

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 Технологический процесс изготовления арочной фермы  
железнодорожного моста

Студент

Н.А. Киндеров  
(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент О.В. Шашкин  
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультанты

к.т.н., доцент О.М. Сярдова  
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

к.т.н., доцент А.Н. Москалюк  
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

## Аннотация

При строительстве железнодорожных мостов получили распространение арочные мосты с гибкой аркой и фермой жёсткости, конструкция которых намного экономичнее других типов мостов. Пространственная жёсткость такой конструкции обеспечивается поперечными вертикальными подвесками, горизонтальными продольными связями в плоскости проезжей части и связями между арками.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества сварки арочной фермы железнодорожного моста.

В ходе выполнения работы решены следующие задачи:

- выполнить обоснованный выбор способа сварки рассматриваемой конструкции;

- составить проектную технологию сварки (выбрать сварочные материалы назначить оптимальные параметры режима, выбрать сварочное оборудование, требования к выполнению технологических операций).

Анализ возможных способов сварки позволил обосновать выбор автоматической сварки под флюсом как основного способа при построении проектной технологии сварки. Была составлена проектная технология сварки арки моста, назначены параметры режима сварки и применяемое оборудование.

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 1,72 млн. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,3 года.

## **Abstract**

The title of the graduation work is «The technological process of manufacturing an arch truss of a railway bridge».

In the construction of railway bridges, arched bridges with a flexible arch and a stiffness truss have become widespread, the design of which is much more economical than other types of bridges. The spatial rigidity of such a structure is provided by transverse vertical suspensions, horizontal longitudinal ties in the plane of the carriageway and ties between the arches.

The aim of the work is to increase the productivity and quality of welding of an arch truss of a railway bridge.

The following tasks have been solved:

- to make a reasonable choice of the welding method for the structure under consideration;

- to draw up a design welding technology (select welding materials, assign optimal mode parameters, select welding equipment, requirements for performing technological operations).

Analysis of possible welding methods made it possible to substantiate the choice of automatic submerged-arc welding as the main method in the construction of design welding technology. The design technology for welding the arch of the bridge was drawn up, the parameters of the welding mode and the equipment used were assigned.

The analysis of the design technology of welding for the presence of dangerous and harmful production factors is performed.

The calculated annual economic effect, taking into account capital investments, is 1,72 million rubles.

## Содержание

Введение .....	6
1 Современное состояние сварки арочных ферм железнодорожных мостов .....	8
1.1 Описание конструкции и условий эксплуатации арочной фермы железнодорожного моста. ....	8
1.2 Сведения о материале арочной фермы железнодорожного моста .....	12
1.3 Базовая технология изготовления фермы арочного моста .....	13
1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы .....	24
2 Проектная технология сборки и сварки арочной фермы моста. ....	25
2.1 Обоснование выбора способа сварки .....	25
2.2 Повышение эффективности механизированной сварки в защитных газах .....	29
2.3 Способ импульсно-дуговой сварки. ....	32
2.4 Требования к выполнению операций проектного технологического процесса сварки .....	35
3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса .....	41
3.1 Технологическая характеристика объекта .....	41
3.2 Идентификация профессиональных рисков .....	43
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков .....	45
3.4 Обеспечение пожарной безопасности .....	46
3.5 Обеспечение экологической безопасности .....	48
4 Оценка экономической эффективности проектной технологии. ....	50
4.1 Исходная информация для выполнения экономической оценки предлагаемых технических решений .....	50

4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования . . . . .	52
4.3 Расчет штучного времени . . . . .	53
4.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии . . . . .	55
4.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии. . . . .	60
4.6 Показатели экономической эффективности. . . . .	62
Заключение . . . . .	65
Список используемой литературы и используемых источников . . . . .	66

## Введение

Стальные мосты обладают набором преимуществ перед мостами из альтернативных материалов: надёжность, долговечность, скорость возведения. При строительстве мостов подавляющее количество конструкций изготавливается из высококачественных низколегированных сталей [10], [21]. Строительство металлических железнодорожных мостов ведётся в России уже два века, но вплоть до середины XX века при строительстве мостов использовалась клёпка и болтовые соединения. Строительство последнего железнодорожного моста с использованием клёпанного соединения было завершено в 60-е годы через реку Тулым (Томская область).

Применение клёпанных соединений повышало трудоёмкость и существенно сдерживало темпы строительства мостов. С середины XX века началось повсеместное внедрение болтовых соединений, призванных заменить клёпанные. Скорость возведения мостов увеличилась, однако применение дорогостоящих метизов (болты, гайки, шайбы) существенно увеличивало стоимость возведения мостов [10], [21].

Начиная с 60-х годов XX века рассматривалась возможность внедрения сварки при производстве и монтаже элементов мостов. Внедрение сварки позволило достигнуть существенной экономии финансов и трудозатрат, уменьшить вес пролётных строений. Поскольку эксплуатация мостов происходит не только при положительных температурах воздуха, но и при значительном морозе (до  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), возникла необходимость в разработке новых сварочных материалов и технологий сварки.

Главная ферма моста является его несущей конструкцией, воспринимающей нагрузку от проезжей части и передающей нагрузку от проезжей части на опоры моста. При строительстве железнодорожных мостов получили распространение арочные мосты с гибкой аркой и фермой жёсткости [10], [21], конструкция которых намного экономичнее других

типов мостов. Пространственная жёсткость такой конструкции обеспечивается поперечными вертикальными подвесками, горизонтальными продольными связями в плоскости проезжей части и связями между арками.

Арку (свод) моста обычно изготавливают из железобетона, но она может быть и стальной. Главную ферму изготавливают сварной из стали в заводских условиях. Монтаж элементов фермы при возведении моста выполняют либо сваркой, либо болтовой. От качества и производительности сварки фермы арочного моста в значительной мере зависит его дальнейшая безопасная эксплуатация.

Конкурентоспособность отечественного мостостроения определяется качеством и сроками выполнения работ, реализуемыми сварочными технологиями и применяемыми сварочными материалами, современными методиками контроля качества. Повышение конкурентоспособности отечественного мостостроения должно быть основано на научно-техническом сопровождении,

Из вышеизложенного следует вывод, что повышение долговечности и безотказности мостовых конструкций должно основываться на совершенствовании основных технологических процессов, переход на сварку с применением перспективных способов и методик контроля, применении конструкционных материалов с повышенными свойствами.

Таким образом, является актуальной целью выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества сварки арочной фермы железнодорожного моста.

Достижение поставленной цели должно быть основано на современных разработках в области сварки и применении перспективных конструкционных материалов.

# **1 Современное состояние сварки арочных ферм железнодорожных мостов**

## **1.1 Описание конструкции и условий эксплуатации арочной фермы железнодорожного моста**

Длина рассматриваемого моста, представленного на рисунке 1, составляет 2 км. Расчётная скорость перемещения пассажирских поездов массой до 7100 т составляет 120 км/ч. Расчётная скорость перемещения грузовых поездов – 80 км/ч. Диапазон рабочих температур: +57...-27°C.

Судоходная часть моста представлена тремя арками. Длина каждой судоходной арки составляет 308 метров.

Полная длина моста (расстояние между внутренними гранями устоев) – 2112 м. Наибольший пролёт (по судоходной арке) – 143 м. Объём железобетона опор – 49,9 тыс. м<sup>3</sup>. Масса металла пролётных строений – 27,7 тыс. тонн. Сметная стоимость моста составляет 4,263 млрд. рублей. В конструкции моста предусмотрено наличие смотровых ходов, люков, площадок для обслуживающего персонала.

Железнодорожный пролёт является одним из самых сложных элементов моста, масса пролёта составляет 600 тонн, включает в себя 3 арочные секции, показанные на рисунке 2. Каждая арочная секция имеет ферму, закреплённую на 12 подвесках. Общая долина канатных прядей для устройства подвесок – 31530 метров (37 тонн). Каждая подвеска покрыта смазкой и размещена внутри трубы из полиэтилена высокой плотности.

Арочный пояс представляет собой конструкцию из 16 элементов, соединение которых между собой происходит с использованием накладок и высокопрочных болтов. Соединение конца арочного пояса с опорной стойкой фермы выполняется по фасонке с использованием 700 высокопрочных болтов. Два других пояса представляют собой сварные профили, соединённые между собой согласно рисунку 3.





Рисунок 1 – Общий вид моста

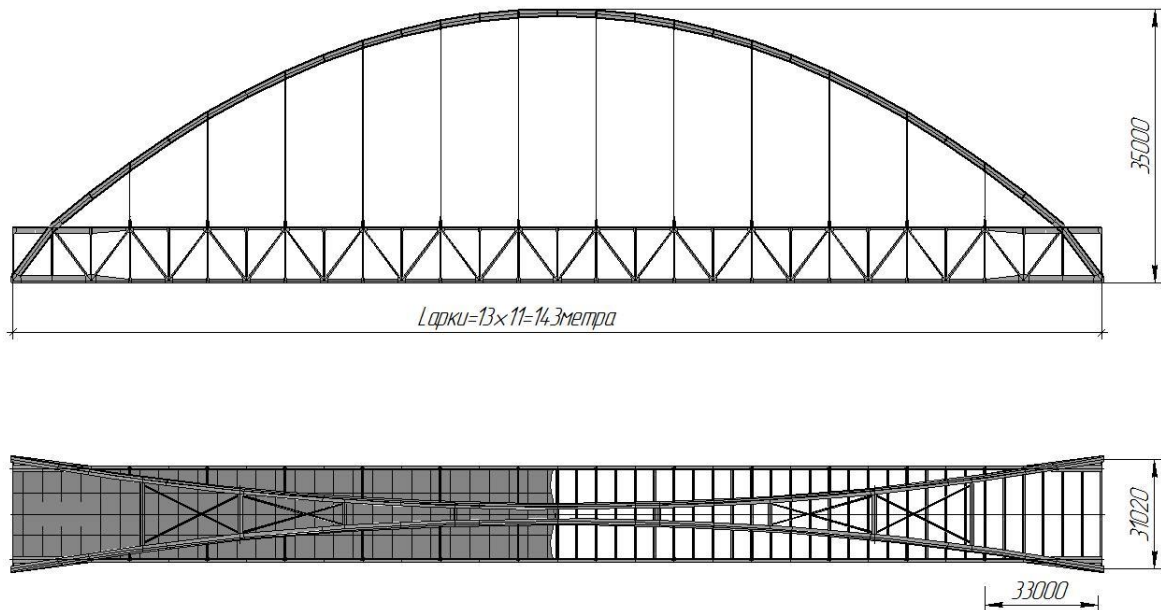
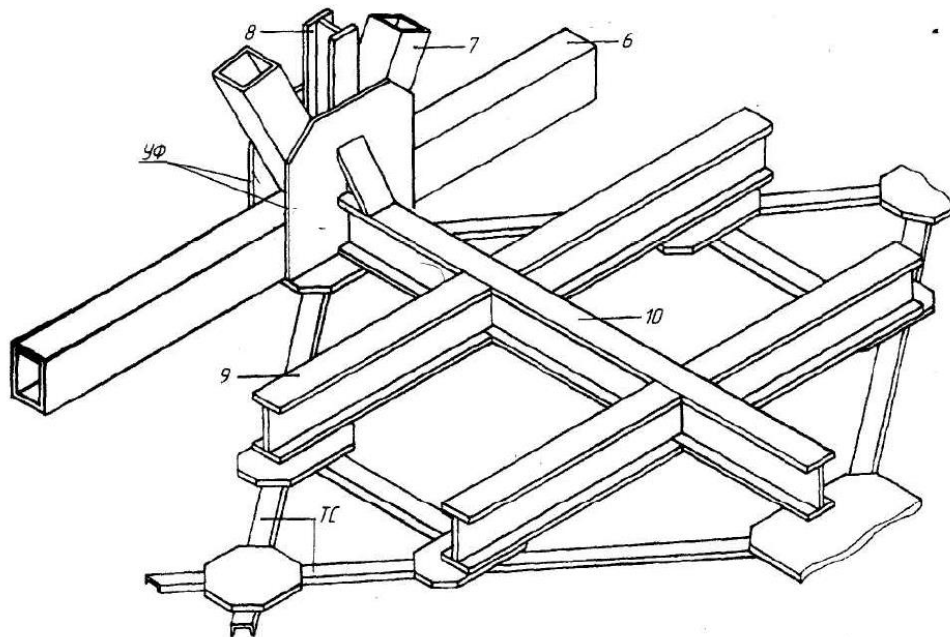


Рисунок 2 – Размещение фермы на подвесках арки



УФ – угловые фасонки, ТС – тормозные связи, 6 – нижний пояс, 7 – раскосы решётки, 8 – стойки решётки, 9 – продольная балка ростверка, 10 – поперечная балка ростверка

Рисунок 3 – Сопряжение элементов главной фермы и балок ростверка



Нормативная документация [20], [21] устанавливает расчётный срок службы мостов – 100 лет. Однако опыт эксплуатации показывает, что зарождение усталостных трещин в конструкции металлических мостов происходит значительно раньше. Так, трещины в несущих элементах металлических мостов обнаруживаются уже после 1...7 лет после начала эксплуатации.

Проведённые зарубежными исследователями работы в области изучения особенностей нагружения и разрушения сварных мостовых конструкций [24] позволили установить, вблизи поверхности сварного шва в основном металле присутствуют значительные остаточные растягивающие напряжения, которые могут достигать 90 % от предела текучести. Эти исследования подтверждаются изысканиями авторов [27], выполнивших сравнение расчётных и измеренных остаточных напряжений.

Определение характера распределения остаточных напряжений может быть выполнено различными методами. Одним из таких методов является неразрушающий ультразвуковой метод на основе продольных волн, при помощи которого установлено [30] может быть получена количественная и качественная информация об остаточных напряжениях в сварных соединениях. Как установлено, многопроходная TIG сварка позволяет получать сварные соединения с пониженным уровнем остаточных напряжений.

Регулирование уровня остаточных напряжений в мостовых конструкциях играет решающую роль в продлении срока их безопасной эксплуатации. Снижение уровня остаточных напряжений в сварных соединениях может быть выполнено различными методами, среди которых широкое распространение получает обкатка швов роликом [25]. Также распространены вибрационные методы снятия напряжений [28], которые являются альтернативой термообработки. В настоящее время термообработка считается традиционным методом снятия напряжений после сварки, однако этот процесс обладает значительной трудоёмкостью и стоимостью проведения.

## 1.2 Сведения о материале арочной фермы железнодорожного моста

При строительстве мостов подавляющее количество конструкций изготавливается из высококачественных низколегированных сталей [5], [21], [25]. Мостовые конструкции работают в особых условиях, испытывают постоянные вибрационные нагрузки. Поэтому для их изготовления требуются стали, которые имели бы низкую температуру перехода в хрупкое состояние. Также от сталей для изготовления мостовых конструкций требуется обладать малой чувствительностью к концентраторам напряжений. Наклёп сталей не должен приводить к их старению.

Применяемые стали должны обладать хорошей свариваемостью, а металл околошовной зоны должен быть вязким. Основные несущие элементы мостовых конструкций (фермы, балки, диафрагмы и пр.) выполняются из полуфабрикатов сталей 15ХСНД, 10ХСНД, 16Г2АФ, 06Г2Б [7].

Наибольшее применение получили стали 10ХСНД и 15ХСНД [20], [21]. При этом различают исполнение мостов «А» – обычное, «Б» – северное. Для мостов исполнения «А» могут быть применены стали 10ХСНД и 15ХСНД. Для мостов с исполнением «Б» - только сталь 10ХСНД, без монтажной сварки.

Поставка сталей 10ХСНД и 15ХСНД осуществляется листовым прокатом с толщиной стенки до 50 мм или в виде фасонных профилей с толщиной стенки до 32 мм.

Таблица 1 - Содержание химических элементов в стали для строительства мостовых конструкций

Марка стали	C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr	Ni	Прочее
10ХНДП	<0,12	0,30-0,60	0,17-0,37	0,07-0,12	<0,04	0,30-0,50	0,50-0,80	0,30-0,60	Al 0,08-0,15
15ХСНД	0,12-0,18	0,40-0,70	0,40-0,70	<0,035	<0,035	0,20-0,60	0,60-0,90	0,30-0,60	-

Таблица 2 – Механические характеристики сталей для строительства мостовых конструкций [11]

Марка стали	Класс прочности	Толщина металла	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %
15ХСНД	390	30	400	555	30
10ХСНД	390	30	390	510	39

Несмотря на то, что стали марок 10ХСНД и 15ХСНД по сравнению с другими аналогичными сталями (16Г2АФ, 06Г2Б) обладают меньшим пределом текучести, эти стали характеризуются высокой пластичностью и вязкостью. Это свойство очень важно при выполнении несущих элементов мостовых конструкций. По сравнению со сталью 15ХСНД, сталь 10ХСНД обладает большей ударной вязкостью, благодаря чему конструкции из этой стали лучше сопротивляются хрупкому разрушению.

На основании вышеизложенного для изготовления конструкции – арочная ферма моста, следует применить сталь 10ХСНД. Эта сталь имеет самую малую стоимость из рассмотренных сталей. Свойства стали 10ХСНД позволяют оптимально сочетать невосприимчивость к концентраторам напряжений, низкую температуру перехода в хрупкое состояние, коррозионную стойкость, повышенную прочность.

### 1.3 Базовая технология изготовления фермы арочного моста

Технология сборки и сварки арочной фермы предусматривает выполнение следующих операций: входной контроль проката, очистка, разметка, резка заготовок, укрупнение заготовок для выполнения поясов, сборка и сварка поясов, сборка и сварка стоек, сборка и сварка раскосов, сборка и сварка фермы, контроль качества.

**Первая операция** (входной контроль проката). Предъявляются следующие технические требования к исходным заготовкам [2], [16], [21]:

- на поверхности листа не допускаются дефекты в виде: раковин, сквозных разрывов, загрязнений, вкатанных окалин, вздутий, трещин;

- допускаемые дефекты: волнистость и прогиб не более 15 мм / 1000 мм, в противном случае необходима дополнительная правка листа;
- устранение поверхностных дефектов проводится зачисткой (допустимое уменьшение толщины листа 0,25-0,4 мм);
- на обрезных кромках проката не допускается расслоение, трещины, разрывы;
- для контроля качества листа, его поверхности, берут все листы, качество поверхности контролируется визуально без применения увеличительных приборов;
- для контроля размеров листа отбирают каждую десятую заготовку из партии;
- расслоение контролируется осмотром кромок.

**Вторая операция** (очистка, разметка и резка заготовок). При заготовительных операциях выполняют: правку листов, разметку, резку, подготовку кромок. Правку листов проводят на многовалковой листопрямильной машине, состоящей из двух горизонтальных рядов роликов равного диаметра, расположенных с одинаковым шагом. Затем повторяют контрольную операцию.

Перед началом изготовления конструкции следует очистить поверхность проката от окалины и ржавчины. Для этого применяется переносная пескоструйная установка DBS-200, представленная на рисунке 6. Параметры пескоструйной очистки: рабочее давление воздуха – 10 бар, диаметр сопла – 11 мм, расход воздуха – 11,6 м<sup>3</sup>/мин, расход абразива – 50 кг/м<sup>2</sup>, абразив – SA 3.

Для правки листового проката применим листопрямильную машину LP4-30-3000, представленную на рисунке 7. Скорость правки составляет 15 м/мин, количество валков – 9, точность правки – 1 мм/м<sup>2</sup>.

Для резки листового проката применяются ножницы с гидравлическим приводом НГ-3225./02, представленные на рисунке 8, производства «Оренбургский завод прессовых машин» (Россия). Эта модель ножниц

позволяет производить высокоточную резку листового металла толщиной до 32 мм. Вес ножниц составляет 22,3 тонны. Частота ходов в минуту – не менее 10..12. Угол наклона подвижного ножа – 2...4 °.

Для подготовки сварочных кромок на листовых заготовках применяется кромкострогальная машина ВВJ-14, представленная на рисунке 9, позволяющая выполнять строгание кромок на угол 0...45 ° при длине заготовки до 14 м.

**Третья операция** (укрупнение заготовок для выполнения поясов). Для этого применяют универсальное сборочное приспособление. Заготовки укладывают в приспособление, фиксируют их при помощи пневматических и механических прижимов. Далее выполняют прихватку и сварку заготовок с применением ручной дуговой сварки штучными электродами.



Рисунок 6 - Переносная пескоструйная установка DBS-200 с оператором



Рисунок 7 – Листопрямительная машина LP4-30-3000



Рисунок 8 – Ножницы гильотинные с гидравлическим приводом НГ-3225.02



Рисунок 9 – Кромкострогальная машина ВВJ-14

Перед началом сварки проверяется:

- наличие у сварщика допуска к выполнению данной работы;
- качество сборки или наличие соответствующей маркировки на собранных элементах, подтверждающих надлежащее качество сборки;
- состояние кромок и прилегающих поверхностей;
- наличие документов, подтверждающих положительные результаты контроля сварочных материалов;
- состояние сварочного оборудования или наличие документа, подтверждающего надлежащее состояние оборудования;
- температура предварительного подогрева свариваемых деталей (если таковой предусмотрен НТД или ПТД).

При сварке применяются электроды типа УОНИ 13/55, состав и свойства которых представлены в таблицах 3 и 4. Прокалку электродов выполняют в соответствии с указанными на упаковках режимами. После



прокалки электродов их следует незамедлительно поместить в резервную печь, разогретую до 80...100 °С. Используемые при сварке электроды вынимаются из печи непосредственно перед сваркой. Если в течение смены не были использованы все электроды, то остаток электродов следует ещё раз прокалить. При этом общее количество прокалок электрода до его использования не должно превышать трёх, в противном случае электроды считаются непригодными для сварки.

Для прокалки электродов используется печь ЭПСЭ-40/400, представленная на рисунке 10а, в качестве резервных печей для хранения прокаленных электродов используются две печи ЭПСЭ-10/400, представленные на рисунке 10б.

Питание сварочной дуги при выполнении прихваток обеспечивается источником BRIMA ARC-250, представленным на рисунке 11.

Таблица 3 – Химический состав наплавленного металла электродами УОНИ 13/55

Марка электрода	C	Mn	Si	Ni	Mo	S+P
УОНИ 13/55	<0,09	1,05	0,42	-	-	< 0,040

Таблица 4 – Механические свойства наплавленного металла электродами УОНИ 13/55

Марка электрода	Предел текучести	Предел прочности	Относительное удлинение	Ударная вязкость KCV	Ударная вязкость KCU
	$\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	Дж/см <sup>2</sup>	Дж/см <sup>2</sup>
УОНИ 13/55	420	530	20	130, +20°C 80, -40°C 34, -60°C	59, -30°C 35, -40°C

Таблица 5 – Параметры режима прихватки и сварки штучными электродами

Операция	Электрод	Диаметр	Ток сварки
Прихватка	УОНИ 13/55	3 мм	90...100 А
Сварка		4 мм	120...150 А

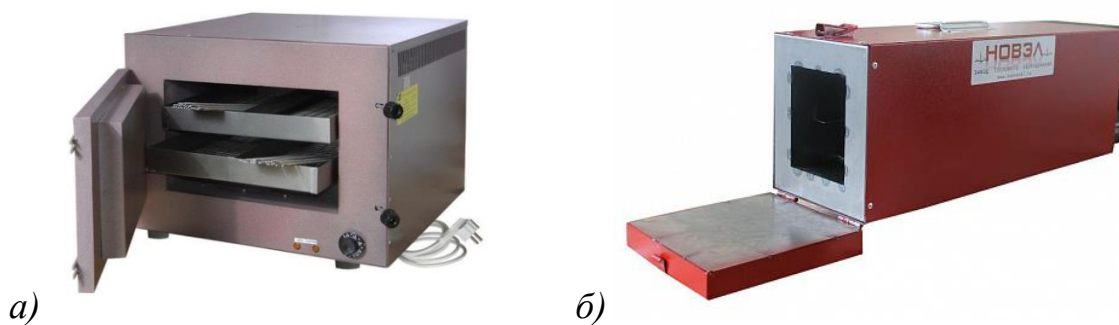


Рисунок 10 – Печи для прокалки и резервного хранения электродов:  
ЭПСЭ-40/400 (а) и ЭПСЭ-10/400 (б)



Рисунок 11 – Источник питания для выполнения прихваток и сварки коротких швов BRIMA ARC-250

**Четвёртая операция** (сборки и сварка поясов). Для сборки применяют универсальное сборочное приспособление. Заготовки укладывают в приспособление, фиксируют их при помощи пневматических и механических прижимов. Далее выполняют прихватку заготовок с применением ручной дуговой сварки штучными электродами согласно таблице 5.

Прихватки должны иметь катет шва – 3...5 мм, длину 50...80 мм. Расстояние между прихватками 300...500 мм. Крайние прихватки следует располагать сразу за выводными планками. Длина прихватки за выводной планкой в начале шва – не менее 50 мм. Длина прихватки за выводной планкой в конце шва – не менее 100 мм.

Далее прихваченные заготовки располагают на ложементях. Для изменения положения балки в пространстве применяется цепной кантователь, представленный на рисунке 12а. Выполняют автоматическую сварку продольных прямолинейных швов Т1 согласно ГОСТ 8713. После

выполнения каждого сварного шва требуется кантовать изделие, чтобы обеспечить положение «в лодочку». Автоматическая сварка под флюсом ведётся на параметрах режима согласно таблице 6. Для позиционирования сварочной дуги применяется сварочный портал ESAB Walltrac, представленный на рисунке 12б. Для подачи флюса и проволоки в зону сварки применяется сварочная головка А6, представленная на рисунке 13 а, работа которой управляется блоком А2-А6 РЕК, представленным на рисунке 13б. В качестве источника питания используется LAF 631, представленный на рисунке 13в.

Таблица 6 – Параметры режима автоматической сварки под флюсом

Проволока	Диаметр проволоки	Ток сварки	Напряжение на дуге	Скорость сварки
Св-08ГА	4 мм	670...700 А	28...30 В	22...25 м/ч



Рисунок 12 – Автоматическая сварка под флюсом поясов: цепной кантователь (а) и сварочный портал (б)



Рисунок 13 – Оборудование для автоматической сварки под флюсом поясов: головка А6 (а), блок управления А2-А6 РЕК (б), источник питания LAF 631 (в)

**Пятая операция** (сборка и сварка стоек). Для сборки применяют универсальное сборочное приспособление. Заготовки укладывают в приспособление, фиксируют их при помощи пневматических и механических прижимов. Далее выполняют прихватку заготовок с применением ручной дуговой сварки штучными электродами согласно таблице 5.

Прихватки должны иметь катет шва – 3...5 мм, длину 50...80 мм. Расстояние между прихватками 300...500 мм. Крайние прихватки следует располагать сразу за выводными планками. Длина прихватки за выводной планкой в начале шва – не менее 50 мм. Длина прихватки за выводной планкой в конце шва – не менее 100 мм.

Далее прихваченные заготовки располагают на ложементах. Для изменения положения балки в пространстве применяется цепной кантователь, представленный на рисунке 14а. Автоматическую сварку под флюсом выполняют с использованием сварочного трактора Tripletrac A2TF, представленного на рисунке 14б.

Выполняют автоматическую сварку продольных прямолинейных швов Т1 согласно ГОСТ 8713. После выполнения каждого сварного шва требуется кантовать изделие, чтобы обеспечить положение «в лодочку». Автоматическая сварка под флюсом ведётся на параметрах режима согласно таблице 6.



Рисунок 14 – Оборудование для автоматической сварки под флюсом стоек и раскосов: цепной кантователь (а), сварочный трактор Tripletrac A2TF (б)

**Шестая операция** (сборка и сварка раскосов). Для сборки применяют универсальное сборочное приспособление. Заготовки укладывают в приспособление, фиксируют их при помощи пневматических и механических прижимов. Далее выполняют прихватку заготовок с применением ручной дуговой сварки штучными электродами согласно таблице 5.

Прихватки должны иметь катет шва – 3...5 мм, длину 50...80 мм. Расстояние между прихватками 300...500 мм. Крайние прихватки следует располагать сразу за выводными планками. Длина прихватки за выводной планкой в начале шва – не менее 50 мм. Длина прихватки за выводной планкой в конце шва – не менее 100 мм.

Далее прихваченные заготовки располагают на ложементах. Для изменения положения балки в пространстве применяется цепной кантователь, представленный на рисунке 14а. Автоматическую сварку под флюсом выполняют с использованием сварочного трактора Tripletrac A2TF, представленного на рисунке 14б.

Выполняют автоматическую сварку продольных прямолинейных швов Т8 согласно ГОСТ 8713. После выполнения каждого сварного шва требуется кантовать изделие, чтобы обеспечить положение «в лодочку». Автоматическая сварка под флюсом ведётся на параметрах режима согласно таблице 6.

**Седьмая операция** (сборка и сварка фермы). Поскольку рассматриваемая арочная ферма применяется для железнодорожного моста через реку, то имеется возможность транспортирования к месту окончательной сборки водным транспортом. Поэтому целесообразно ферму изготавливать целиком, рассчитывая на пролёт 150 метров.

Сварку необходимо выполнять в отапливаемых цехах, обеспечивающих положительную температуру свариваемой конструкции и окружающего воздуха. Если поддержание положительной температуры в помещении, где проходит сварка, невозможно, в порядке исключения допускается вести сварку при температуре не ниже -10 °С. При этом

обязателен предварительный подогрев кромок и прилегающих к ним участков основного металла. Температура предварительного подогрева 120...150 °С. Ширина предварительного подогрева составляет не менее 60 мм, если толщина свариваемого металла не превышает 25 мм и не менее 80 мм – если толщина свариваемого металла превышает 25 мм.

Для прихватки применяются электроды УОНИ 13/55 диаметром 3 мм. Для сварки применяются электроды УОНИ 13/55 диаметром 4 мм и 5 мм. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности («+» - на электроде). Поперечное сечение наплавленного слоя для первого прохода должно быть  $(6...8)d_{эл}$ , что составляет 24...32 мм<sup>2</sup>. Поперечное сечение последующих проходов должно быть  $(8...12) d_{эл}$ , что составляет 32...48 мм<sup>2</sup>. Прихватку выполняют электродами диаметром 4 мм, заполнение разделки выполняют электродами диаметром 4 мм или 5 мм, облицовочный слой выполняют электродами диаметром 4 мм. Параметры режима выполнения прихваток и сварки приведены в таблице 7. Для сборки и сварки применяется кондуктор.

**Восьмая операция** (контроль качества). Сварные соединения подлежат проверке сразу после их выполнения. Приёмочный контроль проводят: визуально-измерительный (согласно РД 03-606-03), ультразвуковой (согласно ГОСТ 14782).

В ходе визуально-измерительного контроля выполняют проверку сварных швов на соответствие формы и размеров, отсутствие недопустимых дефектов на поверхности. Объём визуально-измерительного контроля – 100 %. В ходе ультразвукового контроля проверяется отсутствие недопустимых дефектов в сварном шве и околошовной зоне. Объём ультразвукового контроля – 30 %.

Не допускаются следующие выявленные при визуально-измерительном контроле дефекты: трещины всех видов и направлений, непровары в корне шва и неполное проплавление, прожоги, несплавления, поверхностные поры размером более 2,0 мм, подрезы глубиной более 2,0 мм, уменьшение катета углового шва, вогнутость корня шва более 1,5 мм, наплывы.

Таблица 7 – Параметры режима сварки электродами УОНИ 13/55 Ø 4 и 5 мм

Диаметр электрода	Положение сварного шва		
	нижнее	вертикальное	потолочное
4 мм	130...160 А	120...150 А	120...150 А
5 мм	180...200 А	160...180 А	-



Рисунок 15 – Ультразвуковой дефектоскоп А-1214

Не допускаются следующие выявленные при ультразвуковом контроле дефекты: непровары и несплавления между слоями шва, внутренние поры более 1,0 мм, скопления и цепочки шлаковых включений.

По внешнему виду сварные швы должны быть: с гладкой или равномерно чешуйчатой поверхностью, иметь плавные переходы к основному металлу, облицовочные валики должны перекрывать друг друга 1/3 ширины, кратеры должны быть заварены.

Для проведения визуально-измерительного контроля применяется: универсальный шаблон сварщика УШС-3; штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1 с глубиномером; линейка металлическая Л-300 (300 мм); лупы просмотрные 4х и 7х; лупа просмотрная с подсветкой 3,5 х; лупа измерительная ЛИЗ-10х; рулетка, инструкция РД 03-606-03; угольник металлический; наборы щупов и радиусных шаблонов; фонарик; маркер по металлу; футляр для хранения.

Для проведения ультразвукового контроля применяется ультразвуковой дефектоскоп А-1214, представленный на рисунке 15, набор стандартных образцов, гель для УЗК.

## 1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

В работе сформулирована цель – повышение производительности и качества сварки арочной фермы железнодорожного моста. Анализ применяемых в мостостроении сталей позволил обосновать применение стали 10ХСНД. Анализ базовой технологии сварки с применением автоматической сварки под флюсом и ручной дуговой сварки штучными электродами позволил заключить следующее.

Во-первых, сварочные операции при выполнении продольных длинномерных швов на стойках, раскосах и поясах выполняются автоматической сваркой под флюсом с применением современного сварочного оборудования производства концерна ESAB.

Во-вторых, прихватки выполняются ручной дуговой сваркой с применением электродов УОНИ 13/55 диаметром 3 мм.

В-третьих, сварка фермы (приварка фасонки) выполняется ручной дуговой сваркой с применением электродов УОНИ 13/55 диаметром 4 мм и 5 мм.

Недостатки применения ручной дуговой сварки штучными электродами: малая производительность выполнения сварочных работ, работа сварщика в тяжёлых условиях, низкая стабильность качества сварки, повышенный расход электродного материала на разбрызгивание и огарки.

Анализ состояния вопроса позволяет сформулировать задачи выпускной квалификационной работы, решение которых приведёт к достижению поставленной цели:

- выполнить обоснованный выбор способа сварки рассматриваемой конструкции;
- составить проектную технологию сварки (выбрать сварочные материалы назначить оптимальные параметры режима, выбрать сварочное оборудование, требования к выполнению технологических операций).



## 2 Проектная технология сборки и сварки арочной фермы моста

### 2.1 Обоснование выбора способа сварки

Выбор способа сварки рассматриваемого изделия предусматривает выполнение **четырёх** этапов.

На **первом этапе** следует перечислить все возможные способы сварки, которые способны обеспечить защиту расплавленного и перегретого металла от действия воздуха. Сварка конструкций из стали 10ХСНД может выполняться всеми способами [18], [19]: газовая сварка, ручная дуговая сварка, сварка в инертном газе неплавящимся электродом, сварка плавящимся электродом в защитных газах, лазерная сварка, автоматическая сварка под флюсом, сварка самозащитной порошковой проволокой.

На **втором этапе** следует выбрать способы сварки, пригодные для рассматриваемой толщины – 14...28 мм. Для рассматриваемого изделия следует признать в качестве пригодных следующие способы сварки: ручная дуговая сварка, сварка в инертном газе неплавящимся электродом, сварка плавящимся электродом в защитных газах, лазерная сварка, автоматическая сварка под флюсом.

На **третьем этапе** выполняют анализ протяжённости и пространственного положения швов. Применительно к рассматриваемому изделию протяжённость швов составляет несколько сотен миллиметров (приварка фасонки), эти швы располагаются в пространстве различным образом (ферменная конструкция). Исходя из этого применение автоматических способов сварки следует признать нецелесообразным. Поэтому для окончательного анализа следует выделить: ручная дуговая сварка, сварка плавящимся электродом в защитных газах, сварка порошковой самозащитной проволокой.

На **четвёртом этапе** следует выполнить анализ преимуществ и недостатков каждого способа сварки.

Ручная дуговая сварка, схема выполнения которой представлена на рисунке 16, получила широкое распространение благодаря своим преимуществам: простоте и дешевизне технологического оборудования, составление технологии сварки не требует глубоких профессиональных знаний и метрологического обеспечения. Этот универсальный способ применяется при монтажных работах и выпуске товарной продукции. Пост для ручной дуговой сварки может быть организован с минимальными капитальными затратами. Выпуск новой продукции может быть начат практически сразу.

Ручная электродуговая сварка штучными электродами применяется при выполнении коротких швов длиной до 1000 мм в конструкциях со стыковыми, тавровыми и нахлесточными соединениями. Толщина свариваемого металла может быть 10...50 мм, при этом возможна сварка как без разделки кромок (для малых толщин), так и с разделкой кромок (для больших толщин). Также ручная дуговая сварка штучными электродами применяется при исправлении дефектов сварки, в том числе, и в сварных швах, выполненных другими способами сварки [1], [18].

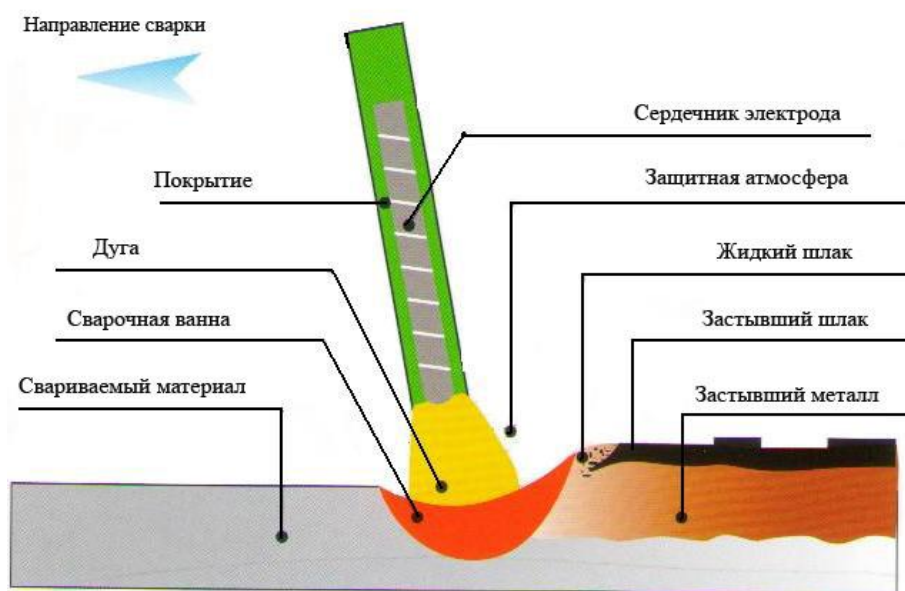


Рисунок 16 – Схема процесса ручной дуговой сварки штучными электродами

Применение самозащитной порошковой проволоки позволяет отказаться от использования газовой аппаратуры (редукторы, смесители газов, баллоны, осушители, шланги), которые в значительной мере снижают мобильность сварщика [17], [23].

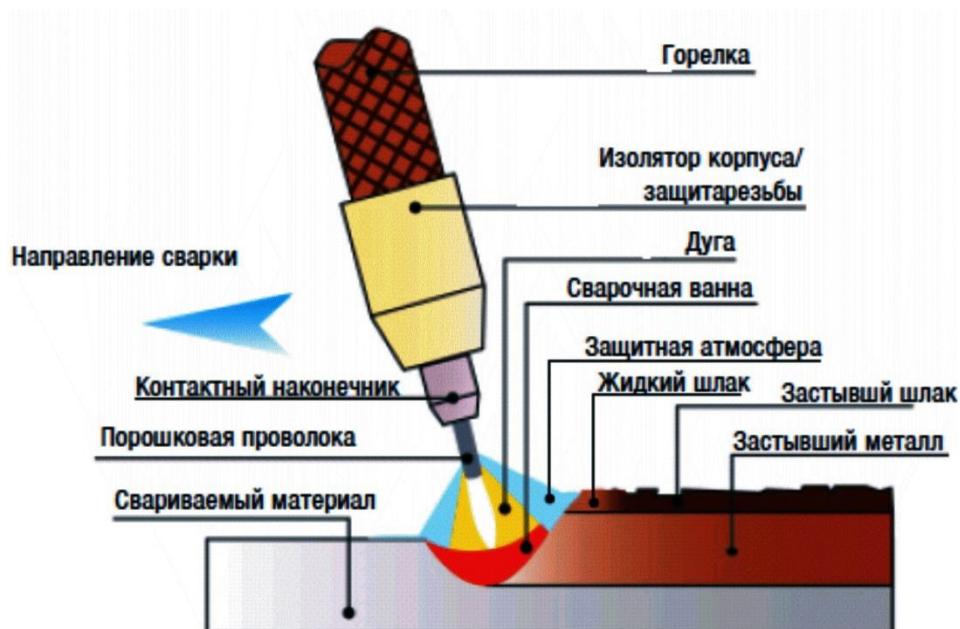


Рисунок 17 – Схема процесса сварки самозащитной порошковой проволокой

Недостатками сварки самозащитной порошковой проволокой являются: необходимость удаления шлаковой корки с поверхности шва, высокая стоимость порошковой проволоки, сильное порообразование и возможность получения дефектов в виде пор и шлаковых включений, необходимость борьбы с заломами сварочной проволоки из-за её излишней мягкости, неравномерное плавление оболочки и сердцевины сварочной проволоки.

Механизированная сварка проволокой сплошного сечения в среде защитных газов, схема выполнения которой представлена на рисунке 18, получила широкое распространение при выполнении сварных конструкций. Этот высокопроизводительный способ сварки продолжает совершенствоваться. В числе преимуществ способа следует отметить, во-первых, возможность визуального наблюдения за сваркой, которая

ограничена при ручной дуговой сварке. Во-вторых, при сварке в смеси защитных газов практически не образуется шлаковая корка, что существенно повышает производительность из-за отсутствия необходимости промежуточной зачистки слоёв сварного шва. В третьих, следует отметить возможность сварки в различных пространственных положениях, обусловленную низкой текучестью сварного шва по сравнению со сваркой порошковой проволокой.

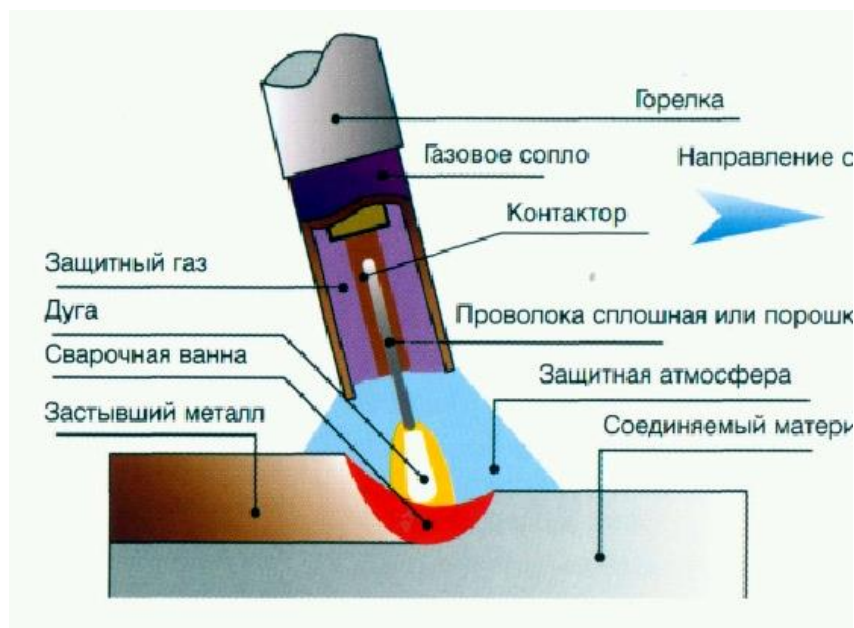


Рисунок 18 – Схема процесса сварки в среде защитных газов плавящимся электродом

Несмотря на явные преимущества, сварка в среде защитных газов имеет ряд недостатков. Первым недостатком является интенсивное разбрызгивание при переходе на формированные режимы сварки. Это не только увеличивает расход сварочных материалов, но снижает производительность и ухудшает качество сварки. Вторым недостатком является опасность возникновения трещин из-за пониженной текучести расплавленного металла. Также следует отметить, что необходимость применения механизма подачи проволоки и газовых баллонов существенно снижает мобильность способа.

Значительные усилия исследователей направлены на повышение эффективности механизированной и автоматической сварки в среде защитных газов посвящено большое количество работ [9], [14], [15], [26], [29]. Показано, что повышение качества и производительности сварки в защитных газах, расширение области её применения возможно при управляемом переносе расплавленного электродного металла в сварочную ванну.

На основании анализа возможных способов сварки принято решение заменить ручную дуговую сварку штучными электродами (базовый вариант технологии сварки) на механизированную сварку в смеси защитных газов (проектный вариант технологии).

## **2.2 Повышение эффективности механизированной сварки в защитных газах**

Эффективность механизированной сварки в защитных газах как технологического процесса в значительной мере зависит от типа плавления и переноса электродного металла. Характер переноса влияет на поведение сварочной дуги, определяя её технологические характеристики (пространственную устойчивость, особенности металлургических реакций в сварочной ванне, тепловой баланс, угар и разбрызгивание). Также характер переноса электродного металла влияет на геометрию сварного шва, в частности, глубину проплавления [14].

Известно несколько типов переноса электродного металла при механизированной сварке в защитных газах [14], [15], в числе которых следует выделить основные: перенос с короткими замыканиями дугового промежутка; перенос без короткого замыкания дугового промежутка, струйный перенос и вращательно-струйный перенос. Кроме капель металл электрода переносится парами, этот процесс в большей или меньшей мере сопровождает все типы переноса. Кроме того, часто можно наблюдать

смешанный тип переноса. Кроме того, отдельно следует выделить импульсно-дуговой перенос по принципу «один импульс – одна капля» согласно рисунка 19.

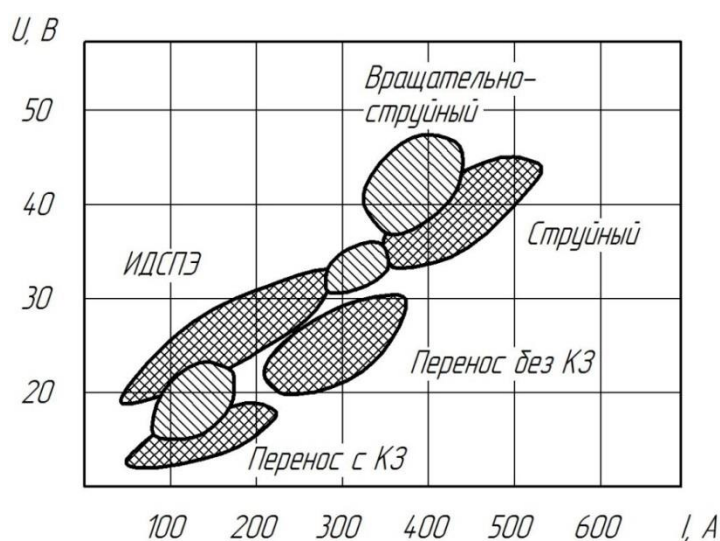


Рисунок 19 - Диапазон сварочных токов и напряжений на дуге при различных типах переноса металла

Каждый тип переноса электродного металла характеризуется диапазоном сварочных токов и напряжений на дуге согласно рисунка 19. В частности, импульсно-дуговой перенос имеет максимальную эффективность при токе сварки 60...300 А и напряжении на дуге – 16...32 В.

В ходе многолетних исследований выявлено влияние параметров процесса сварки на тип переноса электродного металла согласно рисунка 20. В числе таких параметров следует выделить: полярность сварочного тока, форма его импульса, состав электродной проволоки и характер её подачи. Также на тип переноса металла оказывают влияние различные возмущения. Например, при импульсно-дуговой сварке из-за уменьшения напряжения сети возможен переход от мелкокапельного переноса без коротких замыканий к мелкокапельному переносу с короткими замыканиями [26]. Также на характер переноса электродного металла может оказывать влияние загрязнение поверхности сварочной проволоки и магнитное дутьё.

Изменение состава газовой смеси и сварочной проволоки позволяет существенно повысить эффективность механизированной сварки [15], [29], делая возможным получение мелкокапельного переноса при меньших значениях сварочного тока.

Изменяя характер подачи сварочной проволоки, можно эффективно управлять каплепереносом при механизированной сварке [3], [10]. Также на каплеперенос оказывают влияние особенности применяемого при сварке источника питания.

Управление плавлением электродного металла и его переноса с варочную ванну может быть осуществлено множеством способов, на рисунке 21 представлены мировые производители сварочного оборудования, выпускающие источники питания с реализацией процесса переноса короткими замыканиями.

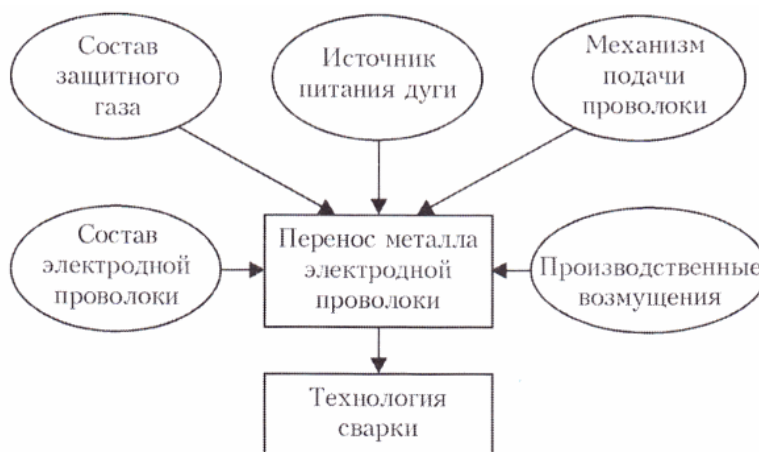


Рисунок 20 – Схема основных параметров сварочного процесса, воздействующих на перенос металла электрода

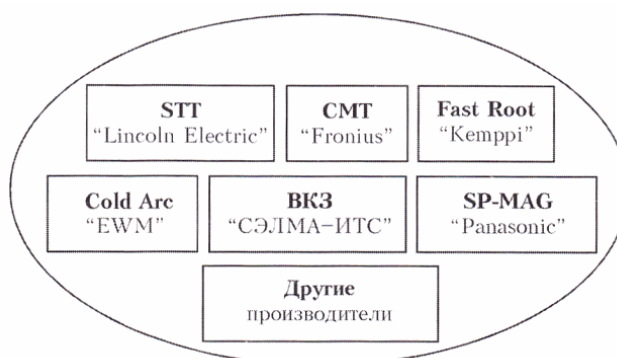


Рисунок 21 – Фирмы-производители оборудования для процесса сварки в защитных газах с короткими замыканиями



Рисунок 22 - Схема развития процесса ИДСПЭ

Особое место среди различных типов переноса электродного металла занимает управляемый импульсно-дуговой перенос [6], применение которого повышает эффективность сварочных процессов при сварке разнородных материалов, реализации переходных типов переноса металла, позволяет получать новые гибридные технологии сварки. На рисунке 22 представлена схема развития импульсно-дуговой сварки и области её применения.

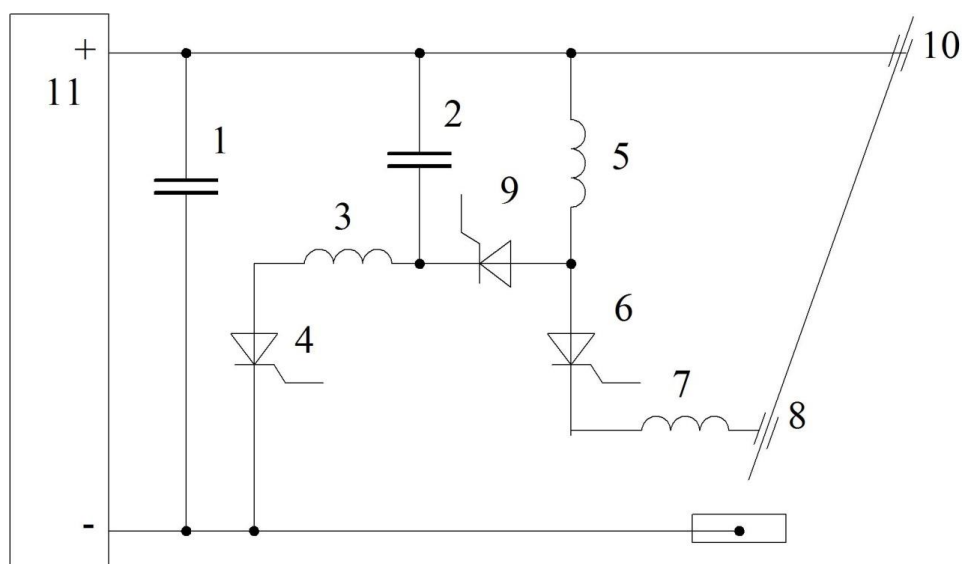
### 2.3 Способ импульсно-дуговой сварки

Для реализации импульсно-дуговой сварки предложено устройство [13], в состав которого, согласно рисунка 23, помимо источника питания постоянного тока 11 входит: фильтрующий и коммутирующий конденсаторы



1 и 2; зарядный, коммутирующий и силовой дроссели 3, 5 и 7; зарядный, силовой и коммутирующий тиристоры 4, 6 и 9; контактные наконечники 8 и 10.

Управление переносом электродного металла осуществляется за счёт импульсов тока в цепи: «+» источника постоянного тока 11 - коммутирующий дроссель 5 - силовой тиристор 6 - силовой дроссель 7 - второй контактный наконечник 8 - сварочная дуга – «-» источника постоянного тока ИП. Для обеспечения протекания тока паузы при отпирании коммутирующего тиристора 9 к аноду силового тиристора 6 прилагается обратное напряжение перезаряда коммутирующего конденсатора 2 через коммутирующий дроссель 5, предварительно заряженного с помощью зарядного дросселя 3 и зарядного тиристора 4.



1 - фильтрующий конденсатор; 2 - коммутирующий конденсатор; 3 - зарядный дроссель; 4 - зарядный тиристор; 5 - коммутирующий дроссель; 6 - силовой тиристор; 7 - силовой дроссель; 8, 10 - контактные наконечники; 9 - коммутирующий тиристор; 11 - источник питания

Рисунок 23 – Устройство для электродуговой сварки

В паузе сварочный ток протекает по цепи: плюс источника питания ИП - первый контактный наконечник 10 - участок электрода между контактными наконечниками 10 и 8 - сварочная дуга - минус источника постоянного тока ИП. Сварочный ток в паузе ограничивается за счет сопротивления вылета

электрода между контактными наконечниками при этом теплота, выделяемая в вылете электрода, пойдет на повышение начальной температуры торца электрода, и во время следующих импульсов потребуется меньшее количество энергии на расплавление капель электродного металла.

Теплота, выделяемая на участке между контактными наконечниками 8 и 10, позволяет уменьшить удельное теплосодержание капель расплавленного электродного металла, в два раза повысить производительность сварки и коэффициент полезного действия системы импульсного питания сварочной дуги, а также устранить разбрызгивание при сварке.

На рисунке 24 показаны осциллограммы тока и напряжения при импульсно-дуговой сварке. Горение дежурной дуги происходит на интервале времени  $t_1-t_2$ , при этом ток дежурной дуги минимален и составляет 15...40 А. за этот промежуток времени происходит уменьшение дугового промежутка за счёт подачи электродной проволоки. В момент времени  $t_2$  включается импульс сварочного тока. В момент времени  $t_3$  происходит отрыв капли электродного металла. На интервале времени  $t_3-t_4$  осуществляется дозирование энергии на расплавление следующей капли электродного металла.

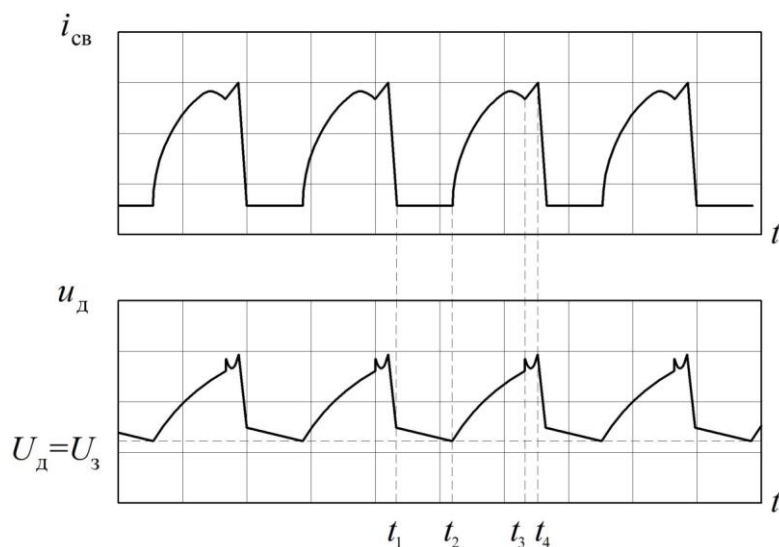


Рисунок 24 – Управление током в предлагаемом способе импульсно-дуговой сварки

Горение дуги с импульсным управлением позволяет:

- успешно подавлять разбрызгивание электродного металла;
- существенно повысить проплавляющую способность дуги;
- гарантированно формировать обратный валик необходимых размеров;
- уменьшить зону термического влияния;
- существенно снизить вероятность получения подрезов, пор, несплавлений и непроваров.

## **2.4 Требования к выполнению операций проектного технологического процесса сварки**

Перед началом сварки проверяется:

- наличие у сварщика допуска к выполнению данной работы;
- качество сборки или наличие соответствующей маркировки на собранных элементах, подтверждающих надлежащее качество сборки;
- состояние кромок и прилегающих поверхностей;
- наличие документов, подтверждающих положительные результаты контроля сварочных материалов;
- состояние сварочного оборудования или наличие документа, подтверждающего надлежащее состояние оборудования;
- температура предварительного подогрева свариваемых деталей (если таковой предусмотрен НТД или ПТД).

Требования к помещению:

- сварку необходимо выполнять в отапливаемых цехах, обеспечивающих положительную температуру свариваемой конструкции и окружающего воздуха.
- если поддержание положительной температуры в помещении, где проходит сварка, невозможно, в порядке исключения допускается вести сварку при температуре не ниже  $-10^{\circ}\text{C}$ . При этом обязателен предварительный подогрев кромок и прилегающих к ним участков основного

металла. Температура предварительного подогрева 120...150 °С. Ширина предварительного подогрева составляет не менее 60 мм, если толщина свариваемого металла не превышает 25 мм и не менее 80 мм – если толщина свариваемого металла превышает 25 мм.

Требования к сварочной проволоке:

- качество сварочной проволоки должно соответствовать ГОСТ 2264;
- сварочные проволоки в зависимости от условий поставки могут быть полированными, омеднёнными или осветлёнными;
- упаковка сварочных материалов должна быть проведена согласно требованиям ТУ на эти материалы. Обязательно наличие сертификатов предприятия-изготовителя, которые удостоверяют качество поставленной сварочной проволоки;
- очищенная и намотанная в кассеты сварочная проволока должна храниться в закрытых помещениях, температура в которых не опускается ниже +15 °С. При этом на каждой кассете с проволокой на видном месте необходимо выполнить маркировку несмываемой краской;
- при намотке проволоки на кассеты следят за тем, чтобы не было перегибов.

Для сварки применяется проволока сплошного сечения диаметром 1,2 мм Св-08ГСМТ, состав и свойства которой приведены в таблицах 8 и 9, а внешний вид – на рисунке 25а.

В качестве защитной среды применяем смесь защитных газов (Ar 70% + CO<sub>2</sub> 30%), баллоны с которой представлены на рисунке 2.5б.

Сварку выполняют постоянным током обратной полярности («+» - на электроде). Параметры режима сварки зависят от выполняемого соединения и приведены в таблице 10.

Для подачи сварочной проволоки предлагаем применять механизм подачи МПК-4-2, представленный на рисунке 26а. В качестве источника

питания сварочной дуги применим выпрямитель ВДУ-3020, представленный на рисунке 26б.

Таблица 8 – Химический состав проволоки Св-08ГСМТ

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti
0,06-0,11	0,40-0,70	1,0-1,3	<0,30	<0,30	0,2-0,4	0,05-0,12

Таблица 9 – Механические свойства наплавленного металла проволокой Св-08ГСМТ

Предел текучести $\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup>	Предел прочности $\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение $\delta$ , %	Ударная вязкость КСЧ	
			°С	Дж/см <sup>2</sup>
448	560	24	-20 °С	80
			-40 °С	60

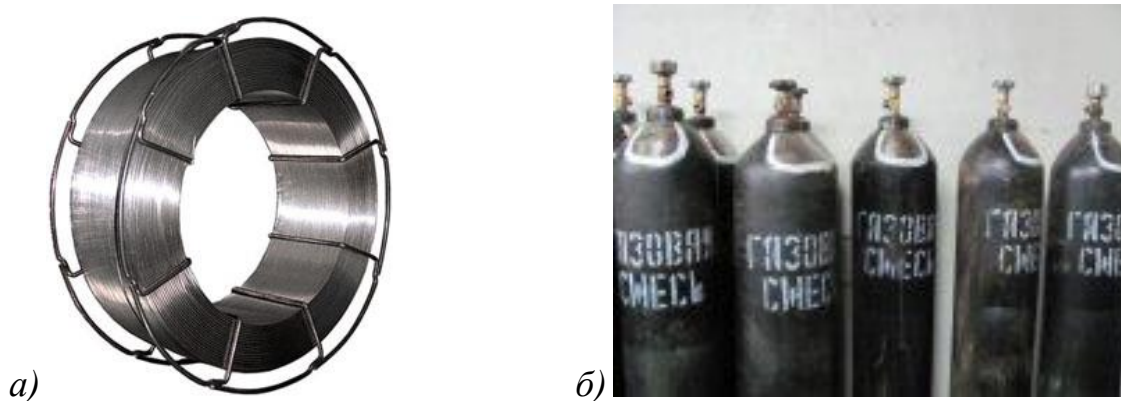


Рисунок 25 – Сварочные материалы: намотанные кассеты с омеднённой сварочной проволокой Св-08ГСМТ (а) и баллоны с защитным газом (б)

Таблица 10 – Параметры режима механизированной сварки в смеси защитных газов проволокой сплошного сечения

Толщина металла и катета шва, мм	Диаметр проволоки, мм	Проходы	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Расход газа, л/мин
Стыковое, S=14...28 мм	1,2	первый	200...220	24...26	24...28	20...24
		последующие	240...280	24...26	22...24	20...24
Тавровое, К=6	1,2	первый	140...180	22...24	26...28	18...22
		последующие	-	-	-	-

Стыковое соединение при укрупнении листовых полос выполняется согласно С17 по ГОСТ 14771, как показана на рисунке 27. Тавровое соединение при наложении прихваток в процессе сборки и сварки профилей (пояса, стойки и раскосы) выполняется согласно Т1 по ГОСТ 14771. Нахлесточное соединение при наложении фасонок выполняется согласно Н1 по ГОСТ 14771.

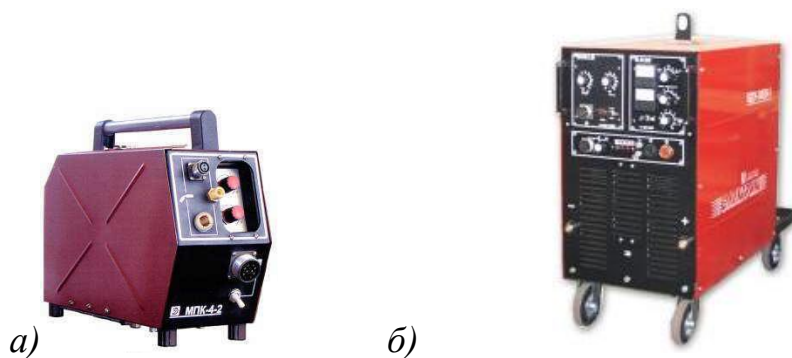


Рисунок 26 – Применяемое сварочное оборудование: механизм подачи МПК-4-2 (а) и выпрямитель ВДУ-3020 (б)

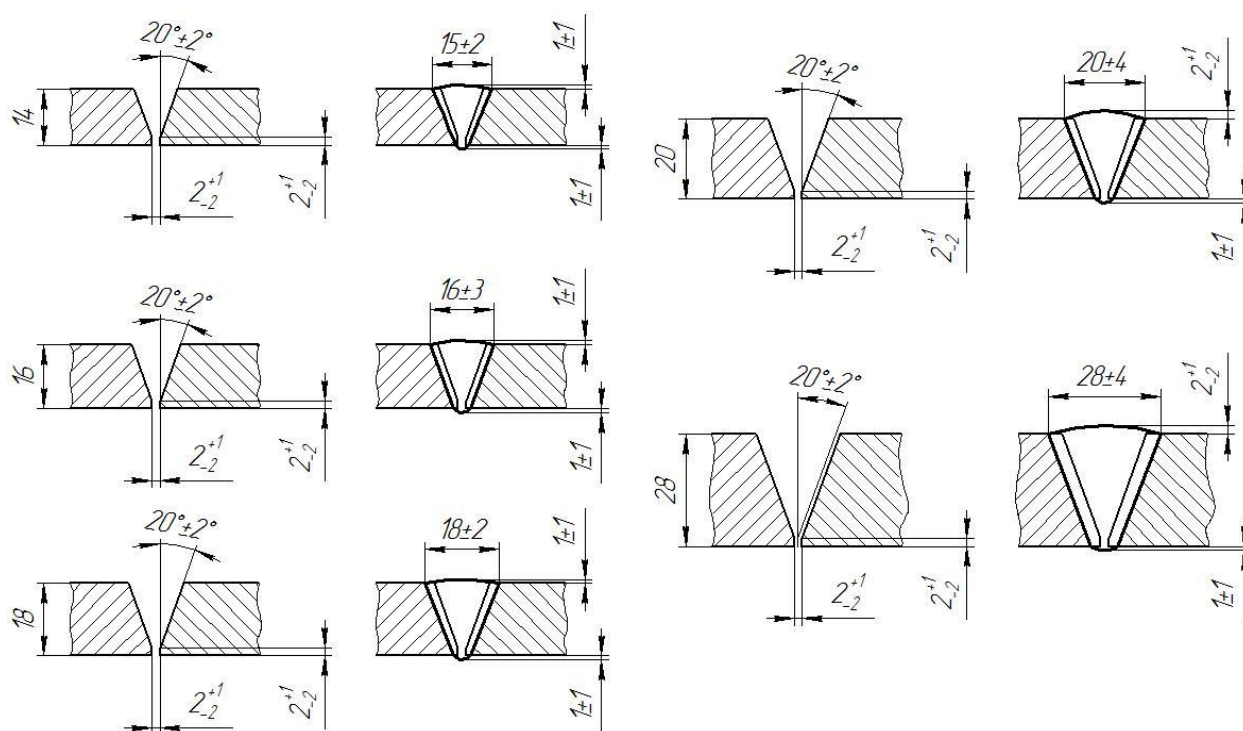


Рисунок 27 – Разделка кромок и форма шва для стыкового соединения при укрупнении листовых заготовок

В процессе сварки проверяется:

- режим сварки;
- последовательность наложения швов;
- размеры накладываемых слоев шва и окончательные размеры шва;
- выполнение специальных требований, предписанных ПТД;
- наличие клейма сварщика на сварном соединении после окончания сварки.

Контроль качества сварных соединений стальных конструкций производится:

- при выполнении прихваточных швов - внешним осмотром с проверкой геометрических размеров и формы швов в объеме 100 %;
- при выполнении стыковых швов - внешним осмотром с проверкой геометрических размеров и формы швов в объеме 100 %; неразрушающими методами (радиографированием или ультразвуковой дефектоскопией) в объеме не менее 30 % длины швов.

Результаты контроля качества сварных соединений стальных конструкций должны отвечать требованиям нормативной документации. Контроль размеров сварного шва и определение величины выявленных дефектов следует производить измерительным инструментом, имеющим точность измерения  $\pm 0,1$  мм, или специальными шаблонами для проверки геометрических размеров швов. При внешнем осмотре рекомендуется применять лупу с 5...10-кратным увеличением. При внешнем осмотре качество сварных соединений конструкций должно удовлетворять требованиям. Трещины всех видов и размеров в швах сварных соединений конструкций не допускаются и должны быть устранены с последующей заваркой и контролем.

Контроль швов сварных соединений конструкций неразрушающими методами следует проводить после исправления недопустимых дефектов, обнаруженных внешним осмотром. Выборочному контролю швов сварных соединений, качество которых согласно проекту требуется проверять неразрушающими физическими методами, должны подлежать участки, где

наружным осмотром выявлены дефекты, а также участки пересечения швов. Длина контролируемого участка не менее 100 мм.

### **Выводы по второму разделу**

При анализе альтернативных способов сварки, которые могут быть применены при выполнении сварных швов арочной фермы железнодорожного моста, были рассмотрены: ручная электродуговая сварка, механизированная сварка самозащитной порошковой проволокой, механизированная сварка в защитных газах.

Анализ преимуществ и недостатков каждого способа сварки позволил обосновать замену ручной дуговой сварки штучными электродами (применяется в базовом варианте технологии) на механизированную сварку проволокой сплошного сечения в защитных газах.

Рассмотрены пути повышения эффективности механизированной сварки в защитных газах. На основании анализа источников научно-технической информации принято решение использовать сварку с импульсным управлением дугой, для чего предложено использовать устройство [13]. В результате ожидается повышение производительности сварки в два раза, снижение разбрызгивания и повышение качества сварных соединений.

Приведены описания операций технологического процесса сборки и сварки конструкции, параметры режима обработки и оборудование для осуществления проектной технологии.

Для достижения поставленной цели необходимо оценить предлагаемые решения с точки зрения отрицательного влияния на окружающую среду и рабочий персонал. Также следует оценить затраты на внедрение предлагаемых технологических решений и потенциальный экономический эффект при принятии в производство проектной технологии сварки рассматриваемой конструкции.



### **3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса**

#### **3.1 Технологическая характеристика объекта**

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности выполнения сварочных работ при изготовлении арочной фермы железнодорожного моста. Проектная технология предусматривает применение механизированной сварки в смеси защитных газов проволокой сплошного сечения и автоматической сварки под флюсом. Выполнение операций проектного технологического процесса предусматривает возникновение опасных и вредных производственных факторов, действие которых на персонал может привести к нежелательным последствиям.

Исходя из этого, в настоящем разделе выпускной квалификационной работы следует выявить опасные и вредные факторы, которые сопровождают предлагаемую к реализации проектную технологию, оценить возможность защиты от них с применением стандартных средств и мероприятий. Далее следует обосновать возможность внедрения проектной технологии в производство.

Проектная технология предусматривает последовательное выполнение операций согласно таблице 11: входной контроль, заготовительная (правка, очистка, разметка и резка, подготовка кромок), укрупнение заготовок, сборки и прихватка поясов, раскосов и стоек, сварка поясов, раскосов и стоек, сборка и сварка узловых соединений, контроль качества.

Для выполнения первой операции применяются: кран-балка, набор строп, линейка металлическая 1000 мм, карманный фонарик, маркер по металлу, индикатор. Для выполнения второй операции применяются: листоправильная машина LP4-30-3000, линейка металлическая 1000 мм,

угольник, переносная пескоструйная установка DBS-200, ножницы гильотинные НГ-3225.02, кромкострогальная машина ВВJ-14.

Таблица 11 - Технологический паспорт технического объекта

Составляющая технологический процесс операция и перечень выполняемых работ	Должность работника, который выполняет технологическую операцию	Технологическое оборудование, применяемое для выполнения операции	Вспомогательные материалы и вещества, применяемые для выполнения операции
1) входной контроль	Дефектоскопист	1) кран-балка; 2) набор строп; 3) линейка металлическая 1000 мм; 4) карманный фонарик, 5) маркер по металлу, 6) индикатор	Рукавицы
2) заготовительная	Слесарь-сборщик	1) листопрямительная машина LP4-30-3000 2) линейка металлическая 1000 мм 3) угольник; 4) переносная пескоструйная установка DBS-200; 5) ножницы гильотинные НГ-3225.02; 6) кромкострогальная машина ВВJ-14	1) капроновая струна; 2) маркер по металлу; 3) СОЖ; 4) резцы
3) укрупнение заготовок 4) сборка и прихватка	Слесарь-сборщик, электросварщик	1) универсальная сборочная оснастка; 2) струбцины; 3) источник питания ВДУ-3020; 4) механизм подачи МПК-4-2; 5) угловая шлифовальная машинка	1) Проволока Св-08ГСМТ ; 2) Защитная смесь Ar+CO (70/30); 3) абразивный круг
5) сварка поясов, раскосов и стоек	Электросварщик	1) ложементы; 2) цепной кантователь; 3) сварочный портал ESAB Walltrac; 4) сварочная головка А6 ESAB; 5) сварочная головка А2 ESAB; 6) блок управления А2-А6 РЕК ESAB; 7) источник питания LAF-631; 8) зачистная машина	1) проволока Св-08ГА ; 2) флюс АН-348А; 3) абразивный круг
6) сборка и сварка узловых соединений	Электросварщик	1) универсальная сборочная оснастка; 2) струбцины; 3) источник питания ВДУ-3020; 4) механизм подачи МПК-4-2	1) проволока Св-08ГА ; 2) флюс АН-348А; 3) абразивный круг
7) контроль качества	Дефектоскопист	1) набор визуально-измерительного контроля; 2) ультразвуковой дефектоскоп А-1214; 3) набор стандартных образцов для УЗК	Кисточка, масло

Для выполнения третьей и четвертой операции применяются: универсальная сборочная оснастка, струбцины, источник питания ВДУ-3020, механизм подачи МПК-4-2, угловая шлифовальная машинка.

Для выполнения пятой операции применяются: ложементы, цепной кантователь, сварочный портал ESAB Walltrac, сварочная головка А6 ESAB, сварочная головка А2 ESAB, блок управления А2-А6 РЕК ESAB, источник питания LAF-631, зачистная машина.

Для выполнения шестой операции применяется: универсальная сборочная оснастка, струбцины, источник питания ВДУ-3020, механизм подачи МПК-4-2.

Для выполнения седьмой операции применяется: набор визуально-измерительного контроля, ультразвуковой дефектоскоп А-1214, набор стандартных образцов для УЗК.

### **3.2 Идентификация профессиональных рисков**

Идентификация профессиональных рисков предполагает поиск и формулировку опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих эксплуатацию технологического оборудования в соответствии с операциями рассматриваемого технологического процесса согласно таблице 12.

Первопричиной всех травм и заболеваний, связанных с процессом труда, является неблагоприятное воздействие на организм занятого трудом человека тех или иных факторов производственной среды и трудового процесса. Это воздействие, приводящее в различных обстоятельствах к различным результирующим последствиям, зависит от наличия в условиях труда того или иного фактора, его потенциально неблагоприятных для организма человека свойств, возможности его прямого или опосредованного действия на организм.

Таблица 12 – Идентификация профессиональных рисков

Составляющая технологический процесс операция и перечень выполняемых работ	Наименование опасного или вредного фактора, действие которого в условиях производства может составлять угрозу жизни и здоровью персонала	Перечень оборудования и других объектов производства, являющихся источником опасного или вредного фактора
1) входной контроль	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- мостовой кран;</li> <li>- острые кромки изделия;</li> <li>- инструменты</li> </ul>
2) заготовительная	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- листоправильная машина</li> <li>- линейка металлическая</li> <li>- угольник; - переносная пескоструйная установка</li> <li>- ножницы гильотинные</li> <li>- кромкострогальная машина</li> </ul>
3) укрупнение заготовок  4) сборка и прихватка  5) сварка поясов, раскосов и стоек  6) сборка и сварка узловых соединений	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;</li> <li>- опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги</li> <li>- инфракрасное излучение;</li> <li>- ультрафиолетовое излучение</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- универсальная сварочная оснастка;</li> <li>- струбицы;</li> <li>- угольник;</li> <li>- линейка;</li> <li>- сварочный источник питания;</li> <li>- зачистная машинка;</li> <li>- сварочная дуга;</li> <li>- сварочный аэрозоль;</li> <li>- нагретые края изделия</li> </ul>
7) контроль качества	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ультразвуковое излучение;</li> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ультразвуковой дефектоскоп</li> </ul>

### 3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 13 – Применяемые для уменьшения воздействия негативных производственных факторов средства и методики

Наименование опасного или вредного фактора, действие которого в условиях производства может составлять угрозу жизни и здоровью персонала	Технические средства и методики, применение которых по отношению к негативному фактору позволит полностью устранить его или уменьшить до приемлемого уровня	Средства индивидуальной защиты
1) острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;	1) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек; 2) проведение с персоналом инструктажа по технике безопасности	Спецодежда.
2) движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;	1) применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону; 2) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек	Спецодежда
3) повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;	1) применение устройств местного удаления загрязнённого воздуха; 2) применение устройств общеобменной вентиляции рабочего пространства, позволяющих обеспечить подачу чистого воздуха извне	Средства защиты дыхательных путей
4) повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	1) организация защитного заземления; 2) проведение периодического инструктажа по технике безопасности; 3) периодический контрольный замер изоляции; 4) периодический контрольный замер сопротивления заземляющей цепи	Спецодежда
5) повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	1) проведение с персоналом инструктажа по технике безопасности ; 2) механизация и автоматизация основных и вспомогательных операций технологического процесса	Спецодежда
6) инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	1) применение защитных экранов; 2) применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону	Спецодежда
7) ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений	1) применение защитных экранов; 2) применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону	Спецодежда.
8) ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья	1) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек; 2) уменьшение времени воздействия негативного фактора на оператора	Спецодежда

### 3.4 Обеспечение пожарной безопасности

Разрабатываемый перечень мероприятий направлен на защиты персонала и имущества предприятия от опасных факторов возможного пожара. Для этого следует выполнить идентификацию опасных факторов пожара и предложить стандартные средства и методики для их устранения. В соответствии с классификацией пожаров возможный на рассматриваемом техническом объекте пожар может быть отнесён к классу «Е» - горение веществ и материалов под напряжением. Анализ опасных факторов такого пожара, приведённых в таблице 14, позволит в дальнейшем сформулировать технические предложения, представленные в таблице 15.

Предлагаемые технические средства должны обладать достаточной эффективностью против рассматриваемых опасных факторов пожара. Эти средства должны основываться на действующей нормативной документации, учитывать особенности рассматриваемого технологического процесса.

Таблица 14 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Наименование участка	Наименование оборудования	Классификация по виду горящего вещества	Наименование основных опасных факторов пожара	Наименование вторичных опасных факторов пожара
Участок, на котором осуществляется сборка и сварка	Стойки, источник питания сварочной дуги, сварочный полуавтомат, сварочный трактор, дефектоскоп, машинка шлифовальная	пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)	Резкое повышение температуры на участке и вокруг него; выделение при горении токсичных продуктов и угарного газа; выделение аэрозолей, снижающих видимость на участке и вокруг него.	Короткие замыкания на оборудовании, запитанном высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения.

Таблица 15 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

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

Полноценная защита работающего персонала и имущества предприятия от вероятностного пожара обеспечивается при условии проведения соответствующих организационных мероприятий согласно таблице 16.

Таблица 16 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Наименование участка	Перечень мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Участок для сборки и сварки (механизированная и автоматическая сварка)	Инструктаж сотрудников производственного участка правилам предупреждения возгораний и действиям в случае возгорания, деловые игры с сотрудниками по тематике борьбы с пожарами.	На участке необходимо иметь первичные средства пожаротушения в достаточном количестве, должны быть защитные экраны, ограничивающие разлет искр.

### 3.5 Обеспечение экологической безопасности

Реализация предлагаемого технологического процесса помимо опасных и вредных производственных факторов приводит к возникновению опасных и вредных экологических факторов. Следовательно, в рамках выполнения экологического раздела следует выполнить идентификацию согласно таблице 17 этих негативных факторов и предложить меры защиты от этих факторов согласно таблице 18.

Таблица 17 – Идентификация опасных и вредных экологических факторов при реализации рассматриваемого технологического процесса

Анализируемый технологический процесс	Операции, осуществляемые в рамках анализируемого технологического процесса	Факторы, негативно влияющие на атмосферу	Факторы, негативно влияющие на гидросферу	Факторы, негативно влияющие на литосферу
Сборка и сварка (механизованная и автоматическая сварка)	Подготовительная операция, сборочная операция, операция сварки стыка, контрольные операции	Выделяемые в процессе горения сварочной дуги аэрозоли, частицы сажи и газообразные частицы	Химикаты, используемые в процессе проявления рентгеновской пленки и закрепления полученного изображения.	Упаковочный материал от присадочных материалов, мусор – бытовой и производственный.

Таблица 18 – Предлагаемые меры по борьбе с негативными экологическими факторами

Наименование технического объекта	Сварка
Мероприятия по исключению негативного действия на воздушную среду.	Оснащение вентиляционной системы фильтрами, позволяющими выполнить сбор и утилизацию выделяющихся при горении дуги вредных продуктов
Мероприятия по исключению негативного действия на водную среду.	Контроль утечек в гидросистеме приспособления или кантователя и незамедлительное их устранение.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Установка на участке сварки соответствующих емкостей для сбора отходов производственного цикла и при проведении повторных инструктажей подробное разъяснение необходимости складирования отходов производственного цикла в установленные емкости.



## **Выводы по экологическому разделу**

Настоящий раздел выпускной квалификационной работы посвящён поиску и анализу негативных производственных и экологических факторов, возникновение которых произойдёт при реализации предлагаемой технологии сборки и сварки рассматриваемого изделия.

Изучение особенностей технологического процесса сборки и сварки емкости цистерны с применением механизированной и автоматической сварки в среде защитных газов проволокой сплошного сечения позволило идентифицировать опасные и вредные производственные факторы. На основании этих выделенных факторов предложен ряд стандартных средств и методик, позволяющих устранить опасный фактор или уменьшить его влияние на персонал до приемлемого уровня.

Разработан перечень мероприятий для защиты персонала и имущества предприятия от возможного пожара, для чего идентифицированы опасные факторы пожара, предложены стандартные средства и методики для их устранения.

Анализ экологичности предлагаемого технологического процесса позволил установить, что внедрение в производство предлагаемых решений приведёт к возникновению негативных воздействий на окружающую среду (атмосферу, гидросферу и литосферу).

В настоящем разделе предложены мероприятия, которые призваны уменьшить влияние негативных экологических факторов.

## **4 Оценка экономической эффективности проектной технологии**

### **4.1 Исходная информация для выполнения экономической оценки предлагаемых технических решений**

В настоящей выпускной квалификационной работе предложен ряд мероприятий по повышению эффективности сварки арочной фермы железнодорожного моста. Принято решение построение проектной технологии сварки выполнять на базе механизированной сварки проволокой сплошного сечения в защитных газах и автоматической сварки под флюсом. Для повышения эффективности механизированной сварки предложено применять импульсное управление горением дуги.

При выполнении базовой технологии сварки применяется ручная дуговая сварка штучными электродами. Для выполнения прихваток в проектной технологии предложено ручную дуговую сварку заменить на механизированную сварку в среде защитных газов.

Такая замена способа сварки позволяет существенно повысить производительность выполнения сварочных работ. Существенное повышение стабильности качества также приводит к повышению производительности, так как уменьшается время, затрачиваемое на исправление дефектов сварки.

Таким образом, в настоящем разделе следует оценить затраты на внедрение предлагаемых технологических решений и потенциальный экономический эффект при принятии в производство проектной технологии сварки рассматриваемой конструкции.

Для выполнения экономических расчётов следует привести исходные данные по базовой и проектной технологиям согласно таблице 19.

Таблица 19 – Исходные данные для выполнения расчётов по оценке экономической эффективности проектной технологии по отношению к базовой технологии

Экономический показатель	Принятое в расчётной формуле буквенное обозначение показателя	Единица измерения экономического показателя	Значение экономического показателя применительно к базовой и проектной технологиям	
			Базовая технология	Проектная технология
1	2	3	4	5
Разряд занятого в выполнении технологических операций персонала	$P_p$	-	V	V
Величина часовой тарифной ставки занятого в выполнении технологических операций персонала	$Cч$	Р/час	200	200
Суточное количество смен, предусмотренных для выполнения технологических операций	$K_{см}$	-	1	1
Принятые значения коэффициентов для расчёта фонда заработной платы:				
- доплат к основной заработной плате	$K_{доп}$	%	12	12
- отчислений на дополнительную заработную плату	$K_{д}$	-	1,88	1,88
- отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
- выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования, которое используется для выполнения операций технологического процесса	$Цоб$	Руб.	11 млн.	14 млн.
Принятое значение установленной мощности оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	$M_{уст}$	кВт	100	140
Принятые значения коэффициентов для расчёта расходов на оборудование :				
- норма амортизации оборудования	$На$	%	21,5	21,5
- коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
- коэффициент затрат на монтаж и демонтаж	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
- стоимость электрической энергии для питания оборудования при выполнении технологических операций	$Цэ-э$	Р/ кВт	3,02	3,02

Продолжение таблицы 19

1	2	3	4	5
- коэффициент полезного действия оборудования для выполнения технологических операций	КПД	-	0,7	0,85
Общая площадь под оборудование, выполняющее операции рассматриваемого технологического процесса	$S$	$m^2$	900	900
Принятые значения коэффициентов и показателей для расчёта расходов на площади:				
- стоимость эксплуатации площадей	$C_{\text{эксп}}$	$(P/m^2)/\text{год}$	2000	2000
- цена производственных площадей	$C_{\text{пл}}$	$P/m^2$	30000	30000
- норма амортизации производственных площадей	$Ha_{\text{пл}}$	%	5	5
- коэффициента дополнительной производственной площади	$K_{\text{пл}}$	-	3	3
Принятые значения коэффициентов и показателей для расчёта заводской себестоимости:				
- коэффициент цеховых расходов	$K_{\text{цех}}$	-	1,5	1,5
- коэффициент заводских расходов	$K_{\text{зав}}$	-	1,15	1,15
- коэффициента эффективности капитальных вложений	$E_n$	-	0,33	0,33

#### 4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования

Выполнение операций базового и проектного технологического процессов сварки изделия предусматривает применение оборудования и рабочего персонала. Для расчёта фонда заработной платы и затрат на оборудование и производственные площади требуется определить фонд времени работы оборудования. Для базового и проектного вариантов технологии фонд времени работы оборудования будет одинаков.

Значения параметров и коэффициентов примем с учётом исходных данных согласно таблице 19: суммарное число рабочих дней в календарном году  $D_p = 277$  дней, длительность рабочей смены  $T_{\text{см}} = 8$  часов, количество предпраздничных дней  $D_{\text{п}} = 7$  дней, уменьшение продолжительности рабочей смены в часах в предпраздничные дни  $T_{\text{п}} = 1$  час, принятое для

рассматриваемого технологического процесса число рабочих смен  $K_{см} = 1$ . Таким образом, рассчитываем фонд времени по зависимости:

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

Расчёты, выполненные согласно (1) после подстановки численных значений параметров и коэффициентов из исходных данных:

$$F_H = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209 \text{ ч.}$$

Эффективный фонд времени сварочного оборудования, которое применяется для выполнения операций базового и проектного вариантов технологического процесса определяется с учётом процента планируемых потерь рабочего времени  $B = 7 \%$ :

$$F_э = F_H (1 - B/100). \quad (2)$$

Расчёты, выполненные согласно (2) после подстановки численных значений параметров и коэффициентов из исходных данных:

$$F_э = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054 \text{ ч.}$$

### 4.3 Расчёт штучного времени

Штучное время, затрачиваемое на выполнение операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам технологии, определяем с учётом нормирования труда и результатов анализа технологических карт. Штучное время  $t_{шт}$  является суммой затрат времени: машинного (выполнение основных операций технологического процесса) времени  $t_{маш}$ ; вспомогательного (выполнение вспомогательных и подготовительных операций технологического процесса) времени  $t_{всп}$ ; времени обслуживания (на текущий и мелкий ремонт оборудования)  $t_{обсл}$ ; времени  $t_{отд}$  на личный отдых работников, задействованных в выполнении

операций технологического процесса; подготовительно-заключительного времени  $t_{п-з}$ :

$$t_{шт} = t_{МАШ} + t_{ВСП} + t_{ОБСЛ} + t_{ОТЛ} + t_{П-З}. \quad (3)$$

Машинное время, рассчитанное для базового и проектного вариантов технологии согласно (3), составит:

$$t_{шт.баз} = 110 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 193 \text{ ч.}$$

$$t_{шт.проектн.} = 70 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 122 \text{ ч.}$$

Годовая программа  $П_{Г}$  выполнения сварки может быть рассчитана исходя из рассчитанного согласно (2) эффективного фонда времени  $F_{э}$  и согласно (3) штучного времени  $t_{шт}$ :

$$П_{Г} = F_{э} / t_{шт}. \quad (4)$$

Готовая программа для базового и проектного вариантов технологии, рассчитанная согласно (4) после подстановки численных значений:

$$П_{Г.баз.} = 2054/193 = 10 \text{ арок за год;}$$

$$П_{Г.проектн.} = 2054/122 = 16 \text{ арок за год.}$$

Расчёт экономической эффективности проектной технологии будем выполнять для годовой программы  $П_{Г}=10$  изделий в год.

При этом необходимое количество  $n_{расч}$  оборудования для выполнения операций базового и проектного вариантов технологического процесса вычисляется с учётом коэффициента  $K_{вн}$  выполнения нормы (для базового и проектного варианта технологий принимаем  $K_{вн} = 1,03$ ):

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

Требуемое количество оборудования  $n_{расч}$  для базового и проектного вариантов технологии, рассчитанное согласно (5), составляет:

$$n_{РАСЧ.Б} = \frac{193 \cdot 10}{2054 \cdot 1,03} = 0,9, \quad n_{РАСЧ.ПР} = \frac{122 \cdot 10}{2054 \cdot 1,03} = 0,6.$$

Необходимое количество оборудования  $n_{пр}$ , которое следует задействовать в технологическом процессе по базовому и проектному вариантам, задаётся исходя из рассчитанных согласно (5) значений. На основании проведённых расчётов принимаем по одной единице оборудования для базового и проектного вариантов технологии ( $n_{пр} = 1$ ). Коэффициент  $K_3$  загрузки оборудования в этом случае составит:

$$K_3 = n_{расч}/n_{пр}. \quad (6)$$

Значения коэффициентов загрузки  $K_3$  для базового и проектного вариантов технологии составляют:

$$K_{3б} = 0,9/1 = 0,9,$$

$$K_{3п} = 0,6/1 = 0,6.$$

#### **4.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии**

Выполнение дуговой сварки предусматривает расходование сварочных материалов. При ручной дуговой сварке расходным материалов будут сварочные штучные электроды. При автоматической сварке под флюсом расходными материалами будут сварочная проволока и флюс. При механизированной сварке в среде защитных газов проволокой сплошного сечения расходными материалами будут защитная смесь газов и сварочная проволока.

Затраты  $M$  на сварочные материалы вычисляем с учётом нормы расходов  $H_p$ , цены материалов  $C_m$  и коэффициента  $K_{т-з}$  транспортно-заготовительных расходов:

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

Затраты на материалы, рассчитанные согласно (7) для базового и проектного вариантов технологии, составят:

$$M_{\text{баз.}} = 1984 + 18760 = 20744 \text{ руб.},$$

$$M_{\text{проектн.}} = 1008 + 1140 + 18760 = 20908 \text{ руб.}$$

Объём основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии, рассчитаем с учётом штучного времени  $t_{\text{шт}}$ , часовой тарифной ставки  $C_{\text{ч}}$  и коэффициента  $K_{\text{д}}$  доплат:

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

Основная заработная плата рабочих для базового и проектного вариантов технологии после подстановки значений в формулу (8) составляет:

$$Z_{\text{осн.баз.}} = 193 \cdot 200 \cdot 1,88 = 72568 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{осн.проектн.}} = 122 \cdot 200 \cdot 1,88 = 45872 \text{ руб.}$$

Объём дополнительной заработной платы  $Z_{\text{доп}}$  работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии, рассчитаем с учётом основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  и коэффициента  $K_{\text{доп}}$  дополнительных доплат ( $K_{\text{доп}} = 12 \%$ ):

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

Дополнительная заработная плата  $Z_{\text{доп}}$  работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии, рассчитанная согласно (9) после подстановки значений составляет:

$$Z_{\text{доп.базов.}} = 72568 \cdot 12 / 100 = 8708 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{доп.проектн.}} = 45872 \cdot 12 / 100 = 5504 \text{ руб.}$$

Фонд заработной платы  $\Phi ЗП$  вычисляется как сумма основной  $Z_{\text{осн}}$  и дополнительной  $Z_{\text{доп}}$  работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии:

$$\Phi ЗП_{\text{базов.}} = 72568 + 8708 = 81276 \text{ руб.},$$

$$\Phi ЗП_{\text{проектн.}} = 45872 + 5504 = 51376 \text{ руб.}$$



Объём отчислений  $O_{\text{сн}}$  из фонда заработной платы на социальные нужды определяем с учётом коэффициента  $K_{\text{сн}}$  отчислений на социальные нужды:

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

Отчисления на социальные нужды по базовому и проектному вариантам технологии после подстановки в (10) соответствующих значений:

$$O_{\text{сс баз.}} = 81276 \cdot 34 / 100 = 27634 \text{ руб.},$$

$$O_{\text{сс проектн.}} = 51376 \cdot 34 / 100 = 17548 \text{ руб.}$$

Затраты  $Z_{\text{об}}$  на оборудование, которое применяется для выполнения операций по базовому и проектному вариантам технологии, вычисляются как сумма затрат  $A_{\text{об}}$  на амортизацию и  $P_{\text{эз}}$  на электрическую энергию:

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

Величина  $A_{\text{об}}$  амортизации оборудования рассчитывается исходя из цены оборудования  $C_{\text{об}}$ , нормы амортизации  $H_{\text{а}}$ , машинного времени  $t_{\text{маш}}$ , и эффективного фонда времени  $F_{\text{э}}$  с использованием зависимости:

$$A_{\text{об}} = \frac{C_{\text{об}} \cdot H_{\text{а}} \cdot t_{\text{МАШ}}}{F_{\text{э}} \cdot 100}. \quad (12)$$

Амортизация оборудования, которое применяется для выполнения операций по базовому и проектному вариантам технологии, после подстановки в (12) соответствующих значений, составляет:

$$A_{\text{об. баз.}} = 11000000 \cdot 21,5 \cdot 193 / 2054 / 100 = 222222 \text{ руб.},$$

$$A_{\text{об. пр.}} = 14000000 \cdot 21,5 \cdot 122 / 2054 / 100 = 178782 \text{ руб.}$$

Расходы  $P_{\text{эз}}$  на электрическую энергию по базовому и проектному вариантам технологии рассчитываются с учётом установленной мощности оборудования  $M_{\text{уст}}$ , цены электрической энергии  $C_{\text{эз}}$  для предприятий, машинного времени  $t_{\text{маш}}$  и КПД оборудования:

$$P_{\text{э-э}} = \frac{M_{\text{уст}} \cdot t_{\text{маш}} \cdot Ц_{\text{э-э}}}{\text{КПД}} \quad (13)$$

Рассчитанные после подстановки в (13) соответствующих значений расходы на электрическую энергию по базовому и проектному вариантам технологии составляют:

$$P_{\text{ээ баз}} = 193 \cdot 100 \cdot 3,2 / 0,7 = 88228 \text{ руб.},$$

$$P_{\text{ээ пр}} = 122 \cdot 140 \cdot 3,2 / 0,85 = 64301 \text{ руб.}$$

Рассчитанные после подстановки в (11) соответствующих значений расходы на оборудование по базовому и проектному вариантам технологии составляют:

$$З_{\text{об баз}} = 222222 + 88228 = 310450 \text{ руб.},$$

$$З_{\text{об проектн.}} = 178782 + 64301 = 243083 \text{ руб.}$$

Технологическая себестоимость  $C_{\text{тех}}$  рассчитывается как сумма затрат на материалы  $M$ , фонда заработной платы  $\Phi ЗП$ , отчислений на социальные нужды  $O_{\text{сс}}$  и затрат на оборудование  $З_{\text{об}}$ :

$$C_{\text{ТЕХ}} = M + \Phi ЗП + O_{\text{сс}} + З_{\text{об}} \quad (14)$$

Рассчитанная после подстановки в (14) соответствующих значений технологическая себестоимость по базовому и проектному вариантам технологии составляет:

$$C_{\text{ТЕХБаз.}} = 20744 + 81276 + 27634 + 310450 = 440104 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ТЕХПроектн.}} = 20908 + 51376 + 17548 + 243083 = 332915 \text{ руб.}$$

Цеховая себестоимость  $C_{\text{цех}}$  рассчитывается с учётом технологической себестоимости  $C_{\text{тех}}$ , основной заработной платы  $З_{\text{осн}}$  и коэффициента  $K_{\text{цех}}$  цеховых расходов:

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

Рассчитанная после подстановки в (15) соответствующих значений цеховая себестоимость по базовому и проектному вариантам технологии составляет:

$$C_{\text{ЦЕХБаз.}} = 440104 + 1,5 \cdot 72568 = 440104 + 108852 = 548956 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЦЕХПроектн.}} = 332915 + 1,5 \cdot 45872 = 332915 + 68808 = 401723 \text{ руб.}$$

Заводская себестоимость  $C_{\text{зав}}$  рассчитывается с учётом цеховой себестоимости  $C_{\text{цех}}$ , основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  и коэффициента  $K_{\text{зав}}$  заводских расходов:

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

Рассчитанная после подстановки в (16) соответствующих значений заводская себестоимость по базовому и проектному вариантам технологии составляет:

$$C_{\text{ЗАВБаз.}} = 548956 + 1,15 \cdot 72568 = 548956 + 83453 = 632409 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЗАВПроектн.}} = 401723 + 1,15 \cdot 45872 = 401723 + 52753 = 454476 \text{ руб.}$$

Калькуляция заводской себестоимости для базового и проектного вариантов технологии сведена в таблицу 20.

Таблица 20 – Калькуляция технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки

Наименование экономического показателя	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант технологии	Проектный вариант технологии
1. Затраты на материалы	$M$	20744	20908
2. Фонд заработной платы	$\Phi ЗП$	81276	51376
3. Отчисления на соц. нужды	$O_{\text{сн}}$	27634	17548
4. Затраты на оборудование	$Z_{\text{об}}$	310450	243083
5. Технологическая себестоимость	$C_{\text{тех}}$	440104	332915
6. Цеховые расходы	$P_{\text{цех}}$	108852	68808
7. Цеховая себестоимость	$C_{\text{цех}}$	548956	401723
8. Заводские расходы	$P_{\text{зав}}$	83453	52753
9. Заводская себестоимость	$C_{\text{зав}}$	632409	454476

#### 4.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии

Капитальные затраты  $K_{\text{общ. б.}}$  для базового варианта технологии рассчитываем с учётом остаточной стоимости оборудования  $Ц_{\text{об.б.}}$ , коэффициента загрузки оборудования  $K_{з. б.}$  рассчитанного для базового варианта согласно (6):

$$K_{\text{общ. б.}} = Ц_{\text{ОБ.Б}} \cdot K_{з. б.} \quad (17)$$

Остаточную стоимость  $Ц_{\text{об.б.}}$  оборудования для базового варианта рассчитаем с учётом рыночной стоимости оборудования  $Ц_{\text{перв.}}$ , срока службы оборудования  $T_c$  и нормы амортизации  $H_a$  оборудования:

$$Ц_{\text{об.б.}} = Ц_{\text{ПЕРВ.}} - (Ц_{\text{ПЕРВ.}} \cdot T_{\text{СЛ}} \cdot H_A / 100). \quad (18)$$

Остаточная стоимость оборудования, рассчитанная после подстановки в (18) соответствующих значений, составляет:

$$Ц_{\text{ОБ.Баз.}} = 11000000 - (11000000 \cdot 2 \cdot 21,5 / 100) = 6270000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{ОБЩБаз.}} = 1 \cdot 6270000 \cdot 0,9 = 5643000 \text{ руб.}$$

Капитальные затраты  $K_{\text{общ. пр.}}$  для проектного варианта технологии рассчитываем как сумму вложений в оборудование  $K_{\text{об. пр.}}$ , вложений в производственные площади  $K_{\text{пл. пр.}}$ , сопутствующих вложений  $K_{\text{соп.}}$ :

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

Капитальные вложения  $K_{\text{об. пр.}}$  в оборудование для выполнения операций по проектному варианту технологии рассчитываются с учётом цены оборудования  $Ц_{\text{об. пр.}}$ , коэффициента транспортно-заготовительных расходов  $K_{\text{ТЗ}}$  и коэффициента загрузки оборудования  $K_{\text{зп}}$  по проектному варианту:

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

Величина капитальных вложений в оборудование после подстановки в (20) соответствующих значений составляет:

$$K_{\text{об.пр.}} = 14000000 \cdot 1,05 \cdot 0,6 = 8820000 \text{ руб.}$$

Сопутствующие капитальные вложения  $K_{\text{соп.}}$  по проектному варианту технологии рассчитываются с учётом расходов на демонтаж  $K_{\text{дем}}$  базового оборудования и расходов на монтаж  $K_{\text{монт}}$  проектного оборудования:

$$K_{\text{соп.}} = K_{\text{дем}} + K_{\text{монт.}} \quad (21)$$

Расходы на демонтаж  $K_{\text{дем}}$  и монтаж  $K_{\text{монт}}$  рассчитываем с учётом стоимости оборудования  $C_{\text{б}}$  и  $C_{\text{пр}}$  по базовому и проектному вариантам, коэффициентов  $K_{\text{д}}$  и  $K_{\text{м}}$  на демонтаж и монтаж оборудования:

$$K_{\text{дем}} = C_{\text{об. б.}} \cdot K_{\text{д}}, \quad (22)$$

$$K_{\text{монт}} = C_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{м}}. \quad (23)$$

Сопутствующие капитальные вложения при проектном варианте технологии, рассчитанные после подстановки в (21), (22) и (23) соответствующих значений:

$$K_{\text{дем}} = 11000000 \cdot 0,05 = 550000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{монт}} = 14000000 \cdot 0,05 = 700000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{соп.}} = 550000 + 700000 = 1250000 \text{ руб.}$$

Капитальные затраты для проектного варианта, рассчитанные после подстановки в (19) соответствующих значений:

$$K_{\text{общ.пр.}} = 8820000 + 1250000 = 10070000 \text{ руб.}$$

Дополнительные капитальные вложения  $K_{\text{доп}}$  рассчитываем исходя из капитальных затрат  $K_{\text{общ.пр.}}$  и  $K_{\text{общ.б.}}$  для проектного и базового вариантов технологии:

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

$$K_{\text{доп}} = 10070000 - 5643000 = 4427000 \text{ руб.}$$

Величину удельных капитальных вложений  $K_{уд}$  рассчитываем с учётом годовой программы  $П_T$ :

$$K_{уд} = \frac{K_{общ.}}{П_T}, \quad (25)$$

После подстановки в (25) соответствующих значений:

$$K_{удБаз.} = 5643000/10 = 564300 \text{ руб./ед.};$$

$$K_{удПроектн.} = 10070000/10 = 1007000 \text{ руб./ед.}$$

#### 4.6 Показатели экономической эффективности

Расчёт снижения трудоёмкости  $\Delta t_{шт}$  при внедрении в производство проектной технологии выполним с учётом штучного времени  $t_{шт.б.}$  и  $t_{шт.пр.}$  по базовому и проектному вариантам:

$$\Delta t_{шт} = \frac{t_{штБ} - t_{штПР}}{t_{штБ}} \cdot 100\% \quad (26)$$

Расчётное снижение трудоёмкости согласно (26) составило:

$$\Delta t_{шт} = \frac{193 - 122}{193} \cdot 100\% = 37\%$$

Расчёт повышения производительности труда  $П_T$  при внедрении в производство проектной технологии выполним с учётом рассчитанного выше снижения трудоёмкости  $\Delta t_{шт}$ :

$$П_T = \frac{100 \cdot \Delta t_{шт}}{100 - \Delta t_{шт}} \quad (27)$$

Расчётное повышение производительности труда согласно (27) составило:

$$П_T = \frac{100 \cdot 37}{100 - 37} = 59\%$$

Расчёт снижения технологической себестоимости  $\Delta C_{\text{ТЕХ}}$  при внедрении в производство проектной технологии выполняется по формуле:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{C_{\text{ТЕХБ}} - C_{\text{ТЕХПР}}}{C_{\text{ТЕХБ}}} \cdot 100\% \quad (28)$$

Расчётное снижение технологической себестоимости согласно (28) составило:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{440104 - 332915}{440104} \cdot 100\% = 24\%$$

Расчёт условно-годовой экономии  $\text{Пр}_{\text{ож}}$  (ожидаемой прибыли), которая может быть получена при принятии проектной технологии, выполним следующим образом:

$$\text{Пр}_{\text{ож.}} = \text{Э}_{\text{у.г.}} = \left( C_{\text{зав}}^{\text{б}} - C_{\text{зав}}^{\text{пр}} \right) \cdot \Pi_{\Gamma} \quad (29)$$

Ожидаемая прибыль после подстановки в (29) соответствующих значений составила:

$$\text{Э}_{\text{у.г.}} = (632409 - 4454476) \cdot 10 = 1869330 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости  $T_{\text{ок}}$  дополнительных капитальных вложений определим следующим образом:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{доп}}}{\text{Э}_{\text{уГ}}} \quad (30)$$

Срок окупаемости после подстановки в (30) соответствующих значений составил:

$$T_{\text{ок}} = \frac{442700}{1869330} = 0,3$$

Годовой экономический эффект  $\text{Э}_{\Gamma}$ , получаемый при принятии проектной технологии определим следующим образом:

$$\text{Э}_{\Gamma} = \text{Э}_{\text{уГ}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}} \quad (31)$$

Годовой экономический эффект после подстановки в (31) соответствующих значений составил:

$$\text{Эг} = 1869330 - 0,33 \cdot 442700 = 1723239 \text{ руб.}$$

### **Выводы по экономическому разделу**

При выполнении базовой технологии сборки и сварки применяется ручная дуговая сварка и автоматическая сварка под флюсом. Недостатки применения ручной дуговой сварки штучными электродами: малая производительность выполнения сварочных работ, работа сварщика в тяжёлых условиях, низкая стабильность качества сварки, повышенный расход электродного материала на разбрызгивание и огарки.

Проектный вариант технологии предполагает использование механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения для выполнения прихваток и автоматической сварки под флюсом для выполнения основных длинномерных швов. Такая замена способа сварки позволяет существенно повысить производительность выполнения сварочных работ. Существенное повышение стабильности качества также приводит к повышению производительности, так как уменьшается время, затрачиваемое на исправление дефектов сварки.

Выполнение экономических расчётов позволило выявить экономическую эффективность проектной технологии: уменьшение трудоемкости на 37 %, повышение производительности труда на 59 %, уменьшение технологической себестоимости на 24 %.

Условно-годовая экономия при внедрении проектной технологии составляет 1,87 млн. рублей. Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 1,72 млн. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,3 года. Вышеизложенное позволяет сделать вывод о высокой экономической эффективности проектной технологии.



## Заключение

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение производительности и качества сварки арочной фермы железнодорожного моста.

При выполнении базовой технологии сборки и сварки применяется ручная дуговая сварка и автоматическая сварка под флюсом. Недостатки применения ручной дуговой сварки штучными электродами: малая производительность выполнения сварочных работ, работа сварщика в тяжёлых условиях, низкая стабильность качества сварки, повышенный расход электродного материала на разбрызгивание и огарки. Анализ преимуществ и возможных способов сварки позволил обосновать замену ручной дуговой сварки штучными электродами (применяется в базовом варианте технологии) на механизированную сварку проволокой сплошного сечения в защитных газах.

Рассмотрены пути повышения эффективности механизированной сварки в защитных газах. На основании анализа источников научно-технической информации принято решение использовать сварку с импульсным управлением дугой, для чего предложено использовать устройство [13].

Изучение особенностей технологического процесса сборки и сварки позволило идентифицировать опасные и вредные производственные факторы. На основании этих выделенных факторов предложен ряд стандартных средств и методик, позволяющих устранить опасный фактор или уменьшить его влияние на персонал до приемлемого уровня.

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 1,72 млн. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,3 года.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод достижения цели. Результаты выпускной работы должны быть внедрены в мостостроении.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Белинский С. М., Гарбуль А. Ф., Гусаковский В. Г. Оборудование для дуговой сварки: справ. Пособие. Л. : Энергоатомиздат, 1986. 656 с.
2. Волченко В. Н. Контроль качества сварных соединений. М : Машиностроение, 1986. 172 с.
3. Воропай Н. М. Параметры режимов и технологические возможности дуговой сварки с импульсной подачей электродной и присадочной проволоки // Автоматическая сварка. 1996. № 10. С. 3–9.
4. Гибмшан, М. Е., Попов В. И. Проектирование транспортных сооружений: учебник для ВУЗов. М. : Транспорт, 1988. 447 с.
5. Гребенчук В. Г. Современные технологии монтажной сварки конструкций пролётных строений стальных мостов // Вестник машиностроения. 2013. № 1. С. 15–20.
6. Жерносеков А. М., Андреев В. В. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом (Обзор) // Автоматическая сварка. 2007. № 10. С. 48-52.
7. Ковтуненко В. А., Герасименко А. М., Гоцуляк А. А. Выбор стали для ответственных сварных строительных конструкций // Автоматическая сварка. 2006. № 11. С. 33 – 36.
8. Колоколов Н. М., Вейнблат Б. М. Строительство мостов : учебник для ВУЗов. М. : Транспорт, 1975. 528 с.
9. Крампит А. Г., Крампит Н. Ю., Габитов Э. К. Модернизация сварочного оборудования – как решение приоритетной задачи по импортозамещению // Технологии и материалы. 2016. № 4. С. 18–23.
10. Лебедев В. А. Тенденции развития механизированной сварки с управляемым переносом электродного металла (Обзор) // Автоматическая сварка. 2010. № 10. С. 45–53.

11. Молева Д. А., Белозор М. Ю. Обоснование применения сталей для изготовления конструкций мостов // Вестник Череповецкого государственного университета. 2012. № 4. С. 28–31.
12. Музалев В. Н., Семухин Б. С. Особенности сварки металлических пролётных строений мостов // Вестник ТГАСУ. 2015. № 2. С. 184–193.
13. Патент № 2429112 РФ. Устройство для электродуговой сварки
14. Потапьевский А. Г., Сараев Ю. Н., Чинахов Д. А. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего : монография. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 208 с.
15. Потапьевский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Часть 1. Сварка в активных газах. К. : Экотехнолопя, 2007. – 192 с.
16. РД 34.15.132 Сварка и контроль качества сварных соединений металлоконструкций зданий при сооружении промышленных объектов
17. Розерт, Р. Применение порошковых проволок для сварки в промышленных условиях // Автоматическая сварка. 2014. № 6-7. С. 60–64.
18. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т. / Ред. кол.: Г. А. Николаев (пред.) [и др.] – М.: Машиностроение, 1978 – т.2. / Под ред. А. И. Акулова, 1979. 462 с.
19. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов : учебное пособие. Тольятти : ТГУ, 2007. 301 с.
20. СТО ГК «Трансстрой» - 005-2007 Стальные конструкции мостов. Технология монтажной сварки.
21. СТО ГК «Трансстрой» - 012-2007 Стальные конструкции мостов. Заводское изготовление
22. Шейко П. П., Жерносеков А. М., Шимановский Ю. О. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом с автоматической стабилизацией параметров режимов // Автоматическая сварка. 2004. № 1. С. 8–11.

23. Шлепаков В. Н., Гаврилюк Ю. А., Котельчук А. С. Современное состояние разработки и применения порошковых проволок для сварки углеродистых и низколегированных сталей // Автоматическая сварка. 2010. № 3. С. 46–51.

24. Characterization of microstructure and local deformation in 316NG weld heat-affected zone and stress corrosion cracking in high temperature water / Lu Zhanpeng, Shoji Tetsuo, Meng Fanjiang, Xue He, Qiu Yubing, Takeda Yoichi, Negishi Koji // Corrosion Science. – 2011. – № 5. – P. 1916–1932.

25. Coules H.E., Colegrove P., Cozzolino L. D. High pressure rolling of low carbon steel weld seams: Part 2 - Roller geometry and residual stress // Science & Technology of Welding & Joining. 2013. № 1. P. 84–90.

26. Dilthy U., Reisinger U., Stenke V. Schutzgase zum MAGM – Hochleistungsschweißen // Schweissen und Schneiden. 1995. № 2. P. 118–123.

27. Ficquet X., Smith D. J., Truman C. E., Kingston E. J. Measurement and prediction of residual stress in a bead-on-plate weld benchmark specimen // International Journal of Pressure Vessels & Piping. 2009. № 1. P. 20–30.

28. Jurcius A., Valiulis A. V., Černašėjus O., Kurzydłowski K. J. Influence of vibratory stress relief on residual stresses in weldments and mechanical properties of structural steel joint // Journal of Vibroengineering. 2010. № 1. P. 133–141.

29. Lucas W. Choosing a shielding gas. Pt 2 // Welding and Metal Fabrication. 1992. № 6. P. 269–276.

30. Vasantharaja P., Maduarimuthu V., Vasudevan M., Palanichamy P. Assessment of Residual Stresses and Distortion in Stainless Steel Weld Joints // Materials & Manufacturing Processes. 2012. № 12. P. 1376–1381.