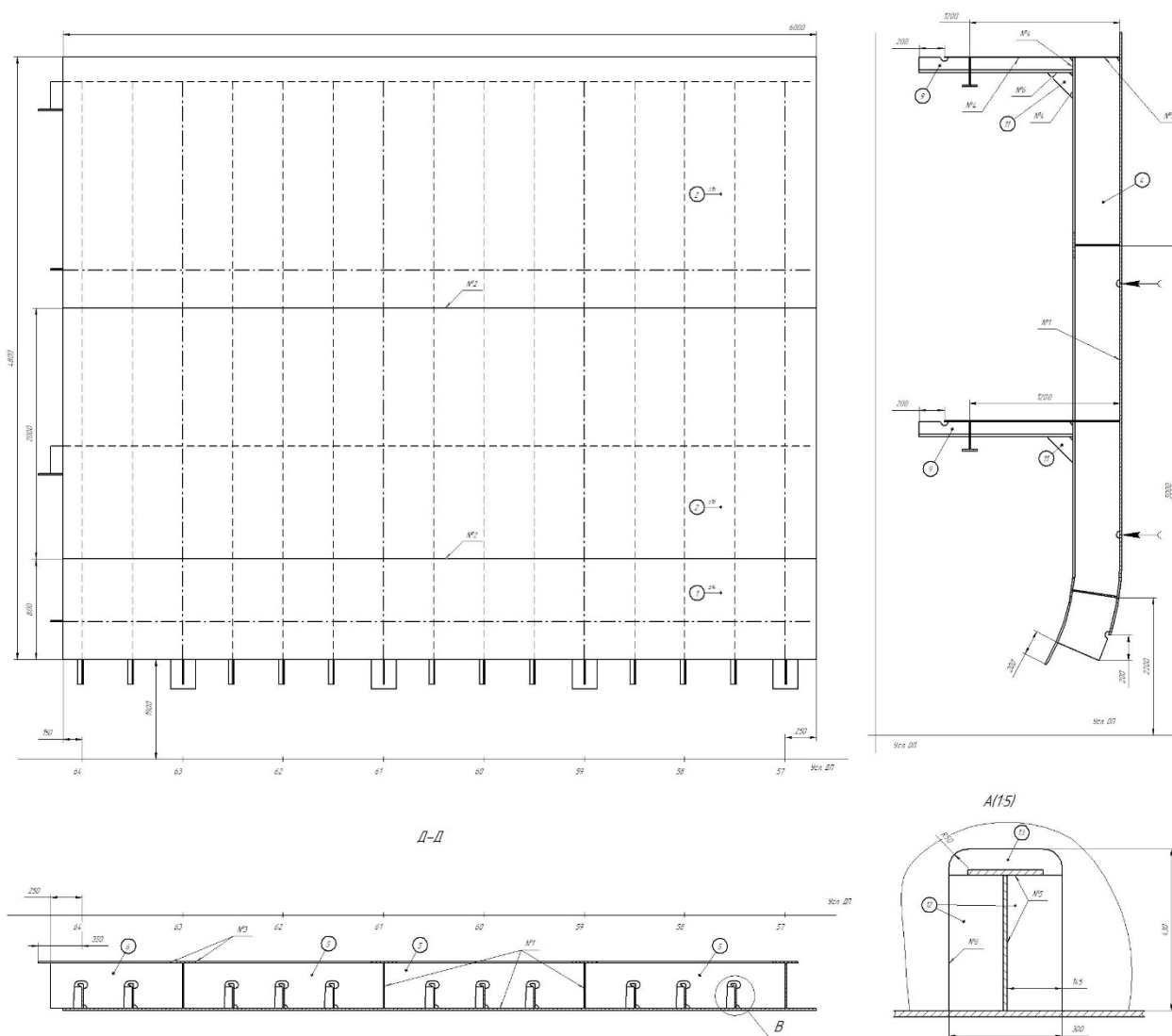


Рисунок 3 – Выполнение сварных швов при изготовлении бортовой секции

Сварные швы № 1, 3, 4, 5 и 6 «выполняются с применением механизированной сварки в углекислом газе. Сварные швы № 2 выполняются с применением автоматической сварки под флюсом» [4].

1.2 Сведения о материале для изготовления элементов бортовой секции

Для изготовления элементов бортовой секции применяется судостроительная сталь А32, которая относится к низколегированным сталям повышенной прочности. Состав стали А32 представлен в таблице 1. Основное назначение такой стали – изготовление корпусных конструкций в судостроении и строительство мостов. На рисунке 4 представлены полуфабрикаты из стали А32, подготовленные для изготовления корпусных конструкций, переборок и палубы судна.

Таблица 1 – Химический состав судостроительной стали А32

C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Al	Cu	S, P
≤ 0,18	0,15...0,5	0,9...1,6	≤ 0,4	≤ 0,2	≤ 0,08	0,15...0,06	≤ 0,35	≤ 0,035



Рисунок 4 – Прокат из стали А32

Свариваемость стали А32 хорошая, при изготовлении металлических конструкций из этой стали могут применяться любые доступные способы сварки. Сочетание хорошей свариваемости, высокой коррозионной стойкости и прочностных свойств достигается за счёт подобранного химического состава стали. Углерод, который содержится в стали в объеме до 0,18 %, позволяет повысить её прочностные свойства (твёрдость, временное сопротивление и предел текучести), однако отрицательно сказывается на свариваемости и ударной вязкости стали. Легирование стали марганцем, который содержится в

стали в объеме до 1,6 %, позволяет не только повысить прочностные свойства стали, но и улучшить её сопротивляемость коррозии и свариваемость. Добавки кремния, который содержится в рассматриваемой стали в объеме до 0,5 %, позволяют повысить механические свойства стали, улучшить её свариваемость, но снижают сопротивление коррозии. Добавки в сталь хрома, который содержится в объеме до 0,2 %, положительно сказываются на механических свойствах стали и повышают её коррозионную стойкость. Сера и фосфор в рассматриваемой стали являются вредными примесями, однако некоторое содержание в стали фосфора позволяет повысить её прочностные свойства и стойкость против коррозии.

При изготовлении сварных конструкций из рассматриваемых сталей приходится проводить мероприятия по устранению опасности возникновения в сварном шве горячих (кристаллизационных) трещин, образование которых происходит по причине низких механических свойств металла при повышенных температурах в момент кристаллизационного уменьшения объема металла и формирования в нем поля растягивающих напряжений [19]. На склонность конструкции к образованию кристаллизационных трещин влияют параметры режима и техника сварки, особенности конструкции изделия, особенности подготовки поверхности деталей и сварочных материалов. При сварке с повышенными скоростями и малой погонной энергией вероятность образования горячих трещин в сварном шве повышается, поэтому следует особо тщательно подходить к назначению параметров режима сварки и соблюдению техники сварки. Влияние особенностей конструкции на формирование горячих трещин заключается в том, что повышенной склонностью к трещинообразованию обладают части конструкции вблизи концентраторов напряжений, в роли которых выступают элементы с резкими переходами, места приварки крепежных элементов, резкий переход от наплавленного металла к основному металлу.

Также следует тщательно готовить поверхность деталей и сварочные материалы, удаляя с них загрязнения и влагу.

1.3 Особенности базовой технологии сварки

При изготовлении такой металлической конструкции, как бортовая секция, применяются листовые заготовки толщиной 16, 14 и 10 мм. Перед разметкой и резкой проводят проверку состояния листового полуфабриката. В процессе приемки проверяют наличие маркировки и состояние торцев листов. Не допускаются задиры, расслоения, выпучины. Поверхность листов не должна иметь следов глубокой коррозии и дефектов, при вышлифовке которых толщина листа уменьшается, выходя за пределы допуска.

Для сборки применяются заготовки, которые были выполнены из листового проката с применением плазменной резки, которая представлена на рисунке 5. Все заготовки должны быть промаркированы и иметь припуск, величина которого соответствует таблице припусков на детали. Все кромки заготовок должны иметь скругление 2...3 мм и быть разделаны в заводских условиях с применением механической кромкострогальной машины. Скривление заготовок по плоскости должно быть не более 3 мм на один погонный метр, что проверяется при помощи металлической линейки и угольника. По всей поверхности с обеих сторон следует провести зачистку вдоль свариваемых кромок на ширину 20 мм.



Рисунок 5 – Плазменная резка листовых заготовок

Сварочные материалы, поступающие на производственный участок, должны быть снабжены сертификатом завода-изготовителя. В противном случае перед использованием сварочных материалов следует провести предварительные испытания со сваркой контрольных образцов. Проведение предварительных испытания сварочных материалов возможно и при наличии сертификата, если существует сомнение в их качестве, такая проверка инициализируется службой технического контроля.

При сборке применяются приспособления, обеспечивающие сопряжение заготовок с точностью до 0,5 мм и требующие применение минимального количества временных приварных элементов, так как в ходе приварки и последующего их удаления с листа возможно образование дефектов, становящихся очагом усталостного разрушения конструкции. На рисунке 6 представлена линия сборки бортовых секций.



Рисунок 6 – Линия сборки бортовых секций

Прихватку заготовок в процесс сборки выполняют с применением ручной дуговой сварки электродами «УОНИ-13/45Р диаметром 3 мм и 4 мм. В месте пересечения сварных швов прихватки не выполняются. Электроды диаметром 3 мм применяются при выполнении прихваток вертикальном и горизонтальном положении деталей. Ток сварки при этом составляет 90...120 ампер» [4]. Электроды диаметром 4 мм применяются при выполнении

прихваток в нижнем положении. Ток сварки при этом составляет 160...210 ампер. Если выполняются прихватки заготовок, которые имеют скос кромок, высота такой прихватки составляет 3 мм. Если выполняются прихватки заготовок без скоса кромок, высота такой прихватки не должны быть более заданного усиления сварного шва. При выполнении прихваток в тавровом и угловом соединении заготовок катет составляет 4 мм. Перед выполнением прихваток следует провести предварительный подогрев листов на ширину 50 мм в обе стороны от линии сопряжения до температуры 50 °С, если температура воздуха превышает +5 °С. При температуре воздуха в помещении ниже +5 °С решение о продолжении сварочных работ принимает руководитель участка. Выполнять прихватки должен сварщик такой же квалификации, что и сварщик, привлекаемый для выполнения сварного шва. Ручная дуговая сварка ведется с применением сварочного инвертора Форсаж-315М, который представлен на рисунке 7. Применение такого источника питания позволяет получить необходимый запас по мощности.



Рисунок 7 – Сварочный источник питания Форсаж-315М

Далее после того, как были выполнены прихваточные швы и проверена геометрия изделия, с применением механизированной сварки в углекислом газе выполняют сварные швы № 1, 3, 4, 5 и 6. Требования к геометрии сварных швов представлены в таблице 2. Операция механизированной сварки судовых секций представлена на рисунке 8. В качестве защитного газа применяется

углекислый газ, в качестве сварочной проволоки применяется проволока Св-09Г2С диаметром 1,2 мм. «Для питания сварочной дуги применяется представленный на рисунке 9 сварочный выпрямитель ВДУ-506. Для подачи сварочной проволоки применяется представленный на рисунке 9 полуавтомат ПДГО-510. Сварку выполняют на постоянном токе обратной полярности с вылетом проволоки» [4] 10...15 мм и скоростью сварки 25...40 метров в час. Параметры режима сварки зависят от положения заготовок. При сварке в нижнем положении ток сварки составляет 180..320 ампер при напряжении на дуге 20...28 вольт. При сварке в вертикальном положении ток сварки составляет 160...220 ампер при напряжении на дуге 22...26 вольт. При сварке в горизонтальном положении ток сварки составляет 240...300 ампер при напряжении на дуге 22...26 вольт. В потолочном положении сварные швы не выполняют, так как такое положение представляет дополнительные затруднения к обеспечению качества сварного шва.

Таблица 2 – Требования к геометрии сварных швов

Номер шва	Требования к геометрии сварного шва
Шов № 1	T8-Уп ГОСТ 14771-76
Шов № 2	C21-Аф ГОСТ 8713-79
Шов № 3	C21-Уп ГОСТ 14771-76
Шов № 4	T3-Δ5-Уп ГОСТ 14771-76
Шов № 5	T7-Уп ГОСТ 14771-76
Шов № 6	C12-Уп ГОСТ 14771-76

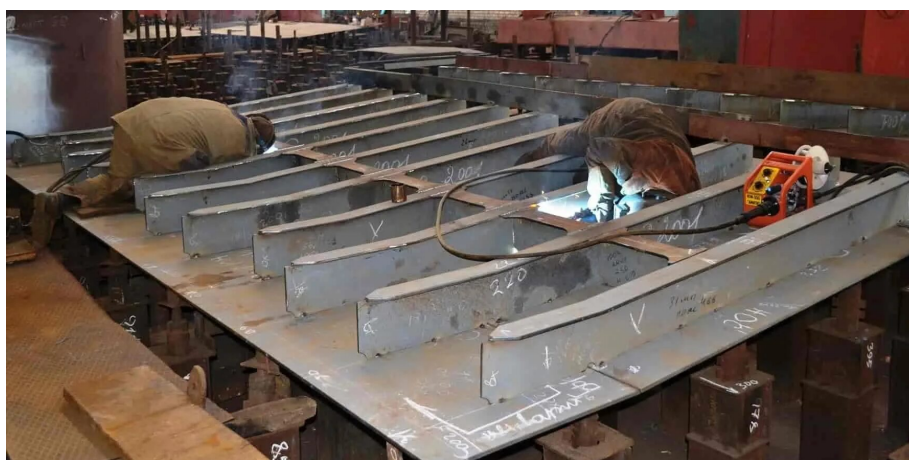


Рисунок 8 – Выполнение сварных швов с применением механизированной сварки в защитных газах при изготовлении судовых секций

После сварки корневого слоя шва проводят механическую зачистку поверхности сварного шва и проверку качества визуальным осмотром. При обнаружении трещин, незаваренных кратеров, прожогов и выходящих на поверхность дефектов типа пор или раковин дефектное место следует удалить механическим путем и переварить. Запрещается возбуждать и гасить сварочную дугу на основном металле. Кратеры следует выводить на ранее наплавленный металл или на поверхность труб в области сварных кромок.

Сварку шва № 2 выполняют в нижнем положении с применением представленных на рисунке 10 сварочного трактора АДФ-1002 и сварочного трансформатора ТДФЖ-1002. При автоматической сварке под флюсом ток сварки задают 650...700 ампер при напряжении 32...34 вольт, скорость сварки составляет 42 метра в час. Сварку ведут проволокой Св-08А диаметром 3 мм под флюсом ОСЦ-45.



Рисунок 9 – Сварочный источник питания и полуавтомат



Рисунок 10 – Сварочный трактор АДФ-1002 и трансформатор ТДФЖ-1002

После сварки поверхность деталей на расстояние 50 мм в обе стороны от сварного шва должна быть очищена от загрязнений, шлака и брызг металла. Для выполнения визуального контроля применяют «лупу с увеличением в 4...7 раз, которая дополнительно снабжена подсветкой. Визуальному контролю следует подвергать все сварные швы по всей их протяженности. Проверяется отсутствие трещин всех видов и направлений» [4], непроваров и несплавлений, незаваренных кратеров и наплывов.

После положительного решения о результатах проведения визуального контроля проводят ультразвуковой контроль соединений в объеме 10 %. При выборочном контроле отбор контролируемых сварных соединений или участков должен проводиться отделом технического контроля предприятия из числа наиболее трудновыполнимых или вызывающих сомнения по результатам визуального и измерительного контроля.

Радиографическую дефектоскопию производят согласно требованиям ГОСТ 7512–82 и РД 34 10.068–91. Зафиксированные на радиографических снимках включения и скопления с максимальным размером менее значений минимально фиксируемого размера включения, указанного в данных нормативных документах, или менее требуемой чувствительности, допускается не учитывать как при подсчете числа одиночных включений и одиночных скоплений и их суммарной приведенной площади или суммарной длины, так и при рассмотрении расстояний между включениями (скоплениями).

Любую совокупность включений, которая может быть вписана в квадрат с размером стороны, не превышающим значения допустимого максимального размера одного включения, можно рассматривать как одно сплошное одиночное включение. Любую совокупность включений, которая вписывается в прямоугольник с размерами сторон, не превышающими значений допустимого максимального размера и допустимой максимальной ширины одиночного протяженного включения, можно рассматривать как одно сплошное одиночное протяженное включение.

1.4 Анализ научной литературы по рассматриваемой тематике

«Для того, чтобы при построении проектной технологии применить наиболее современные и эффективные способы организации сварочного производства, были проведены литературные изыскания в области расширения технологических возможностей ремонтной сварки металлических конструкций в судостроении. Поиск источников научно-технической информации выполнялся с применением системы ГУГЛ по ключевым словам. Кроме того, был выполнен экспертный поиск в таких информационных ресурсах, как Киберленинка (содержит тексты научных статей по техническим наукам), ДиссерКэт (содержит тексты диссертаций и авторефератов к диссертациям)» [23].

В первой работе [11] на основании изучения применяемых на судостроительных предприятиях источников питания для сварки предложено классифицировать их по шести группам. Представляется перспективным применение конверторных источников питания с шинопроводом низкого напряжения, составляющим 45...90 В. На рынке судостроения такими источниками являются КСУ-320 и КСУ-500. При построении сварочных систем необходимо применение современных достижений в области управления переносом электродного металла, что позволяет повысить характеристики сварочного процесса и качество получаемого соединения. Следует также обратить внимание на применение сетевых сварочных конверторов, которые предусматривают питание от стандартной сети напряжением 380 В. на рынке сварочной техники они представлены источником ВД-320 КС и ВД-500КС. Данные источники не только обеспечивают качественные сварные соединения при механизированной сварке в защитных газах проволокой сплошного сечения, но и адаптированы под аргонодуговую сварку неплавящимся электродом. Такие источники питания невосприимчивы к скачкам напряжения, характерным для сварки на стапелях. Среди инверторных источников питания следует отметить инвертор

резонансного типа ВДУ-508 «Пионер», позволяющий успешно конкурировать с западными аналогами. При оснащении предприятий судостроения следует особо обратить внимание на отечественного производителя сварочного оборудования: ОАО «Сэлма», ОАО «Эсва» и НПФ «ИТС».

Данная работа будет использована для обоснования актуальности выбранного направления исследования, обоснования выбора способа сварки и построении проектной технологии сварки.

Во второй работе [20] предложены подходы, которые позволяют провести успешную роботизацию сварочного производства на судостроительных предприятиях Российской Федерации. Для расширения технологических возможностей роботизированных комплексов необходимо повсеместно внедрять механизма глобального перемещения, позволяющие многократно увеличить рабочую зону сварочного робота при сохранении приемлемой точности позиционирования сварочной горелки. Высокая стоимость оборудования для роботизированной сварки заставляет вдумчиво подходить к построению роботизированного производства, ориентируясь на универсальные решения, позволяющие выполнять значительное количество сварных швов на судовой конструкции.

Данная работа показывает, что для роботизации сварочного производства в условиях судостроительного предприятия рассматривается применение таких способов сварки, как «сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, сварка в защитных газах порошковой проволокой, сварка самозащитной порошковой проволокой и сварка под флюсом. Также могут быть применены такие перспективные способы, как плазменная сварка и лазерная сварка. Работа будет применена при обосновании выбора способа сварки и построении проектной технологии» [20].

В третьей работе [7] рассмотрены вопросы повышения эффективности заготовительных операций, в частности, плазменной резки. Для улучшения качества реза и повышения производительности предлагается применить

плазматрон оригинальной конструкции, предусматривающий добавки водяного пара в плазмообразующий газ.

Данная разработка внедрена на ряде предприятий и доказала свою эффективность. Результаты этой работы предлагаются к использованию при составлении проектной технологии изготовления конструкций.

В четвертой работе [9] рассмотрены особенности применения флюсов различного состава при изготовлении конструкций из судостроительных сталей с применением автоматической сварки под флюсом. Для повышения эффективности сварки предлагается применить смесь флюсов АН-348А и АН-67Б. Такая смесь позволяет уменьшить насыщение кислородом «сварного шва и содержание в нем неметаллических включений. Результаты работы будут использованы для обоснования выбора способа сварки при построении проектной технологии» [9].

В пятой работе [6] рассмотрены проблемы судостроительных предприятий Российской Федерации, от успешности решения которых зависит дальнейшее развитие судостроительной отрасли и сохранение за Россией статуса морской державы. Указывается на недостаточную степень автоматизации технологических процессов, при изготовлении конструкций значительную роль продолжает играть ручная дуговая сварка, которая должна быть в скорейшие сроки заменена на механизированные и автоматизированные способы сварки. Значительным потенциалом обладает роботизированная сварка, которая позволяет повысить производительность при выполнении сварных швов в различающихся пространственных положениях.

«Результаты этой работы будут использованы при обосновании актуальности выбранного направления исследования и обоснования выбора способа сварки для построения проектной технологии» [6].

1.5 Формулировка задач на выполнение выпускной квалификационной работы

Настоящая выпускная квалификационная работа направлена на расширение технологических возможностей и повышение эффективности выполнения сварочных операций при изготовлении бортовой части судна-лесовоза.

Базовая технология, особенности которой были рассмотрены в первом разделе, предусматривает применение механизированной сварки в защитных газах и автоматической сварки под флюсом. Перед формулировкой задач выпускной квалификационной работы следует обратить внимание на недостатки, которыми характеризуется базовая технология. Первым недостатком является высокий уровень дефектности, который принимает наибольшие значения в сварных швах, выполненных с «применением механизированной сварки в защитных газах. Доля дефектных швов, обнаруживаемых с применением радиационных методов контроля, достигает 5...7 % от всего количества выполненных соединений. Вторым недостатком является недостаточная производительность, которой характеризуется механизированная сварка» [23] в защитных газах. Повышение производительности может быть достигнуто за счёт применения другого, более производительного способа сварки или модернизации применяемого в базовой технологии способа. Третьим недостатком следует признать неблагоприятные условия труда, которые сопровождают работу сварщика при выполнении швов. Также следует принимать во внимание недостатки, которые характерны для производств с «применением автоматической сварки под флюсом. Сварное соединение может иметь значительное количество пор и шлаковых включений. На основании изложенного первая задача выпускной квалификационной работы заключается в обосновании выбора способа сварки для построения проектной технологии» [23].

«В ходе анализа содержания источников научно-технической информации по вопросу расширения технологических возможностей сварки показано, что повышение эффективности сварочных процессов может быть достигнуто применением импульсных технологий, обеспечивающих управление переносом электродного металла» [23], что позволяет улучшить условия формирования сварного соединения при всех способах дуговой сварки, позволяет уменьшить уровень остаточных напряжений и деформаций, улучшает выделение газов из сварочной ванны и снижает энергопотребление. На основании изложенного можно сформулировать вторую задачу выпускной квалификационной работы как повышение эффективности выбранного способа сварки за счёт применения достижений в области импульсного управления сварочными процессами.

Также в ходе изучения источников научно-технической информации показана высокая эффективность применения достижений в области роботизации сварочного производства при изготовлении судовых конструкций. Так как изготовление секций судна может занимать до 40 % от общей трудоемкости работ, то автоматизация и роботизация процессов позволяет значительно повысить эффективность производства по сравнению с традиционными способами построения производственных участков в судостроении. Также роботизация производства позволяет повысить его гибкость и упрощает переход на изготовление измененной конструкции судна, что особенно важно в связи с тем, что в ходе изготовления судна могут быть внесены изменения в проектную документацию следующей его модификации. На основании изложенного третья задача выпускной квалификационной работы может быть сформулирована как расширение гибкости судостроительного производства за счёт применения средств автоматизации и роботизации.

Построение технологического процесса с описание особенностей выполнения операций и выбором оборудования будет четвертой задачей выпускной квалификационной работы, решаемой в исполнительском разделе.

2 Проектная технология сварки боковых секций лесовоза

2.1 Обоснование выбора способа сварки

При построении технологических процессов главной задачей является обоснование выбора способа сварки, который должен выполняться с учетом современных достижений технических наук и возможностей конкретного производства. Правильный выбор способа сварки обеспечить максимальные значения экономических показателей производства и позволит в дальнейшем совершенствовать технологические процессы при освоении изготовления новых деталей.

Наибольшей универсальностью обладает ручная дуговая сварка, схема выполнения которой представлена на рисунке 11. На «современном сварочном производстве имеется необходимое количество оборудования, позволяющего вести ручную дуговую сварку, а сам этот процесс освоен предприятиями в достаточной степени, что позволяет свести к минимуму капитальные затраты при построении технологического процесса с применением ручной дуговой сварки» [23].

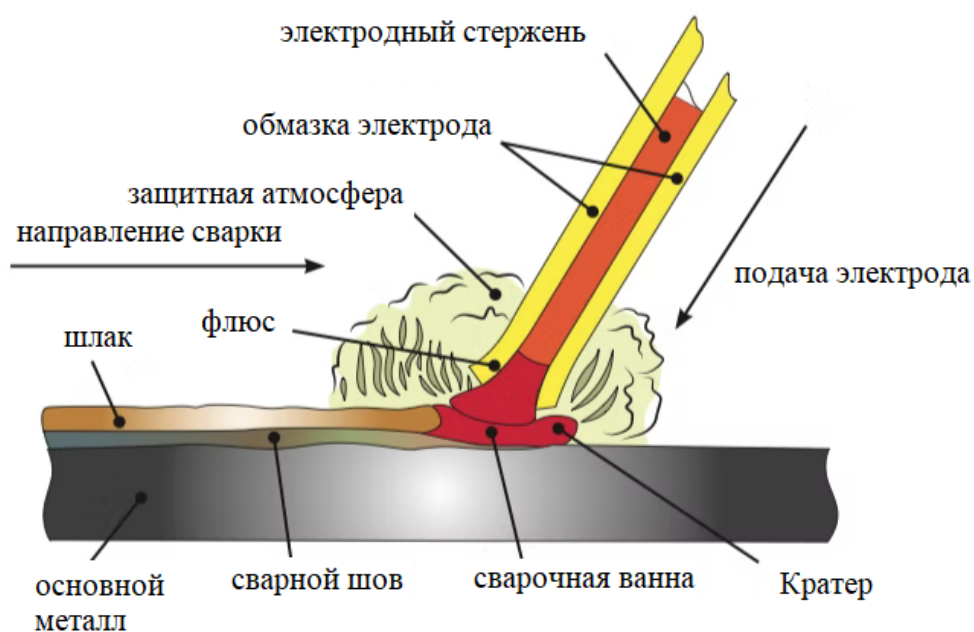


Рисунок 11 – Схема выполнения ручной дуговой сварки

Кроме того, ручная дуговая сварка характеризуется высокой универсальностью, что позволяет применить имеющееся оборудование для изготовления новых деталей и узлов без существенного изменения технологического процесса и переподготовки персонала. Однако, несмотря на явные преимущества, ручная дуговая сварка характеризуется рядом недостатков, которые в массовом производстве носят критический характер и делают необходимым проводить изыскания в области поиска альтернативных способов сварки [17], [18]. Во-первых, отмечается низкая стабильность «качества сварных соединений, которое в значительной мере зависит от квалификации сварщика, что становится дополнительной проблемой в условиях кадрового голода. Во-вторых, необходимо принимать во внимание вредные условия труда сварщика, работа которого проходит в среде сварочных аэрозолей и излучения от дуги» [17]. В-третьих, ручная дуговая сварка характеризуется значительными потерями электродного металла на угар, разбрызгивание и огарки электродов, что в сочетании с необходимостью прерывать процесс сварки на смену электрода отрицательно сказывается на экономических показателях способа.

В качестве второго рассматриваемого способа следует указать сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения, схема выполнения которой представлена на рисунке 12. По сравнению с ручной дуговой сваркой этот способ позволяет отказаться от применения шлаковой защиты сварочной ванны, это в свою очередь существенно упрощает выполнение многослойных швов, так как отсутствует необходимость отбивать шлаковую корку. По этой причине производительность сварки повышается, а трудоемкость снижается. Кроме того, применение сварки в защитных газах позволяет частично решать проблему негативного влияния на здоровье сварщика аэрозолей, так как их состав по сравнению со сваркой штучными электродами менее вреден. «Следует также принимать во внимание вязкость расплавленного металла сварочной ванны, что упрощает его удержание при сварке в пространственных положениях, отличных от горизонтального. Производительность сварки также

повышается вследствие того, что нет необходимости прерывать процесс на замену электрода» [23].

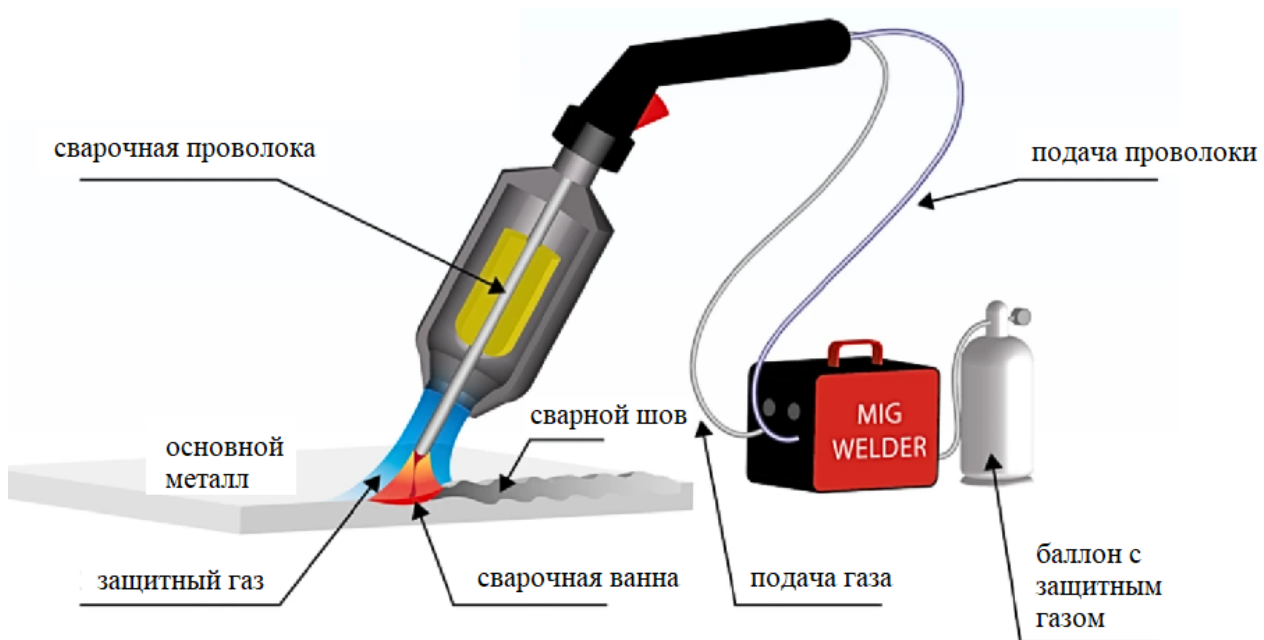


Рисунок 12 – Схема выполнения сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения

При реализации технологических процессов с применением сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения следует считаться с недостатками этого способа, которые могут оказаться критичными при назначении способа сварки для построения проектной технологии. Во-первых, при сварке наблюдается повышенное разбрызгивание электродного металла, что делает необходимым трудоемкую зачистку поверхности деталей, так как прилипшие брызги расплавленного металла ухудшают внешний вид и становятся очагами коррозии. Во-вторых, при сварке в защитных газах из-за повышенной вязкости расплавленного металла увеличивается вероятность появления в сварном шве трещин, ухудшаются условия отхождения из сварочной ванны газов. Указанные проблемы сварки в защитных газах решаются применением импульсного управления, реализованного в современных сварочных источниках.

«Сварка порошковой самозащитной проволокой, схема выполнения которой представлена на рисунке 13, при построении технологических процессов обеспечивает преимущества сварки в защитных газах и ручной дуговой сварки. По сравнению со сваркой в защитных газах проволокой сплошного сечения решается проблема образования трещин и несплавлений, устраняются затруднения, связанные с изготовлением легированной проволоки, так как состав порошкового наполнителя может изменяться в широком диапазоне, что позволяет регулировать состав наплавленного металла» [26].

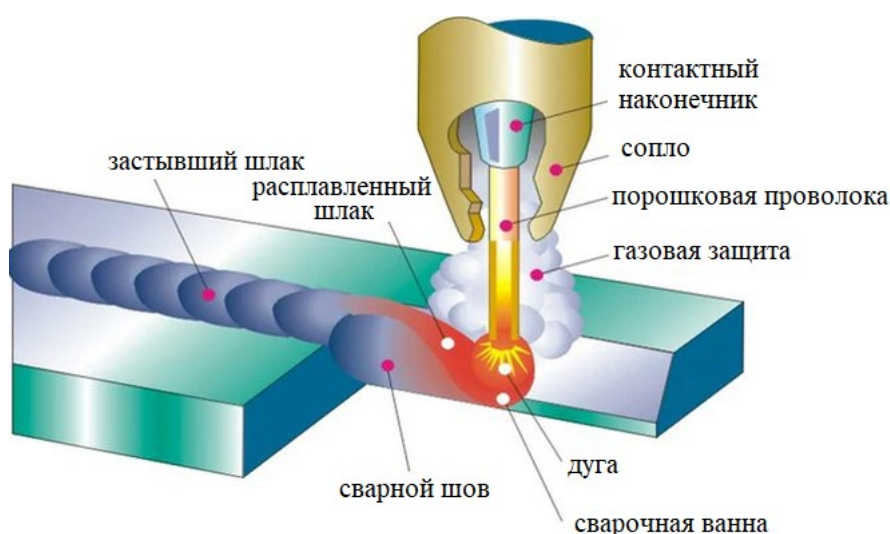


Рисунок 13 – Схема выполнения сварки самозащитной порошковой проволокой

В числе недостатков сварки самозащитными проволоками следует указать повышенную мягкость проволоки, в результате чего существенно увеличивается частота заломов и застреваний в подающих механизмах. Также следует принять во внимание повышенную текучесть расплавленного шлака и металла сварочной ванны, из-за чего повышаются требования к сборке и подготовке кромок, ухудшаются условия формирования корневого слоя шва. При плавлении порошковой проволоки может наблюдаться неравномерность нагрева проволоки по сечению, в результате чего часть нерасплавившегося шлака просыпается в сварочную ванну и становится причиной образования пор и шлаковых включений.

Из рассматриваемых «способов сварки наибольшей производительностью характеризуется автоматическая сварка под флюсом, схема выполнения которой представлена на рисунке 14. Помимо высокой производительности для этого способа сварки следует признать существенное улучшение условий труда, так как сварочная дуга горит под слоем флюса, что частично решает проблему вредного излучения и сварочного аэрозоля» [26]. Кроме того, сварка под флюсом позволяет получать соединения стабильно высокого качества.

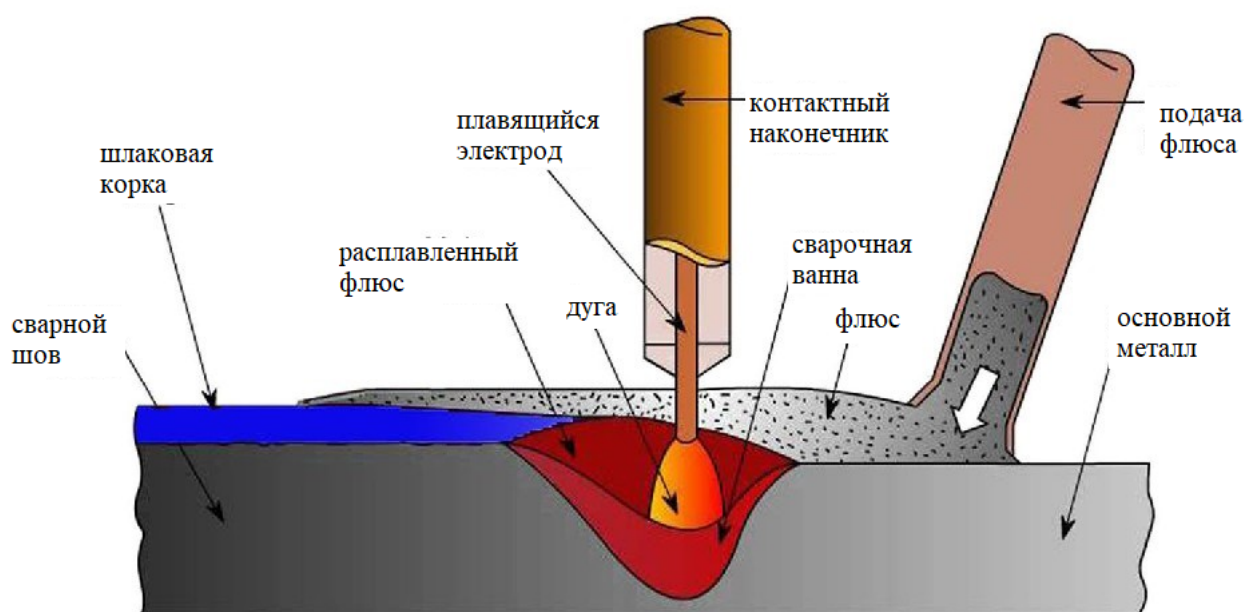


Рисунок 14 – Схема выполнения автоматической сварки под флюсом

Однако, несмотря на перечисленные преимущества, рассматриваемый способ сварки имеет ряд недостатков, ограничивающих его применение при сварке. Первым недостатком является повышение требований к сборке стыка, так как расплавленный металл и шлак при сварке под флюсом обладают повышенной текучестью, в результате чего возможно затекание металла в зазор между деталями. Кроме того, при сварке под флюсом повышается опасность образования напоров, пор и шлаковых включений. Также следует принимать во внимание сложность удержания флюса на поверхности стенки.

Критерии технологичности позволяют выставить экспертную оценку рассматриваемым способам сварки, по сравнению суммарного балла следует сделать вывод об эффективности применения способов сварки и указать направление их модернизации. Суммарная оценка по рассматриваемым критериям представлена на рисунке 15.

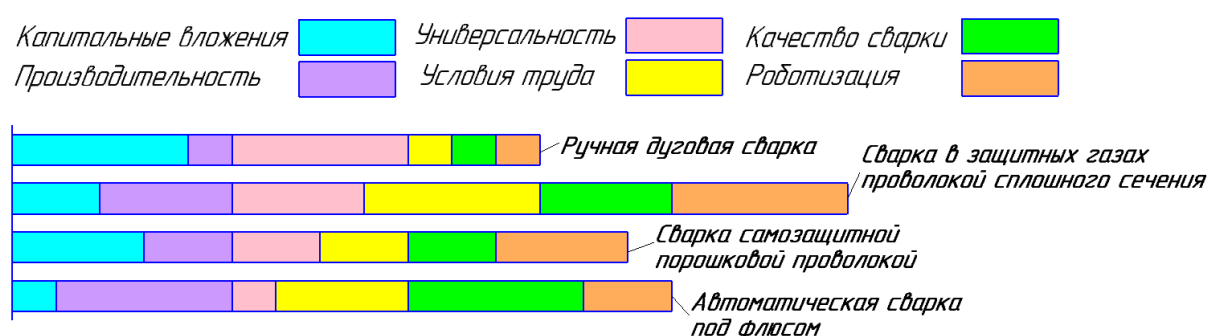


Рисунок 15 – Обоснование выбора способа сварки по критериям экспертной оценки

Для оценки эффективности рассматриваемых предлагается принять пять критериев. Первым критерием выступает величина капитальных вложений, по которому максимальный балл получила ручная дуговая сварка, а минимальный балл – автоматическая сварка под флюсом. Вторым оценочным критерием выступает производительность способа, по которому наибольший балл получает автоматическая сварка под флюсом, а наименьший балл – ручная дуговая сварка. Третьим оценочным критерием выступает универсальность способа, где ручная дуговая сварка получает максимальный балл, а автоматическая сварка под флюсом – минимальный. Четвертым критерием выступает условия труда сварщика, по которому минимальный балл получает ручная дуговая сварка, а максимальный балл – сварка в защитных газах. Пятым критерием принимается качество сварки, по которому максимальный балл получает автоматическая сварка под флюсом, а минимальный балл – ручная дуговая сварка. Шестым критерием выступает возможность роботизации сварки, по которому максимальный балл получает сварка в защитных газах, а минимальный балл – ручная дуговая сварка.

2.2 Расширение технологических возможностей выбранного способа сварки

В качестве способа сварки для построения проектной технологии на основании выставления баллов экспертной оценки предлагается применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения, которая может быть применена как в механизированном, так и роботизированном режиме. Существенное ограничение области применения сварки в защитных газах в условиях современного производства происходит по причине недостатков: повышенное разбрызгивание вследствие малой пространственной стабильности дуги, высокая склонность к образованию трещин из-за повышенной вязкости расплавленного металла сварочной ванны, сложность формирования корневого слоя шва. Импульсные алгоритмы управления, реализуемые с применением современных аппаратных средств, позволяют существенно расширить технологические возможности сварки. В России и странах бывшего СССР проблемой сварки с импульсным управлением занимались такие ученые, как Б.Е. Патон, И.И. Заруба, А.Г. Потапьевский, Д.А. Дудко, Н.Г. Дюргеров и многие другие достойные представители сварочного науки. Значительного прогресса удалось достичь начиная с конца прошлого века, когда фирмой Lincoln Electric был предложен инверторный источник питания, позволяющий реализовать алгоритм управления переносом электродного металла, существенно расширяющий возможности сварки в защитных газах.

Реализация импульсных режимов при сварке может быть реализована несколькими принципиально различными способами. Первым является применение механического воздействия на электродную проволоку и перенос металла в сварочную ванну в ходе различных стадий горения сварочной дуги [15], [24]. Реализация алгоритмов управления перемещением сварочной проволоки предусматривает применение модернизированных механизмов подачи проволоки, что несколько усложняет механическую часть сварочного

оборудования, но существенно проще осуществляется, чем импульсное управление электрическими параметрами. Вторым направлением, которое в настоящее время наиболее интенсивно разрабатывается, является изменение электрических параметров процесса горения дуги с учётом особенностей прохождения этапов переноса электродного металла [10], [13], [25].

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

«Формирование соединения при сварке в значительной степени зависит от особенностей переноса электродного металла, разновидности которого при различных параметрах режима» [25] сварки представлены на рисунке 16.

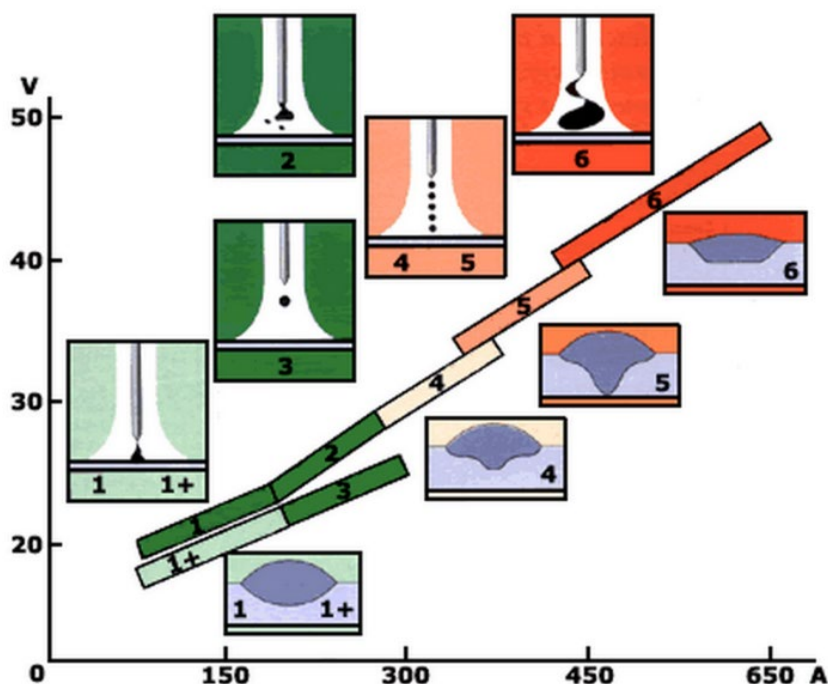


Рисунок 16 – Типы переноса электродного металла в зависимости от параметров режима сварки

На диаграмме позициями «1» и «1+» показаны циклический режим сварки короткой дугой и режим сварки оптимизированной короткой дугой. Такие режимы характеризуются высокой скоростью подачи сварочной проволоки и обеспечивают формирование металла шва с минимальным окислением и разбрызгиванием. Режимы, обозначенные на диаграмме позицией «2», относятся к крупнокапельному переносу и характеризуются высоким разбрызгиванием и низкой стабильностью качества соединений. Режимы «3» соответствуют импульсной дуговой сварке, при которой управление переносом электродного металла позволяет существенно снизить разбрызгивание и повысить стабильность качества на параметрах режима, соответствующих крупнокапельному переносу. Позициями «4» и «5» показаны области параметров режима, обеспечивающих формирование струйного переноса электродного металла, который позволяет формировать сварной шов высокого качества при повышенных значениях сварочного тока. Позицией «6» обозначены параметры режима сварки, обеспечивающие режим непрерывного вращающегося переноса электродного металла.

«Для расширения технологических возможностей имеющихся на предприятии источников питания предлагается применить разработку российских исследователей-сварщиков в области импульсного управления сварочной дугой согласно описанию к изобретению» [1].

На рисунке 17 представлена функциональная схема предлагаемого способа сварки. Позицией 1 обозначен источник постоянного тока с жесткой внешней вольтамперной характеристикой, который предназначен для питания дугового промежутка 11. Мост, составленный из тиристоров 3...6, обеспечивает формирование сварочных импульсов. Работа тиристоров 3...6 управляется формирователем сигналов 15. Система дросселей 10-1...10-4 составляет индуктивный накопитель энергии, который на схеме обозначен позицией 10. Этот накопитель энергии служит для формирования повышающего импульса тока. Работой накопителя энергии 10 управляют тиристоры 8 и 9, подключенные к отрицательному полюсу источника тока 1,

и тиристор 2, подключенный к положительному полюсу источника тока 1. «Информация о величине напряжения импульса снимается с конденсатора 7 и передается на входы компаратора 12 и дискриминатора 13. Временные параметры сварочного импульса задаются посредством таймера 14» [1].

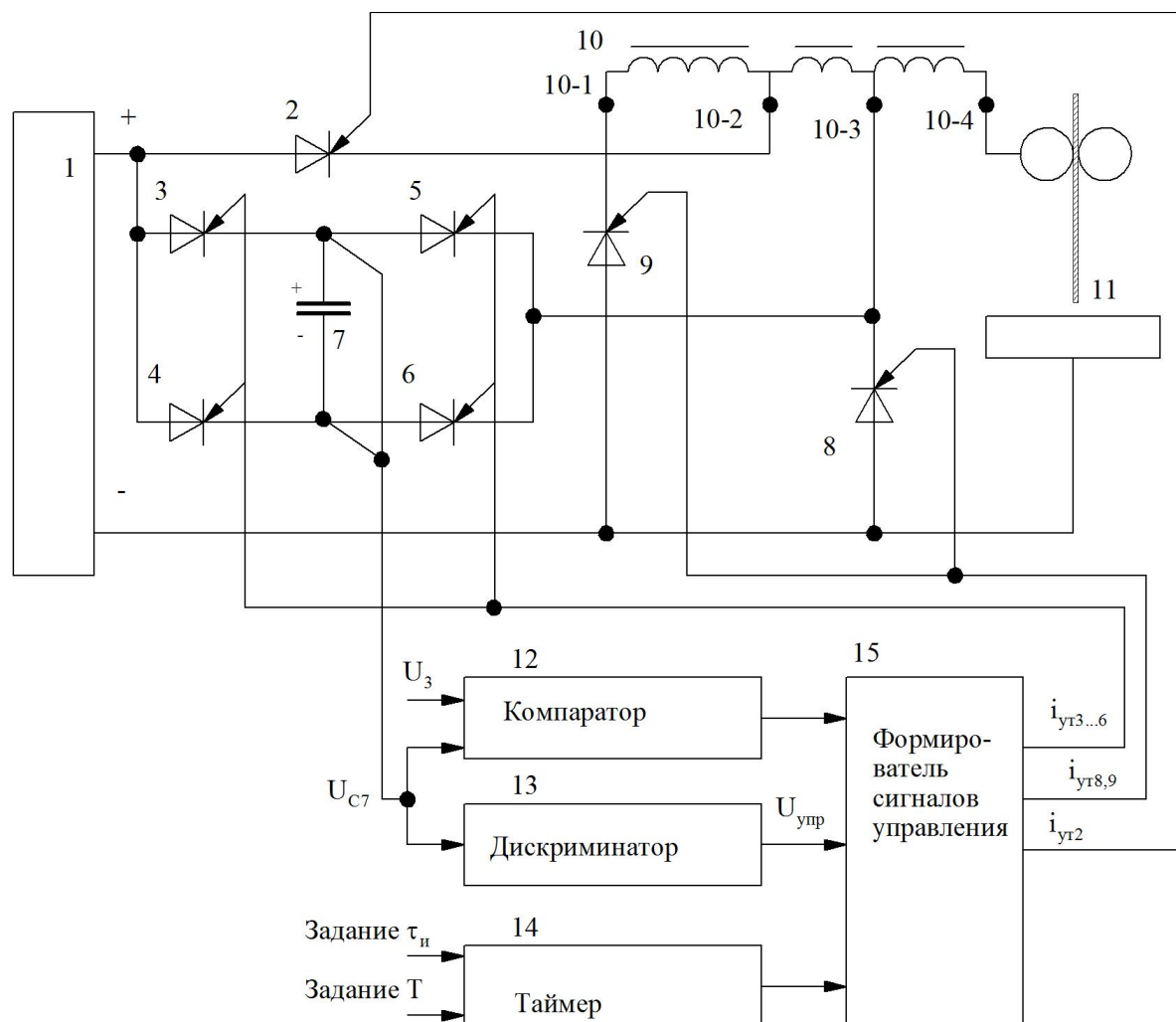


Рисунок 17 – Функциональная схема источника питания

Форма импульсов тока и напряжения при реализации предлагаемого способа сварки, представлена на рисунке 18. Для описания используются следующие характеристики: « I_a – амплитуда импульса тока, I_n – ток паузы, I_n – ток предимпульса, $i_{ут2}$ – импульс управления тиристором 2, $i_{ут3...6}$ – импульс управления тиристорами 3...6, $i_{ут8,9}$ – импульс управления тиристорами 8 и 9, $U_{упр}$ – напряжение сигнала от дискриминатора, T – период следования импульса, τ_n – длительность импульса» [1].

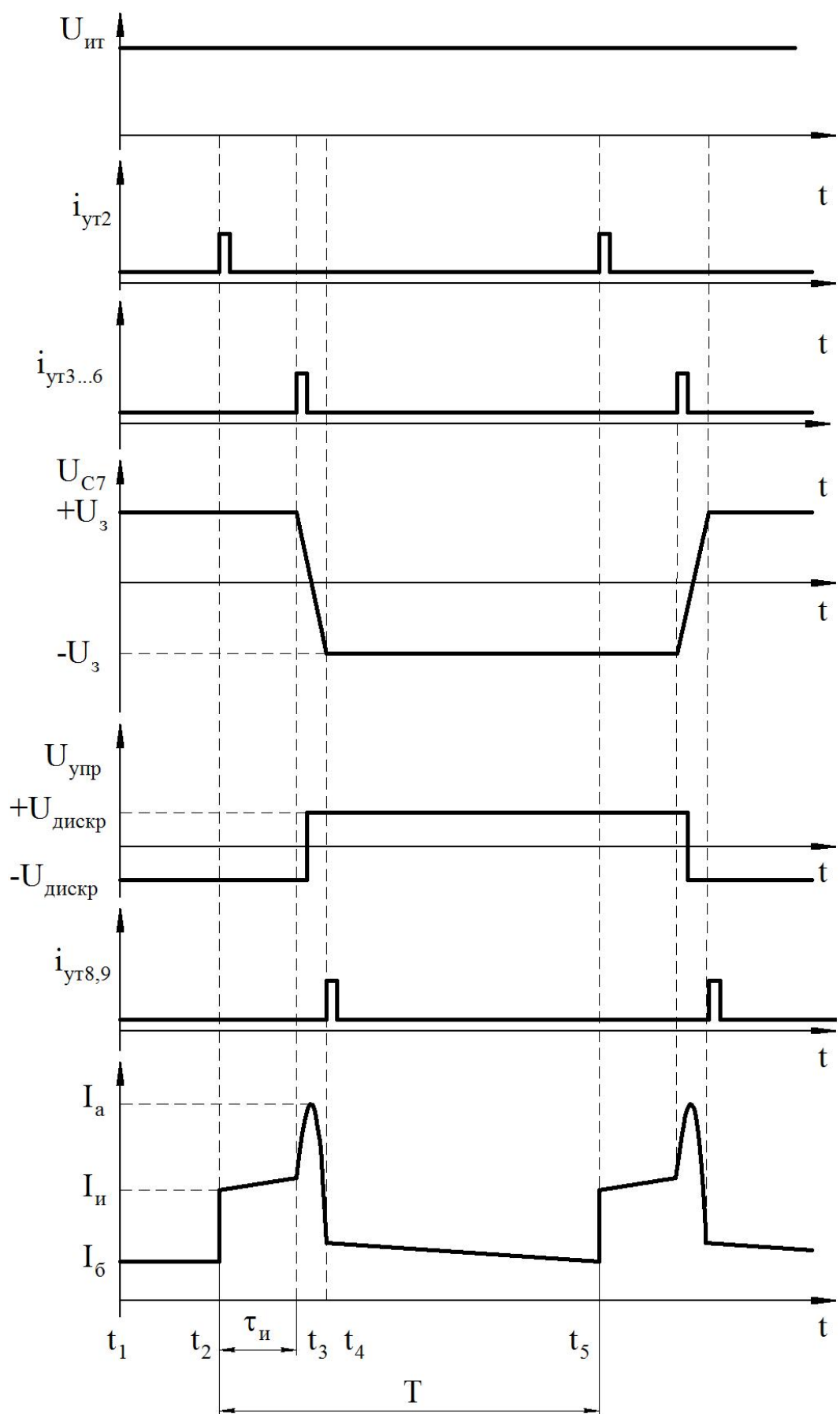


Рисунок 18 – Осциллограммы тока и напряжения при реализации предлагаемого способа сварки

Предлагаемая схема позволяет обеспечить реализацию алгоритма импульсного управления переносом электродного металла при дооснащении имеющихся на предприятии сварочных источников питания.

За счёт импульсного характера питания дуги формируется ударное действие сварочной дуги на поверхность ванны расплавленного металла, что позволяет трех положительных эффектов: во-первых, улучшаются условия выделения растворенных в расплавленном металле газов, что позволяет существенно уменьшить пористость металла шва; во-вторых, улучшается формирование корневого слоя шва, что «особенно важно при сварке в узкую разделку; в-третьих, происходит измельчение структуры металла сварного шва, что повышает его механические свойства по сравнению со сваркой стационарной дугой. Также импульсный характер переноса электродного металла позволяет устранить разбрызгивание» [25] при сварке, что существенно расширяет её технологические возможности, в частности, упрощается роботизация сварочных процессов, а также уменьшается трудоемкость сварки, так как устраняется необходимость послойной очистки. Применение импульсных режимов горения сварочной дуги сдвигает тепловой баланс в сторону оптимальных условий формирования соединения, повышает эффективный КПД сварки и уменьшает расход электрической энергии, также это сопровождается уменьшением размеров зоны термического влияния, что особенно важно при изготовлении ответственных сварных конструкций, работающих в условиях динамического нагружения. Также следует учесть повышение пространственной стабильности дуги при сварке в различных положениях, что упрощает роботизацию сварочных процессов, особенно при выполнении швов в положениях, отличных от горизонтального. Таким образом, применение предлагаемого технического решения позволяет существенно повысить эффективность сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения, при этом отсутствует необходимость в приобретении высокотехнологичных комплектующих из-за рубежа, что обеспечивает промышленный и научный суверенитет Российской Федерации.

2.3 Расширение технологических возможностей судостроительного производства за счет автоматизации и роботизации процессов

В ходе анализа базовой технологии и особенностей построения судостроительного производства были сформулированы проблемы, решение которых позволяет повысить эффективность и конкурентоспособность отечественного судостроения [6].

Первой проблемой является низкая производительность труда, которая в значительной степени определяет эффективность всего производства и возможность наращивания выпуска. Решение этой проблемы лежит в области внедрения новых прогрессивных способов сварки, автоматизации и роботизации сварки. Второй проблемой является низкая степень автоматизации производства, что не только отрицательно сказывается на производительности, но и приводит к снижению качества. Недостаточное качество изготовления стандартизированных элементов корпуса судна не позволяет обеспечить модульность его конструкции. Третьей проблемой является отсутствие современных технологий, в основном сварка представлена ручная дуговая, механизированная в защитных газах и автоматическая под флюсом, современные и перспективные способы сварки не применяются. Для того, чтобы повысить привлекательность судостроительной отрасли для отечественного и иностранного инвестора необходимо провести программу глубокой модернизации производств.

Как показала практика изготовления сварных конструкций в судостроении, до настоящего времени не разрешены трудности, сопровождающие формирование соединения при различных способах сварки, к которым, в первую очередь, следует отнести внутренние и внешние дефекты сварных швов, образование которых происходит даже при строгом соблюдении требований технологического процесса. Так, на основании внешнего контроля сварных швов в судостроении признается бракованными до 1,0...1,5 % соединений в год, а на основании рентгеновского контроля

дефектными признается до 5...7% сварных швов в год [20], [21]. Для повышения производительности и качества выполнения сварочных работ в условиях судостроительного производства предлагается построение роботизированного технологического комплекса согласно представленной на рисунке 20 схемы. Применение такой схемы позволяет заменить монотонные операции, выполняемые вручную, на операции, выполняемые роботом, при этом не только повышается производительность и повторяемость операций, но и решается вопрос обеспечения безопасности труда во вредных условиях.

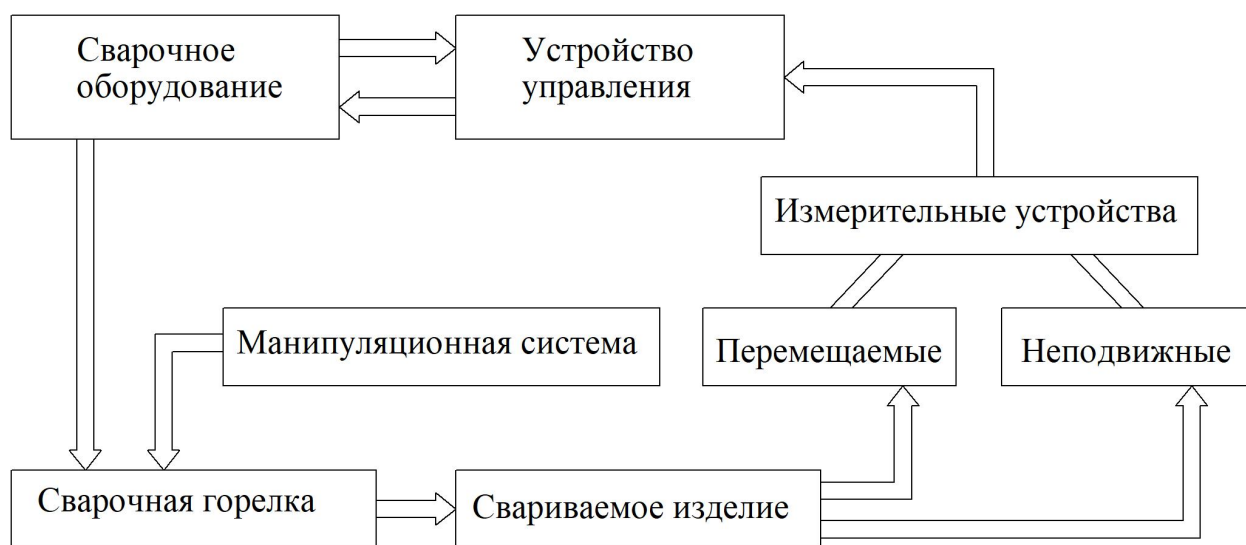


Рисунок 19 – Состав роботизированного комплекса для сварки

С учётом особенностей расположения сварных швов при изготовлении конструкций в судостроительном производстве предлагается представленная на рисунке 20 схема «Апрентис», внедренная на различных предприятиях фирмой Кемпии. Такая схема позволяет выполнять сварные швы в габаритных конструкциях и внедрена на предприятиях судостроения и ракетостроения [27], [28]. При роботизации сварочного производства в условиях судостроительного предприятия рассматривается применение таких способов сварки, как сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, сварка в защитных газах порошковой проволокой, сварка самозащитной порошковой

проволокой и сварка под флюсом. Также могут быть применены такие перспективные способы, как плазменная сварка и лазерная сварка.

При роботизации производства предлагаются к рассмотрению три направления повышения технологичности. Первым является изменение самой свариваемой конструкции, что позволяет учесть возможности применяемого роботизированного комплекса. Вторым направлением является построение роботизированного комплекса под уже спроектированную сварную конструкцию. Третьим направлением является одновременное изменение конструкции изделия и подбор наиболее эффективных средств роботизации.

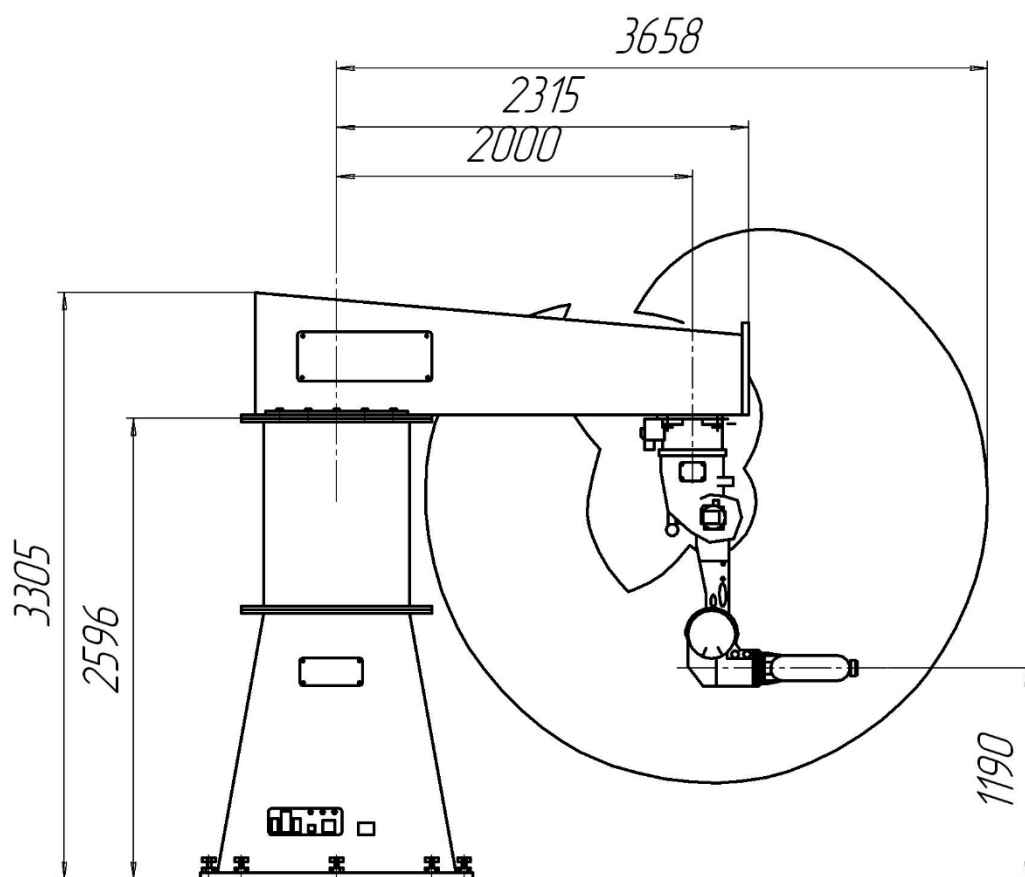


Рисунок 20 – Схема построения манипулятора с увеличенной рабочей зоной

Расширение технологических возможностей роботизированных комплексов в условиях судостроительного производства достигается за счёт применения средств увеличения рабочей зоны промышленного робота. С учётом особенностей изделия для перемещения робота предложим использовать представленную на рисунке 21 систему Gudel UM - 6515.

В качестве промышленного робота предлагается применить представленный на рисунке 22 робот производства концерна FANUC Robotics сварочный робот модификации Arc Mate 120 iB. Конструкция робота позволила увеличить рабочую зону по сравнению с аналогами. Функционирование робота возможно как при установке в нижнем положении, так и в потолочном положении. Характеристики робота позволяют ему выполнять как сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения, так и сварку неплавящимся электродом.



Рисунок 21 – Модуль линейного перемещения Gudel UM - 6515



Рисунок 22 – Промышленный сварочный робот производства концерна FANUC Robotics модификации Arc Mate 120 iB

На основании работы [7] для выполнения заготовок предложено применить плазменную резку, схема выполнения которой представлена на рисунке 23.



Рисунок 23 – Выполнение плазменной резки на судостроительных предприятиях с применением добавок воды в плазмообразующую среду

Предложена конструкция плазматрона ПМР-74М, который дополнительно снабжен сопловым узлом подачи воды. Сопловый узел представляет собой «два отдельных конусных сопла, которые входят друг в друга. Вода поступает с завихрением по часовой стрелки, такое направление соответствует направлению завихрения плазмообразующего газа, что способствует инжекции. После подачи воды под действием плазмы образуется газовая система из азота, кислорода и водорода. При этом происходит связывание азота в такие соединения, как NH_4 , N_2H_4 , NO , NO_2 . По радиальным канавкам вода поступает на края плазменной струи и образует воздушно-водяной душ. Положительное действие добавление воды проявляется в двух направлениях. Во-первых, под действием плазменной струи происходит диссоциация воды на кислород и водород, которые формируют благоприятную газовую среду» [20] и способствуют удалению из плазмообразующего газа азота. Во-вторых, водяной пар обжимает плазменную струю и способствует её концентрации. Кроме того, испаряющаяся вода образует вокруг места реза паровую завесу, которая обеспечивает защиты от воздействия окружающего воздуха. Также образующиеся при резке вредные выделения частично осаждаются парами

воды, что способствует улучшению условий проведения технологического процесса реза.

При анализе зоны термического влияния установлено, что по сравнению с кислородной резкой размер зоны термического влияния при плазменно-воздушной резке с добавлением воды существенно меньше, при этом перпендикулярность реза выше. Получаемый положительный эффект объясняется интенсивным охлаждением разрезаемых кромок водной душевой завесой, которая окружает плазменную струю. При резке листов толщиной до 14 мм обеспечивается повышение производительности в 3...5 раз по сравнению с ацетиленокислородной резкой и в 1,5...2 раза по сравнению с воздушно-плазменной резкой.

Полученная шероховатость поверхности реза представлена соответствует первому классу качества по ГОСТ 14792 и не требует проведения дополнительной механической обработки. На рисунке 24 представлена форма поверхности заготовок после реза.

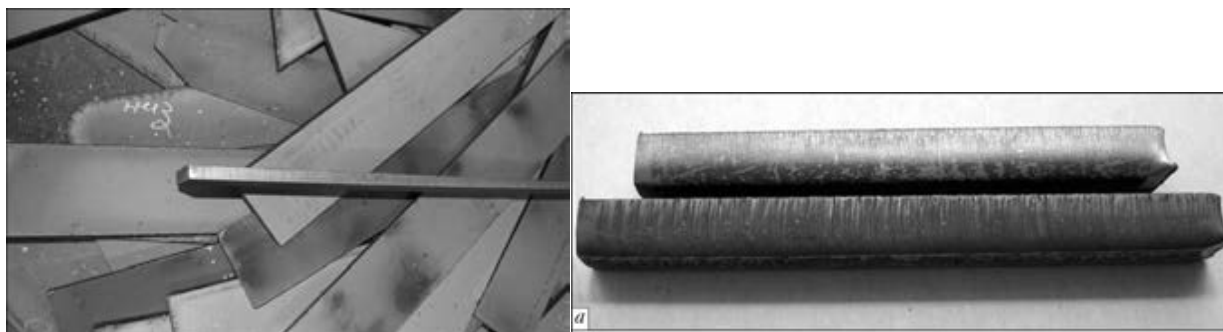


Рисунок 24 – Внешний вид поверхности заготовок после реза

Электрофизические параметры дуги при плазменной резке в значительной степени определяются наличием в плазмообразующей смеси водорода. Добавление воды в плазмообразующую смесь позволяет уменьшить концентрацию газов, насыщение которыми происходит на кромках разрезаемого металла. По сравнению с дугой, стабилизированной воздухом, дуга, горящая в атмосфере диссоциированного водяного пара имеет большую плотность тока и напряженность столба дуги.

2.4 Описание операций проектного технологического процесса сварки

При построении и сопровождении технологических процессов изготовления элементов корпуса судна следует обеспечивать минимальный уровень остаточных напряжений в конструкции, так как в противном случае ухудшаются эксплуатационные характеристики. При выполнении сварных швов категорически запрещено выведение кратера на основной металл, зажигание и гашение сварочной дуги должно выполняться на кромках или на наплавленном металле с последующим заправлением кратера, для чего применяются специальные алгоритмы управления током при сварке. Величина сварочного тока не должна изменяться от заданного значения более чем на 10 %, величина питающего напряжения сети не должно изменяться от номинального значения более чем на 5 %. Форма наплавленного металла в сварных швах должна обеспечивать плавный переход к основному металлу, так как в противном случае зона резкого перехода становится концентратором напряжений. В случае, если усиление сварного шва получено более задаваемого, лишний металл следует зачистить с применением механических способов. Сварку многослойного шва выполняют без перерывов.

Основные операции технологического процесса выполняются, как это было описано в базовой технологии. Для сварки применяется защитная газовая смесь составом 75 % аргона и 25 % углекислого газа. Баллоны с защитной газовой смесью поставляются на сварочный участок и представлены на рисунке 25.



Рисунок 25 – Баллоны с защитной газовой смесью

При выполнении механизированной сварки (применяется при простановке прихваток и сварке коротких швов) используется представленный на рисунке 26 сварочный выпрямитель ВДУ-506 и сварочный полуавтомат ПДГ-421. Для обеспечения высокого качества сварки источник питания дополнительно оборудована формирователем сварочных импульсов, который был описан в предыдущих разделах. Для сварки применяется представленная на рисунке 27 горелка VARTEG MIG-15 5 м Foxweld 6057.



Рисунок 26 – Применяемое для механизированной сварки оборудование



Рисунок 27 – Горелка VARTEG MIG-15 5 м Foxweld 6057

Для роботизированной сварки питание сварочной дуги обеспечивается модернизированным выпрямителем ВДУ-506 и описанным в предыдущем разделе оборудованием.

Применяется сварочная проволока состава Св-08Г2С диаметром 1,2 мм. Величина сварочного тока составляет 240...260 ампер при скорости подачи проволоки 100...150 мм в секунду. Расход защитной газовой смеси устанавливается в диапазоне 900...1200 литров в час. Сварку ведут короткой дугой, заполнение сварного шва осуществляется в два прохода. Вылет сварочной проволоки составляет 13...20 мм, сварку следует вести углом назад.

После выполнения сварки каждого слоя проводят визуальный контроль качества. Проверяется отсутствие трещин всех видов и направлений, непроваров и несплавлений, незаваренных кратеров и наплывов. Для выполнения визуального контроля применяют лупу с увеличением в 4...7 раз, которая дополнительно снабжена подсветкой. Проверяется отсутствие трещин всех видов и направлений, непроваров и несплавлений, незаваренных кратеров и наплывов. Поры не должны иметь размеры более 2 мм, вогнутость сварного шва не должна превышать 0,5 мм, величина подрезов не должна превышать 2 мм. При ультразвуковом контроле не допускаются внутренние поры размером более 1 мм, цепочки пор и шлаковых включений, не допускаются несплавления.

Радиографическую дефектоскопию производят согласно требованиям ГОСТ 7512–82 и РД 34 10.068–91. Зафиксированные на радиографических снимках включения и скопления с максимальным размером менее значений минимально фиксируемого размера включения, указанного в данных нормативных документах, или менее требуемой чувствительности, допускается не учитывать как при подсчете числа одиночных включений и одиночных скоплений и их суммарной приведенной площади или суммарной длины, так и при рассмотрении расстояний между включениями (скоплениями).

Выводы по второму разделу

В настоящем разделе выпускной квалификационной работы представлены решения задач, постановка которых проведена в предыдущем разделе. На основании литературного поиска и анализа известных решений в области повышения эффективности сварочных процессов были рассмотрены различные способы сварки, которые могут быть применены для изготовления рассматриваемой конструкции. На основании экспертной оценки преимуществ и недостатков рассматриваемых способов для построения проектной технологии предложено применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения. Расширение технологических возможностей выбранного способа сварки обеспечивается применением разработки в области импульсного управления переносом электродного металла, предложенной российскими исследователями-сварщиками. Это позволяет повысить производительность процесса, устранить разбрызгивание, повысить энергетические показатели способа за счёт положительных изменений теплового баланса, а также обеспечить механизированную и автоматизированную сварку с получением стабильно высокого качества, приближающегося по показателям к автоматической сварке под флюсом. Составленная проектная технология сварки может быть реализована на значительном количестве предприятий Российской Федерации с применением имеющегося в наличии сварочного оборудования. Далее следует выполнить два оценочных раздела. В первом оценочном разделе, следует выполнить идентификацию негативных производственных факторов и предложить меры защиты от них. Также следует рассмотреть вопросы обеспечения пожарной безопасности и экологической безопасности производства [3], [8]. Во втором оценочном разделе следует провести сравнение экономических показателей базового и проектного вариантов технологии. На основании последующего сравнительного анализа рассчитанных экономических показателей производства следует сделать заключение об эффективности внедрения предлагаемых решений [14], [23].

3 Промышленная безопасность производственного участка

3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи

Для того, чтобы рекомендовать к внедрению предлагаемые технологические решения, они должны позволять обеспечить соблюдение требований промышленной безопасности, пожарной безопасности и экологической безопасности. Для этого первоначально необходимо провести идентификацию негативных производственных факторов и сформировать перечень средств по их нейтрализации. При анализе укрупненной характеристики проектного технологического процесса сварки бортовой секции лесовоза составлена таблица 1, включающая в себя восемь операций. В ходе выполнения представленных операций возникает комплекс опасных и вредных производственных факторов. Представленная в таблице информация позволяет судить о выполняемых операциях, персонале, применяемом оборудовании и материалах, что позволяет провести идентификацию опасных и вредных производственных факторов, которыми характеризуется рассматриваемый производственный участок, на котором предлагается реализовать проектную технологию. Для выполнения операций проектного технологического процесса привлекаются слесарь-сборщик, сварщик на автоматических и полуавтоматических машинах, оператор робота, инженер-дефектоскопист. В качестве источников негативных факторов выступают гибочные вальцы, гильотинные ножницы, кромкострогательный станок, источник питания, газовое оборудование, роботизированный сварочный комплекс, дефектоскоп. Если фактор не ухудшает состояние персонала, то он признается нейтральным и в дальнейшем не учитывается. Далее следует рассмотреть вредные и опасные факторы, источниками которых являются не только промышленное оборудование, сосредоточенное на производственном участке, но и условия выполнения технологических операций.

Таблица 1 – Укрупненная характеристика проектного технологического процесса сборки и сварки бортовых секций судна

Операция	Персонал	Оборудование
Входной контроль	Слесарь-сборщик	- козловой кран - комплект измерительного оборудования
Правка	Слесарь-сборщик	- гибочные вальцы - комплект измерительного оборудования
Разметка	Слесарь-сборщик	- чертилка - установка разметки - комплект измерительного оборудования
Резка	Слесарь-сборщик	- плазматрон - портальная установка - компрессор
Подготовка кромок	Слесарь-сборщик	- кромкострогальный станок - зачистное оборудование
Сборка с прихватками	Сварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	- источник питания - полуавтомат сварочный - газовая аппаратура - формирователь импульсов сварки
Роботизированная сварка	Оператор робота	- роботизированный сварочный комплекс - источник питания - полуавтомат сварочный - газовая аппаратура - формирователь импульсов сварки
Контроль качества	Инженер-дефектоскопист	- набор визуального и измерительного контроля - дефектоскоп ультразвуковой

Представленная в таблице информация позволяет сформулировать производственные факторы, влияние которых может оказать негативное воздействие на персонал предприятия. Если негативный фактор может стать причиной получения персоналом травмы или причиной смертельного случая, то такой фактор следует отнести к группе опасных факторов. Если в результате действия рассматриваемого фактора у персонала может возникнуть или развиваться профессиональное заболевание, то такой фактор следует отнести к группе вредных факторов. Далее следует сформулировать перечень негативных факторов по операциям согласно ГОСТ 12.0.003-2015.

3.2 Идентификация негативных производственных факторов

Выполнение операций проектного технологического процесса неизбежно сопровождается действием на персонал вредных и опасных производственных факторов, которые отдельно каждой рассматриваемой операции технологического процесса представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Негативные производственные факторы при реализации операций проектного технологического процесса сборки и сварки бортовых секций

Наименование операции	Опасный или вредный производственный фактор
Входной контроль	- острые кромки и заусенцы и шероховатости - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения
Правка	- острые кромки и заусенцы и шероховатости - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения - чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания - повышенный уровень шума
Разметка	- острые кромки и заусенцы и шероховатости - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения
Резка	- острые кромки и заусенцы и шероховатости - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения - поражение электрическим током - инфракрасное излучение - ультрафиолетовое излучение
Подготовка кромок	- острые кромки и заусенцы и шероховатости - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения
Сборка с прихватками	- чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания - повышенный уровень шума
Роботизированная сварка	- поражение электрическим током - инфракрасное излучение - ультрафиолетовое излучение - химические вещества в аэрозольном состоянии - повышенная температура поверхностей
Контроль качества	- повышенный уровень ультразвуковых колебаний - острые кромки и заусенцы и шероховатости

«Операции сварки и наплавки предусматривают наличие дуги, что приводит к повышенному уровню опасных и вредных факторов, возникающих на рассматриваемом производственном участке по сравнению с другими производственными участками. Также следует принимать во внимание наличие на участке оборудования, работающего при опасных уровнях напряжения и тока» [8].

3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов

Стандартные средства и методики по нейтрализации сформулированных ранее негативных факторов представлены в таблице 3. В таблице рассматривается двенадцать факторов, действие которых на персонал предприятия должно быть устранено. Для защиты персонала от действия этих факторов могут быть применены как стандартные, так и специальные средства, обеспечивающие безопасность производственного процесса. При организации защитных мероприятий необходимо учитывать кумулятивное действие вредных факторов, заключающееся в накоплении негативного действия в течении времени и острого их проявления. Также следует принимать во внимание, что действующие совместно факторы могут усиливать друг друга, что повышает их опасность и вредоносность. Значительная роль должна отводиться организационным мероприятиям, от своевременности и полноты проведения которых в значительной степени зависит безопасность труда. Как показывает практика, именно нарушение трудовой дисциплины становится причиной большинства несчастных случаев на производстве. Также следует принимать во внимание необходимость поддержания порядка на рабочем месте, что позволяет лучше организовать производственный процесс и обеспечить его безопасность по отношению к участникам. Также следует постоянно проверять комплектность и исправность средств индивидуальной защиты, состояние которых должно контролировать как руководство предприятия, так и сам персонал.

Таблица 3 – Средства и методики для устранения профессиональных рисков

Негативный фактор	Технические средства	Индивидуальные средства
острые кромки, заусенцы и шероховатости на поверхности заготовок	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
движущиеся части машин и механизмов	устройства защитного отключения привода станков	Специальная одежда, перчатки
отсутствие или недостатков естественного освещения	- контроль уровня освещенности рабочего места - дополнительная подсветка	индивидуальная подсветка
отсутствие или недостатков искусственного освещения	- контроль уровня освещенности рабочего места - дополнительная подсветка	индивидуальная подсветка
химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
«чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	индивидуальные средства защиты дыхательных путей
опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током	- организация и проведение периодического инструктажа работников - контроль изоляции и заземления - защитное заземление, защитное отключение	защитная одежда, диэлектрические коврики
инфракрасное излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски
ультрафиолетовое излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски
повышенная температура поверхностей	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	специальная одежда, перчатки, защитные маски» [8]
химические вещества в аэрозольном состоянии	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	защитные маски
повышенный уровень ультразвуковых колебаний	- ограничение проникновения персонала в опасную зону	защита расстоянием и уменьшением времени воздействия

Представленные средства обеспечивают эффективную защиту от негативных производственных факторов, разработки специальных средств и методик не требуется.

3.4 Пожарная безопасность производственного участка

Выполнение операций с электрической дугой при сварке и плазменной резке вызывает опасность возникновения пожара на рассматриваемом производственном участке. Горение электрической дуги сопровождается интенсивным тепловым излучением, интенсивным ультрафиолетовым излучением, высокотемпературным действием на поверхности, разбрасыванием искр и брызг расплавленного металла. Также следует принимать во внимание, что «питание сварочной дуги требует подвода электрической энергии высокой мощности, при повреждении электрического оборудования возможно образование возгорания и развития пожара на рассматриваемом производственном участке. Наличие на участке электрического оборудования усложняет протекание пожара и его тушение. В таблице 4 выполнена идентификация пожара, возникновение которого следует предотвратить» [8].

Таблица 4 – Идентификация пожара на производственном участке

Наименование участка	Участок сборки и сварки бортовых секций судна
«Наименование оборудования	Гибочные вальцы, гильотинные ножницы, кромкострогательный станок, источник питания, газовое оборудование, роботизированный сварочный комплекс, дефектоскоп.
Классификация по виду горящего вещества	Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Основные опасные факторы пожара	Пламя, повышенная температура воздуха, токсические продукты горения, уменьшение концентрации кислорода в воздухе, снижение видимости из-за задымления, искры
Вторичные опасные факторы пожара	Поражение персонала электрическим током, падение на персонал элементов конструкции здания и оборудования» [8]

К основным (первичным) факторам пожара относят разлетающиеся при горении искры, застилающее обзор и мешающее ориентироваться в пространстве задымление, отравляющие людей токсические продукты горения, приводящее к удушью уменьшение содержания в воздухе кислорода, волны горячего воздуха и само пламя. Ко вторичным факторам

пожара относят возможность падения на людей элементов оборудования и элементов конструкции здания при разрушении, поражение персонала и сотрудников МЧС электрическим током. На основании результатов проведенного анализа возникающий на рассматриваемом производственном участке пожар может быть отнесен к категории «Е», так как ещё одним поражающим фактором является электрический ток, поражение которым может произойти при тушении пожара. В таблице 5 представлены средства, обеспечивающие устранение опасных факторов такого пожара, которые следует быть готовым применить на рассматриваемом производственном участке.

Таблица 5 – Средства устранения факторов пожара

«Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.
Мобильные средства пожаротушения	Специализированные расчеты (вызываются)
Стационарные установки системы пожаротушения	Нет необходимости
Средства пожарной автоматики	Установки пожарной сигнализации, пожарного оповещения
Пожарное оборудование	Пожарный кран
Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	План эвакуации
Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Ведро конусное, лом, лопата штыковая
Пожарные сигнализация, связь и оповещение» [8]	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели

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

3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка

При организации современных производств необходимо обеспечивать не только выполнение требования безопасности технологического процесса по отношению к персоналу, но и предусматривать защиту окружающей среды от антропогенного действия со стороны предприятия. Рассматриваемый процесс сборки и сварки бортовой секции может представлять опасность по отношению к элементам окружающей среды – гидросферы, литосферы и атмосферы. В таблице 6 представлены мероприятия и средства, обеспечивающие защиту природных компонентов от негативных экологических факторов рассматриваемого производства.

Таблица 6 – Мероприятия и средства по защите природных компонентов от негативных экологических факторов рассматриваемого производства

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

Предлагаемые мероприятия позволят значительно сократить ущерб природе со стороны производственного участка.

Выводы по экологическому разделу

Настоящий раздел посвящен обоснованию возможности внедрения в «рассматриваемое производство предлагаемых в выпускной квалификационной работе технологических решений, что предполагает рассмотрение вопросов безопасности труда, пожарной безопасности и экологической безопасности при выполнении операций проектного технологического процесса сборки и сварки бортовой секции судна. При укрупненном анализе проектного технологического процесса сформулировано восемь операций, при выполнении которых возникает комплекс опасных и вредных факторов, идентифицированных в настоящем разделе» [8]. Показано, что для поддержания требуемого уровня производственной безопасности необходимо применение стандартных средств, разработки специальных средств и методик не требуется. Оценка пожарной безопасности рассматриваемого производственного участка позволила сформулировать перечень средств и мероприятий по повышению пожарной безопасности и предотвращению возникновения пожара на предприятии. Также рассматриваемый технологический процесс рассмотрен с точки зрения обеспечения безопасности окружающей среды от антропогенного действия со стороны промышленного предприятия. При обеспечении защиты окружающей среды основной упор следует делать на селективный сбор промышленных отходов и их рециклинг. Также запрещается несанкционированный выброс, захоронение и слив в канализацию жидких и твердых отходов, образующихся в процессе функционирования производственного участка. Предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе технические решения не представляют существенной угрозы работникам предприятия и окружающей среде. Все возникающие при реализации проектной технологии негативные воздействия могут быть нейтрализованы с применением стандартных средств и мероприятий. Следовательно, проектный технологический процесс может быть реализован на производственном участке.

4 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений

4.1. Исходные данные для экономического расчёта

«Применение предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений позволяет получить технологический эффект при сборке и сварке бортовых секций судна, который заключается в повышении производительности и качества выполнения сварочных работ» [23].

Для обоснования целесообразности внедрения предлагаемых решений в производство необходимо провести ряд экономических расчётов, направленных на расчётное определение экономических показателей предприятия. Это объясняется тем, что проектная технология предусматривает применение модернизированного оборудования, стоимость которого выше, чем у оборудования, применяемого при реализации базового технологического процесса.

Для последующего экономического анализа исходные данные по рассматриваемым технологиям представлены в таблице 7.

За счёт повышения производительности ожидается снижение размеров фонда заработной платы, а повышение качества позволяет экономить на сварочных материалах, электрической энергии и фонде заработной платы, так как существенно снижается количество брака и работ по его исправлению. С учётом специфики рассматриваемого производства экономические расчёты проводим исходя из режима работы производственного участка в одну смену.

Предлагается провести оценку временных показателей рассматриваемых вариантов технологии, оценка заводской себестоимости и капитальных затрат, на основании которых возможно определить показатели эффективности процесса, на основании анализа которых предстоит сделать вывод о целесообразности внедрения предлагаемых решений в современное судостроительное производство.

Таблица 7 – Данные для расчета экономических показателей производства

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Принимаемое значение по варианту технологии	
			базовый	проектный
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	1	1
Разряд работников	P_p	-	V	V
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	300	300
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.	1000 тыс.	4000 тыс.
Норма амортизации оборудования	K_a	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	25	55
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	0,85
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	S	м ²	150	150
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эксп}$	(Р/м ²)/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	Р/м 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» [14]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

«Дальнейшие экономические показатели рассчитываются на основании представленных в настоящей таблице исходных данных. Алгоритм оценки эффективности предусматривает отдельное определение временных показателей рассматриваемого производства, отдельный расчёт составляющих технологической себестоимости, цеховых и заводских расходов, капитальных вложений» [14].

4.2 Фонд времени работы оборудования

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

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

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

Эффективный фонд времени работы оборудования позволяет учесть потери рабочего времени» [14] через коэффициент B , значение которого для рассматриваемого случая построения технологического процесса принимается $B=0,07$. На основании вышеизложенного

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

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

4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства

Расчёт капитальных вложений и экономической эффективности внедрения в производство предлагаемых решений требует для своего проведения задания годовой программы производства Π_{Γ} . Для его определения предварительно следует задаться значением штучного времени $t_{шт}$ для базового и проектного вариантов технологии, которые могут упрощенно рассчитывать по составляющим: «машинное время $t_{маш}$, значение которого задается по результатам анализа особенностей базового и проектного вариантов технологического процесса; вспомогательное время $t_{всп}$, которое задается через машинное время и составляет 10 % от него; время на обслуживание рабочего места $t_{обсл}$, которое задается через машинное время и составляет 5 % от него; времени на личный отдых $t_{отд}$, которое задается через машинное время и составляет 5 % от него; подготовительно-заключительное время $t_{пз}$, которое задается через машинное время и составляет 1 % от него. Таким образом, расчёт штучного времени по упрощенной схеме» [14] выполняется как

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

Расчёт по формуле (3) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 40 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 48,4$ часа. Расчёт по формуле (3) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 20 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 24,2$ часа.

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

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

Расчёт по формуле (4) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $\Pi_{\Gamma} = 2054/48,4 = 42$ судовые секции в год. Расчёт по формуле (4) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $\Pi_{\Gamma} = 2054/24,2 = 84$ судовые секции в год. С учётом потребностей рассматриваемого производства для значения годовой программы принимается $\Pi_{\Gamma} = 30$ судовых секций в год. Далее следует выполнить расчёт количества оборудования $n_{\text{расч}}$ для проектного и базового вариантов технологического процесса, для чего «следует применить ранее рассчитанное значение эффективного фонда времени F_3 , годовой программы Π_{Γ} и штучного времени $t_{\text{шт}}$ с учётом коэффициента выполнения нормы $K_{\text{вн}}$, значение которого в рассматриваемом варианте производства принимается $K_{\text{вн}} = 1,03$ » [14]:

$$n_{\text{расч}} = t_{\text{шт}} \cdot \Pi_{\Gamma} / (F_3 \cdot K_{\text{вн}}). \quad (5)$$

Расчёт по формуле (5) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования $n_{\text{расч.}} = 48,4 \cdot 30 / (2054 \cdot 1,03) = 0,7$. Расчёт по формуле (5) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования $n_{\text{расч.}} = 24,2 \cdot 30 / (2054 \cdot 1,03) = 0,4$. Следует принять ближайшее большее натуральное значение, которое для проектного и базового вариантов составляет 1 и 1 соответственно. Коэффициент загрузки оборудования K_3 , который рассчитывается как отношение расчётного и принимаемого количества оборудования по вариантам технологии:

$$K_3 = n_{\text{расч}} / n. \quad (6)$$

Расчёт по формуле (6) для базового и проектного вариантов позволяет получить $K_3 = 0,7/1 = 0,7$ и $K_3 = 0,4/1 = 0,4$ соответственно, что объясняется повышением производительности труда при реализации проектного варианта технологического процесса.

4.4 Заводская себестоимость

Для определения размеров технологической себестоимости $C_{\text{тех}}$ проведения работ согласно рассматриваемым вариантам технологического процесса необходимо выполнить отдельный расчёт составляющих: «затрат на материалы M , фонда заработной платы ФЗП, отчислений на социальные нужды $O_{\text{сс}}$, затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$ и затрат на площади $Z_{\text{пл}}$. Расчёт расходов на сварочные материалы проводится с учётом их цены C_m , нормы расхода H_p и коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{\text{тз}}$, значение которого для рассматриваемого производства согласно таблице исходных данных составляет $K_{\text{тз}} = 1,05$ » [14]:

$$M = C_m \cdot H_p \cdot K_{\text{т-з}} . \quad (7)$$

Расчёт по формуле (7) для базового варианта технологии позволяет получить $M = 354 \text{ р/кг} \cdot 1,58 \text{ см}^2 \cdot 15 \text{ м} \cdot 7,8 \text{ г/ см}^3 \cdot 1,80 \cdot 1,05 \cdot 1000 = 12360 \text{ руб.}$ Расчёт по формуле (7) для проектного варианта технологии позволяет получить $M_{\text{баз.}} = 78 \text{ р/кг} \cdot 1 \text{ см}^2 \cdot 15 \text{ м} \cdot 7,8 \text{ г/см}^3 \cdot 1,2 \cdot 1,05 \cdot 1000 + 16 \text{ руб.} = 7650 \text{ руб.}$

Фонд заработной платы ФЗП предприятия характеризует расходы на основную заработную плату $Z_{\text{осн}}$ и дополнительную заработную плату $Z_{\text{доп}}$, которые рассчитываются с учетом часовой тарифной ставки $C_{\text{ч}}$, коэффициента доплат $K_{\text{д}}$ и коэффициента дополнительных затрат $K_{\text{доп}}$. Для рассматриваемого производства по таблице исходных данных принимается $C_{\text{ч}}=300 \text{ руб.}$, $K_{\text{д}}=1,88$ и $K_{\text{доп}}=0,12$. Расчёт величины $Z_{\text{осн}}$:

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

Применение (8) для базового варианта позволяет получить величину $Z_{\text{осн}} = 48,4 \cdot 300 \cdot 1,88 = 27300 \text{ руб.}$ Применение (8) для проектного варианта позволяет получить величину $Z_{\text{осн.}} = 24,2 \cdot 300 \cdot 1,88 = 13650 \text{ руб.}$

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

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

Применение (9) для базового варианта позволяет получить величину $З_{\text{доп}} = 27300 \cdot 12/100 = 3280$ руб. Применение (9) для проектного варианта позволяет получить величину $З_{\text{доп}} = 13650 \cdot 12/100 = 1640$ руб.

Расчёт величины ФЗП:

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

Применение (10) для базового варианта позволяет получить величину $\text{ФЗП} = 27300 + 3280 = 30580$ руб. Применение (10) для проектного варианта позволяет получить величину $\text{ФЗП} = 13650 + 1640 = 15290$ руб.

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

«Размер отчислений на социальные нужды $O_{\text{сн}}$ определяется с учетом ранее определенных значений ФЗП для рассматриваемых вариантов и коэффициента отчислений на социальные нужды $K_{\text{сн}}$, значение которого для рассматриваемого производства» [14] из таблицы исходных значений принимается $K_{\text{сн}} = 0,34$. Расчёт величины $O_{\text{сн}}$:

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

Применение (11) для базового варианта позволяет получить величину $O_{\text{сн}} = 30580 \cdot 0,34 = 10400$ руб. Применение (11) для проектного варианта позволяет получить величину $O_{\text{сн}} = 15290 \cdot 0,34 = 5200$ руб.

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

При расчете величины $A_{\text{об}}$ применяются ранее определенные значения F_3 и $t_{\text{маш}}$, а также принятые для рассматриваемого производства норма

амортизации H_a и стоимость оборудования $\Pi_{об}$, значения которых берутся из таблицы исходных данных. Расчёт величины $A_{об}$:

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

Применение (12) для базового варианта позволяет получить величину $A_{об} = 1000000 \cdot 21,5 \cdot 40 / 2054 / 100 = 4186$ руб. Применение (12) для проектного варианта даёт $A_{об} = 4000000 \cdot 21,5 \cdot 20 / 2054 / 100 = 8374$ руб. Увеличение амортизационных отчислений в проектном варианте технологии по сравнению с базовым вариантом технологии объясняется применением более сложного технологического оборудования больше стоимости.

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

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

Применение (13) для базового варианта позволяет получить величину $P_{эз} = 25 \cdot 40 \cdot 3,4 / 0,7 = 4857$ руб. Применение (13) для проектного варианта позволяет получить величину $P_{эз} = 55 \cdot 20 \cdot 3,4 / 0,85 = 4400$ руб.

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

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

Применение (14) для базового варианта позволяет получить величину затрат на оборудование $Z_{об} = 4186 + 4857 = 9043$ руб. Применение (14) для проектного варианта позволяет получить $Z_{об} = 8374 + 4400 = 12774$ руб.

Полученные значения составляющих позволяют рассчитать полное значение технологической себестоимости $C_{тех}$ выполняется как сумма затрат

на материалы M , фонда заработной платы $\Phi ЗП$, отчислений на социальные нужды O_{cc} , затрат на оборудование $З_{об}$ и затрат на площади $З_{пл}$:

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

Применение (15) для базового варианта позволяет получить величину $C_{тех} = 12360 + 30580 + 10400 + 9043 + 10830 = 73213$ руб. Применение (15) для проектного варианта позволяет получить значение технологической себестоимости $C_{тех} = 7650 + 15290 + 5200 + 12774 + 5420 = 46334$ руб. Снижение технологической себестоимости в проектном варианте технологии обеспечивается за счёт уменьшения размеров фонда заработной платы, затрат на материалы и затрат на оборудование, что объясняется применением более производительного оборудования с расширенными технологическими возможностями.

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

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

Применение (16) для базового варианта позволяет получить величину $C_{цех} = 73213 + 1,5 \cdot 27300 = 73213 + 40950 = 114163$ руб. Применение (16) для проектного варианта: $C_{цех} = 46334 + 1,5 \cdot 13650 = 46334 + 20480 = 66814$ руб. Для расчётного определения заводской себестоимости $C_{зав}$ необходимо применить ранее рассчитанные значения цеховой себестоимости $C_{цех}$ и основной заработной платы $З_{осн}$, а также коэффициент заводских расходов $K_{зав}$, значение которого для рассматриваемого производства принимается из таблицы исходных значений $K_{зав} = 1,15$. Расчёт величины $C_{зав}$ » [14]:

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

Применение (17) для базового варианта позволяет получить значение $C_{\text{зав}} = 114163 + 1,15 \cdot 27300 = 114163 + 31400 = 145563$ руб. Применение (17) для проектного варианта: $C_{\text{зав}} = 66814 + 1,15 \cdot 13650 = 66814 + 15700 = 82514$ руб.

Для анализа которых на рисунке 28 представлена диаграмма, демонстрирующая структуру заводской себестоимости по базовому и проектному вариантам технологического процесса, эти же данные в цифровом виде представлены в калькуляционной таблице 8.

Таблица 8 – Калькуляция заводской себестоимости сварки реакционной трубы на основании анализа показателей технологического процесса сборки и сварки

Показатель	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант	Проектный вариант
«Затраты на материалы	М	12360	7650
Фонд заработной платы	ФЗП	30580	15290
Отчисления на соц. нужды	Осн	10400	5200
Затраты на оборудование	Зоб	9043	12774
Затраты на площади	Зпл	10830	5420
Технологическая себестоимость	Стех	73213	46334
Цеховые расходы	Рцех	40950	20480
Цеховая себестоимость	Сцех	114163	66814
Заводские расходы	Рзав	31400	15700
Заводская себестоимость» [16]	$C_{\text{зав}}$	145563	82514

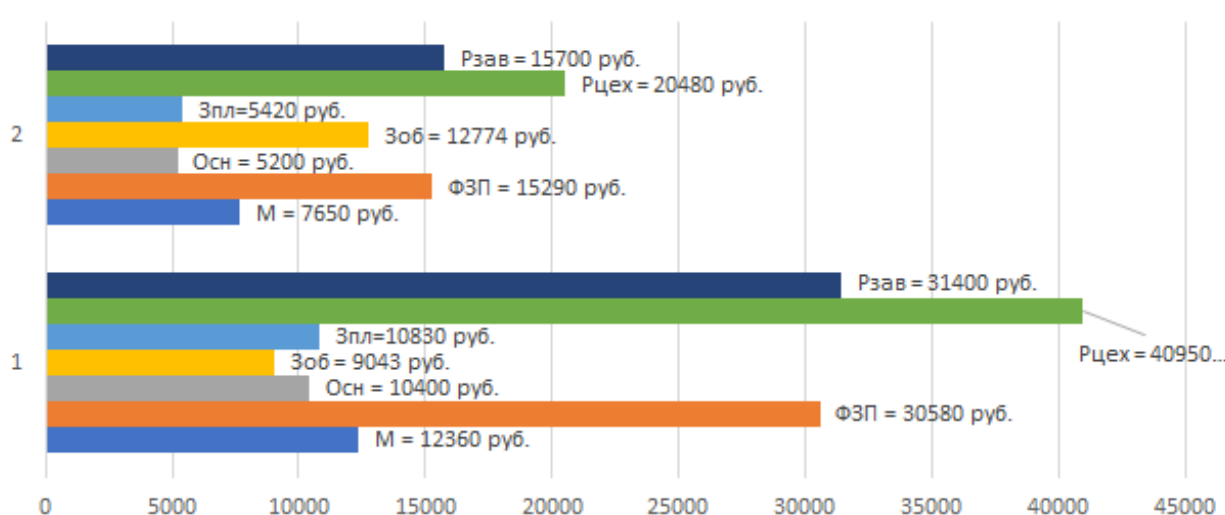


Рисунок 28 – Состав технологической себестоимости

Для расчётного определения показателей экономической эффективности требуется рассчитать капитальные затраты.

4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам

«Первоначально следует определиться с величиной остаточной стоимости оборудования $\Pi_{об.б.}$, использование которого выполнялось при реализации базовой технологии. При продолжительности эксплуатации $T_c=3$ года и цене оборудования $\Pi_{перв}=1000$ тыс. руб. с учетом нормы амортизационных отчислений $H_a=21,5\%$ » [14]:

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

Применение (18) для базового варианта позволяет получить величину $\Pi_{об.б.} = 1000000 - (1000000 \cdot 3 \cdot 21 / 100) = 370000$ руб.

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

$$K_{общ.б.} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{з.б.} = 370000 \cdot 0,7 = 259000 \text{ рублей}. \quad (19)$$

«Капитальные затраты на оборудование при реализации проектного технологического процесса $K_{об.пр.}$ рассчитываются с учётом цены оборудования по проектному варианту $\Pi_{об.пр.}$, коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{тз}$ и коэффициента загрузки оборудования K_z » [14], расчётное значение которого составляет $K_z=0,4$. Из таблицы исходных данных принимается $\Pi_{об.пр.}=4000$ тыс. рублей, $K_{тз}=1,05$. Капитальные затраты по на оборудование по проектному варианту составят

$$K_{об.пр.} = \Pi_{об.пр.} \cdot K_{тз} \cdot K_{зп} = 4000000 \cdot 1,05 \cdot 0,4 = 1680000 \text{ руб.} \quad (20)$$

Далее рассчитывают «расходы на демонтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на демонтаж $K_{дем}=0,05$ и цены оборудования $\Pi_{об.б.}=1000$ тыс. рублей определяют как

$$P_{дем} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{д} = 1000000 \cdot 0,05 = 50000 \text{ руб.} \quad (21)$$

Далее рассчитывают расходы на монтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на монтаж $K_{\text{мон}}=0,05$ и цены оборудования $\Pi_{\text{об.пр.}}=4000$ тыс. рублей определяют как

$$P_{\text{монт}} = \Pi_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{м}} = 4000000 \cdot 0,05 = 200000 \text{ рублей.} \quad (22)$$

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

$$K_{\text{соп}} = P_{\text{дем}} + P_{\text{монт}} = 50000 + 200000 = 250000 \text{ рублей.} \quad (23)$$

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

$$K_{\text{общ. пр.}} = K_{\text{об. пр.}} + K_{\text{соп.}} = 1680000 + 250000 = 1930000 \text{ руб.} \quad (24)$$

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

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общпр}} - K_{\text{общб}} = 1930000 - 259000 = 1671000 \text{ рублей.} \quad (25)$$

Размер удельных капитальных затрат $K_{\text{уд}}$ рассчитывается по капитальным вложениям $K_{\text{доп}}$ с учётом годовой программы $\Pi_{\text{г}}$ [14]:

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

«Для базового варианта технологического процесса величина удельных капитальных затрат» [14] составляет $K_{\text{уд}} = 259000/30 = 8600$ рублей за одну судовую секцию. Для проектного варианта технологического процесса величина удельных капитальных затрат составляет $K_{\text{уд}} = 1930000/30 = 64300$ рублей за одну судовую секцию. На основании проведенных расчётов могут быть определены показатели эффективности предлагаемых решений.

4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей

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

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт\ б} - t_{шт\ пр}) \cdot 100 \% / t_{шт\ б} = (48,4 - 24,2) \cdot 100 \% / 48,4 = 50 \%. \quad (27)$$

Расчёт повышения производительности труда P_T :

$$P_T = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}) = 100 \cdot 50 / (100 - 50) = 100 \%. \quad (28)$$

Расчёт снижения технологической себестоимости:

$$\Delta C_{тех} = (C_{тех.б.} - C_{тех.пр.}) \cdot 100\% / C_{тех.б.} = (114163 - 66814) \cdot 100\% / 114163 = 41\% \quad (29)$$

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

$$\mathcal{E}_{уг} = (C_{зав.б.} - C_{зав.пр.}) \cdot P_T = (145563 - 82514) \cdot 30 = 1891470 \text{ рублей.} \quad (30)$$

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

$$T_{ок} = K_{доп} / \mathcal{E}_{уг} = 1671000 / 1891470 = 0,8 \text{ года.} \quad (31)$$

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

$$\mathcal{E}_г = \mathcal{E}_{уг} - E_n \cdot K_{доп} = 1891470 - 0,33 \cdot 1671000 = 1340040 \text{ рублей.} \quad (32)$$

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

Выводы по экономическому разделу

В настоящем разделе проведены расчётные исследования по определению эффективности проектной технологии сборки и сварки бортовой секции судна. Представлены исходные данные, характеризующие базовую и проектную технологию сварки. По результатам оценки особенностей протекания технологического процесса с базовом варианте и проектном варианте определены временные показатели технологии, на основании которых с использованием исходных данных выполнен расчёт составляющих заводской себестоимости сборки и сварки по рассматриваемым вариантам технологии. Установлено, что внедрение предлагаемых технологических решений позволяет уменьшить размер фонда заработной платы и отчислений на социальные нужды за счёт повышения производительности труда. Также это привело к значительному уменьшению цеховых и заводских расходов, что положительно сказалось на уменьшении заводской себестоимости проведения сварочных работ. Далее установлен размер капитальных вложений по «базовому варианту и проектному варианту построения технологического процесса, с учётом которых рассчитаны показатели эффективности предлагаемых к внедрению решений. За счёт применения более прогрессивного оборудования и технологий при внедрении предлагаемых решений в производство удастся уменьшить трудоемкость выполнения работ на 50 %, повысить производительность процесса на 100 %» [14]. За счёт уменьшения размера основных составляющих технологической себестоимости её величина уменьшается на 41 %. Экономический эффект составляет 1,34 млн. рублей. Значительные сроки окупаемости, составляющие 0,8 года, в условиях рассматриваемого производства и с учетом его значимости для экономики Российской Федерации считаются приемлемыми. На основании вышеизложенного следует признать эффективность внедрения предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технологических решений. Увеличение экономического эффекта может быть получено при внедрении предлагаемых решений в другие производства.

Заключение

Базовая технология предусматривает применение механизированной сварки в защитных газах и автоматической сварки под флюсом. Первым недостатком является высокий уровень дефектности, который принимает наибольшие значения в сварных швах, выполненных с применением механизированной сварки в защитных газах. Доля дефектных швов, обнаруживаемых с применением радиационных методов контроля, достигает 5...7 % от всего количества выполненных соединений. Вторым недостатком является недостаточная производительность, которой характеризуется механизированная сварка в защитных газах. Третьим недостатком следует признать неблагоприятные условия труда, которые сопровождают работу сварщика при выполнении швов. В ходе изучения источников научно-технической информации показана высокая эффективность применения достижений в области роботизации сварочного производства при изготовлении судовых конструкций. Так как изготовление секций судна может занимать до 40 % от общей трудоемкости работ, то автоматизация и роботизация процессов позволяет значительно повысить эффективность производства по сравнению с традиционными способами построения производственных участков в судостроении. Также роботизация производства позволяет повысить его гибкость и упрощает переход на изготовление измененной конструкции судна, что особенно важно в связи с тем, что в ходе изготовления судна могут быть внесены изменения в проектную документацию следующей его модификации. На основании экспертной оценки преимуществ и недостатков рассматриваемых способов для построения проектной технологии предложено применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения. Расширение технологических возможностей выбранного способа сварки обеспечивается применением разработки в области импульсного управления переносом электродного металла, предложенной российскими исследователями-сварщиками. Это

позволяет повысить производительность процесса, устранить разбрызгивание, повысить энергетические показатели способа за счёт положительных изменений теплового баланса, а также обеспечить механизированную и автоматизированную сварку с получением стабильно высокого качества, приближающегося по показателям к автоматической сварке под флюсом. Составленная проектная технология сварки может быть реализована на значительном количестве предприятий Российской Федерации с применением имеющегося в наличии сварочного оборудования. На основании анализа особенностей выполнения операций проектного технологического процесса удалось идентифицировать производственные факторы, негативное влияние которых на персонал не позволяет отнести их к нейтральным факторам и заставляет рассматривать вопрос их нейтрализации с применением как стандартных решений по обеспечению безопасности труда, так и специально разрабатываемых методик и средств. Оценка эффективности применяемых на предприятии средств по обеспечению безопасности труда позволила обосновать отсутствие необходимости проведения работ по генерированию специальных решений. Предложены мероприятия по защите составляющих природы – атмосферы, литосферы и гидросферы от негативного воздействия со стороны производственного участка. За счёт применения более прогрессивного оборудования и технологий при внедрении предлагаемых решений в производство удастся уменьшить трудоемкость выполнения работ на 85 %, повысить производительность процесса на 567 %. За счёт уменьшения размера основных составляющих технологической себестоимости её величина уменьшается на 49 %. При капитальных вложениях 266 тыс. рублей срок окупаемости составляет 0,2 года, а экономический эффект составляет 5,66 млн. рублей. Выполнение оценочного экономического раздела позволило заключить, что внедрение в производство предлагаемых решений позволяет повысить экономические показатели предприятия. Таким образом, поставленная цель может считаться достигнутой.

Список используемой литературы и используемых источников

1. А. с. 1682076 СССР, МКИ В23К9/09. Источник тока для импульсной сварки / Павшук В. М., Шейко П. П. Заявл. 31.05.89; опубл. 07.10.91, Бюл. № 37, 6 с.
2. Банов М. Д., Казаков Ю. В., Козулин М. Г. Сварка и резка материалов : учеб. пособие. М. : Издательский центр «Академия», 2000. 400 с.
3. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
4. Бурмистрова А. Е., Щеголева О. А., Бурмистрова Е. Г. Обоснование применения на судостроительных верфях многофункциональных сборочно-сварочных роботов // Научные проблемы водного транспорта. 2023. № 7. С. 27-36.
5. Вертакова Ю. В., Плотников В. А. Перспективы импортозамещения в высокотехнологичных отраслях промышленности // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 7-20.
6. Вознесенский А. А. Необходимость улучшения инвестиционного климата в судостроительном комплексе РФ в современных условиях // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2015. № 4. С. 75-78.
7. Голобородько Ж. Г. Опыт Херсонского судостроительного завода по применению плазменной резки // Автоматическая сварка. 2013. № 2. С. 43-48.
8. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
9. Игушев В. Ф., Веревкин В. И., Безсмолова И.В. Технологические аспекты использования различных флюсов при сварке судостроительных сталей // Технологическая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития. 2019. № 4. С. 43-47.

10. Ищенко Ю. С., Тушева Н. В. Модель расчета перехода капли в ванну при коротком замыкании // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Ядерная техника и технология. - 1990, Вып. 5. - С. 8-14.

11. Карасев М. В., Работинский Д. Н., Черкасова Л. Г. Перспективы развития источников питания дуговой сварки для отечественного судостроения // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образовании. 2012. № 2. С. 144-150.

12. Крампит А. Г., Крампит Н. Ю., Габитов Э. К. Модернизация сварочного оборудования – как решение приоритетной задачи по импортозамещению // Технический научно-производственный журнал. 2016. № 7. С. 18-23.

13. Крампит Н.Ю. Разработка и исследование процесса импульсного питания при сварке в СО₂ длинной дугой плавящимся электродом. – Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – 2000.

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

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

16. Ленчук Е. Б. Научно-технологическое развитие России в условиях санкционного давления // Экономическое возрождение России. 2022. № 3. С. 52-60.

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

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

19. Муравьев К. А. Влияние водорода на сопротивление образованию трещин в сварных соединениях судостроительных сталей // Технические науки – от теории к практике. 2012. № 7. С. 15-23.
20. Нгуен Д. К., Лубенко В. Н. Особенности роботизации сварочного производства в судостроении // Морская техника и технологии. 2008. № 2. С. 149-155.
21. Нгуен Д. К., Лубенко В. Н. Совершенствование процесса сварки угловых швов кривых и гофрированных конструкций судна мобильным сварочным роботом // Морская техника и технологии. 2009. № 1. С. 66-71.
22. Неёлов Ю. В. Перспективы импортозамещения в Российской Федерации, // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 4-7.
23. 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.
24. Патон Б. Е., Воропай Н. М., Бучинский В. Н. Управление процессом дуговой сварки путем программирования скорости подачи электродной проволоки // Автоматическая сварка. 1977. № 1. С. 1-5, 15.
25. Патон Б. Е., Шейко П. П., Пашуля М. П. Автоматическое управление переносом металла при импульсно-дуговой сварке // Автоматическая сварка. - 1971. - № 9. - С. 1-3.
26. Погонев С. В., Бочарова И. Ю., Тенденции развития судостроения в условиях совершенствования корпоративного управления // Наукoведение. 2013. № 4. С. 17-22.
27. Ekelof B. Adaptiv multi-run submerged-arc technology // Svetsaren. – 1998. № 1. P. 3–6.
28. Kolbe W. Universal Steam Tracking System for Arc Welding and Similar Applications Industrial Robot //Svetsaren. 1994. № 3. P. 33–35.