

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 металлов давлением и родственные процессы»

(наименование)

15.03.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Оборудование и технология сварочного производства»

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему «Технология сборки и сварки фермы арочного моста»

Студент

Р.В. Конаков

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

К.т.н., доцент

Г.М. Короткова

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

Консультанты

К.т.н., доцент

Н.В. Зубкова

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

К.т.н., доцент

А.Н. Москалюк

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

Тольятти 2020

## Аннотация

Данный дипломный проект посвящен разработке технологического процесса сборки и сварки секции арочного моста для притока реки Сишка, которая имеет ширину русла 9 м, а при разливе реки расширяется до 15-24 м.

Целью работы является повышение производительности при сборке-сварке мостовых ферм.

Объектом дипломного проекта является арочный мост, имеющий треугольный тип решетки фермы.

Предметом дипломного проекта является разработка технологического процесса для сборки-сварки секций ферм с помощью механизированной сварки в среде защитного газа.

В общей части проекта освещаются типы ферм, способы сборки-сварки. В специальной части - технологический процесс, экономическая эффективность и экологическая безопасность проектного варианта.

Для выбора способа сварки конструкции рассматриваются и рассчитываются два варианта: ручная дуговая сварка покрытым электродом и механизированная сварка в среде  $\text{CO}_2$  проволокой сплошного сечения. При разработке проектного технологического варианта использована механизированная сварка в среде углекислого газа. Такое решение привело к повышению скорости сварки. На основе экономического анализа данный способ является более эффективным на 165%. При проектном варианте время, затраченное на сварку составляет- 4,48 часа, а при базовом варианте- 11,9 часа. Форма арочного моста выбрана для удобства монтажа и прохода маломерных лодок под ним. Также для того, чтобы при разливе реки узлы ферм минимально погружались в воду, с целью минимизирования коррозионных процессов, приводящих конструкцию в негодность. Основная часть фермы состоит из верхних и боковых поясов, которые соединены в единый монолит с фасонками и раскосами. При выборе оборудования отдается предпочтение современным моделям. В заключении приведены основные выводы, полученные в результате проделанной работы.

## **ABSTRACT (298 слов)**

This graduation project is dedicated to the deals with construction assembly and welding of sections of the arch bridge for the tributary of the Sishka river, which has a channel width of 9 m, and when the river floods, it expands to 15-24 m.

The aim of the work is to increase productivity in the assembly and welding of bridge trusses.

The object of the graduation project is an arched bridge with a triangular truss lattice type.

The subject of the graduation project is the development of a technological process for assembly-welding of truss sections using mechanized welding in a protective gas environment.

The General part of the project demonstrative the types of farms, assembly and welding methods. In the special part - the technological process, economic efficiency and environmental safety of the project version.

Two options are represent and calculated for choosing the welding method of the structure: manual arc welding (MMA) with a coated electrode and mechanized welding in a CO<sub>2</sub> (MIG/MAG) medium with a solid section of wire. When developing the design technological variant, mechanized welding in the carbon dioxide environment was used. This solution led to an increase in the welding speed. Based on economic analysis, this method is 165% more effective. In the design version, the time spent on welding is 4.48 hours, and in the basic version-11.9 hours. The shape of the arched bridge is chosen for ease of installation and passage of small boats under it. Also, in order to ensure that the truss nodes are minimally submerged in water when the river floods, in order to minimize the corrosion processes that cause the structure to become unusable. When choosing equipment, preference is given to modern equipment. In conclusion, the main conclusions obtained as a result of this work are presented.

Truss/ farms	Ферма
Assembly-welding	Сборка-сварка
Corrosion	Коррозия
Submer	Погружение
Mechanized welding (MIG/MAG)	Механизированная сварка в защитных газах
Arc welding (MMA)	Ручная дуговая сварка
Triangular	Треугольный

## Содержание

Введение.....	3
1 Анализ исходных данных известных решений при изготовлении мостовых ферм.....	4
1.1Классификация ферм.....	4
1.2Свойства материалов для изготовления мостовых ферм.....	11
1.3 Описание базового варианта изготовления фермы арочного моста...	13
1.4Анализ способов сварки ферм .....	13
2 Эскизная проработка конструкции арочного моста для мелких притоков реки Волга.....	15
2.1Описание конструкции арочного моста через приток через реку Сишка (приток реки Волга).....	15
2.2Выбор решетки арочного моста.....	17
2.3Выбор типа сварного соединения .....	17
3Проектирование технологического сварки фермы арочного моста .....	19
3.1Выбор параметров режима сварки .....	19
3.2 Технологический процесс сборки и сварки фермы арочного моста....	20
4 Экологическая безопасность объекта проектирования.....	28
5 Экономическая эффективность технологического процесса.....	36
Заключение.....	50
Список используемых источников.....	51

Мостовая ферма - сквозная стержневая система, работающая на основную нагрузку, являющейся геометрически неизменной, с объединением в узлах шарнирами.

Уникальность мостовой фермы заключается в ее способности не меняться под действием внешних факторов. Нагрузка на ферму - огромная, однако ферма представляет собой конструкцию, состоящую из множества треугольников, обладающую высокой жесткостью, в отличие от других.

Нагрузка в такой конструкции направлена в места соединения узлов, т.к. стержни лучше проявляют свои свойства в процессе сжатия-растяжения, а не на излом.

Сварная ферма является основным конструктивным элементом при сборке мостов. В настоящее время фермы мостов в основном свариваются ручной дуговой и механизированными в среде защитных газов сварками, или собираются с помощью болтовых, либо клепаных соединений. Однако, сварка имеет преимущество, т.к. данное соединение более долговечное.

Т.к. сварные швы имеют небольшую длину и располагаются в различных положениях, поэтому необходимо выбрать наиболее эффективный, быстрый и менее затратный способ сварки. Таким образом, исходя из данных швов, для производства сварной фермы целесообразно использовать механизированную сварку в среде защитных газов.

Однако эти способы не обеспечивают высокой производительности [6]. Поэтому разработка эффективного технологического процесса, изготовление конструктивных элементов с соблюдением всех норм и ГОСТ является актуальной задачей.

Таким образом, целью выпускной квалификационной работы является повышение производительности при сборке-сварке секций ферм арочного моста.

# **1 Анализ исходных данных и известных решений при изготовлении мостовых ферм**

## **1.1 Классификация ферм**

Фермы широко применяются в зданиях, сооружениях, мостах. Фермы классифицируются по статичной схеме, по характеру очертания, по типу решетки.

Рассмотрим типы ферм по статичной схеме. Балочный разрезной тип ферм применяется в покрытиях зданий и сооружений, мостах. Это очень металлоемкий тип ферм, однако, они просты в изготовлении и монтаже, не требуют устройства особо сложных опорных узлов. При больших пролетах, более 40 метров данный тип ферм становится негабаритным, вследствие их приходится собирать из отдельных элементов во время монтажа.

Балочный неразрезной тип ферм применяется в покрытиях зданий, сооружений, мостов с двумя и более перекрываемыми пролетами. Такая система экономична по расходу ресурсов (металла), обладает повышенной жесткостью, что позволяет уменьшить высоту [16]. Однако, при усадке опор, в неразрезном типе ферм возникают дополнительные напряжения, поэтому их применение в слабых просадочных основаниях не рекомендуется. Более того, монтаж таких конструкций усложнен.

Консольный тип ферм применяется при строительстве башен, опор, навесов, воздушных линий электропередач.

Рамный тип ферм применяется для большепролетных зданий. При меньших габаритах они экономичны к расходу металла, однако сложны при монтаже.

Арочный тип ферм применяется в местах, в которых их применение вызвано архитектурно-строительными условиями. Экономичный способ, однако, приводит к увеличению объемов помещений и поверхности ограждающих конструкций.

Вантовый тип ферм применяются при строительстве большепролетных конструкций и мостов, потому что вантовые фермы воспринимают нагрузки только от растяжения. Такой тип фермы рационален, по причине того, что растяжение позволяет использовать высокие прочностные свойства стали, поэтому вопрос устойчивости исчезает.

Таким образом, исходя из теоретических данных, наиболее рационально использовать ферму с вантовым типом [14], однако, работа будет проведена по арочному типу схем в связи с предложением журнала «Электромеханик».

Мостовые фермы классифицируют по характеру очертания. Треугольная ферма применяется при значительных уклонах кровли, вызываемых типами кровли, условиями эксплуатации или выступающими консолями. Из-за конструктивных недостатков в других случаях фермы не применимы. К примеру, из-за наличия сложного опорного узла, который допускает только сопряжение шарниров с колоннами, также наличие длинных средних раскосов, которые подбираются к значениям предельной гибкости, вызывающим высокий расход металла. [14] (рисунок 1.1).

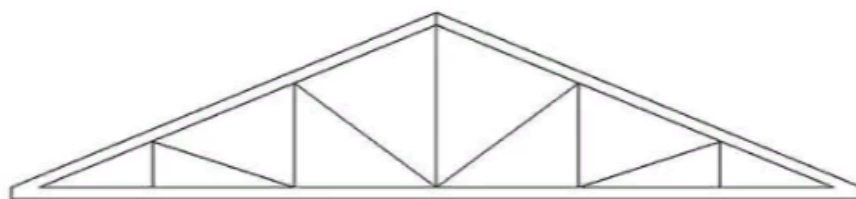


Рисунок 1.1 - Треугольная ферма

Фермы с полигональным очертанием применимы для тяжелых ферм, имеющих большие пролеты. Это вызвано сходством параболического очертания эпюр изгибающих моментов, которое позволяет экономить на материале (рисунок 1.2). Конструктивные затруднения незначительны из-за



переломов пояса в тяжеловесных фермах. Таким образом, транспортировка таких поясов затруднительна, поэтому их стыкуют в каждом узле. Из-за конструктивных усложнений легкие фермы с полигональным очертанием не окупаются.

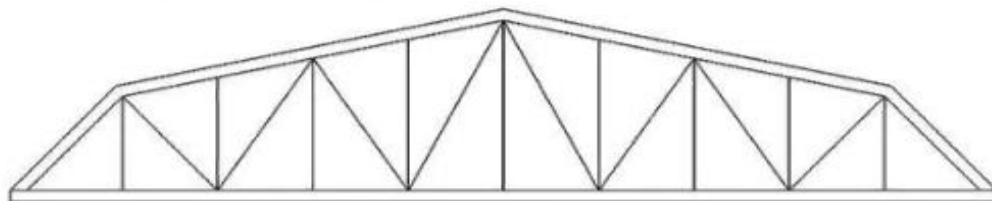


Рисунок 1.2 - Ферма с полигональным очертанием

Фермы с трапецидальным очертанием приходят на замену фермам с треугольным. Такие фермы применяются с кровельным материалом, не требующими больших (рисунок 1.3). К тому же, применение данного типа ферм преимущественно. Это вызвано применением в строительстве жестких рамных узлов и отсутствием длинных стержней в середине пролета. Таким образом, создается возможность изготовления жесткого рамного узла, повышающего жесткость каркаса.

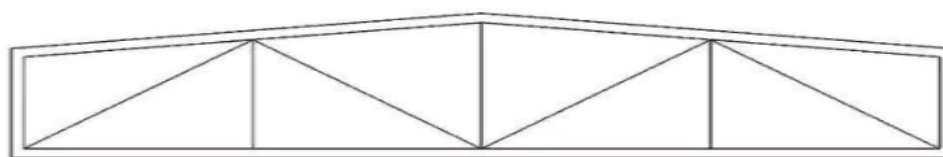


Рисунок 1.3 - Ферма с трапецидальным очертанием

Ферма с параллельными поясами применяются в покрытиях крыш зданий (рисунок 1.4). Имеют значительные конструктивные преимущества: малое количество стыков поясов, одинаковые длины стержней поясов. К

минусам такой фермы можно отнести несовместимость очертания с эпюрой моментов и затраты на высокий расход металла.

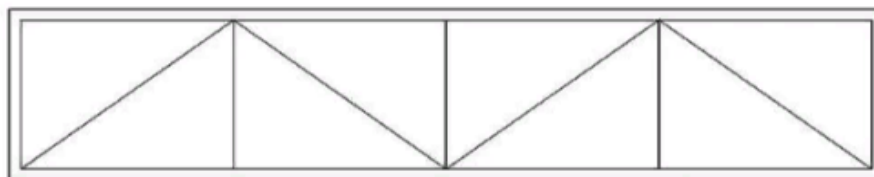


Рисунок 1.4 - Ферма с параллельными поясами

Таким образом, для обеспечения прочностного потенциала моста через приток реки Волга шириной 11м выбрана ферма с трапецеидальным очертанием [8], потому что такая ферма обеспечивает жесткость рамного узла, который в свою очередь, обеспечивает жесткость конструкции.

Выбор типа решетки зависит от трудоемкости ее изготовления, веса фермы, внешнего вида и условия соответствия схеме приложенных нагрузок, с целью распределения нагрузки в узлах, иначе возникнут местные изгибающие моменты в поясах, что поспособствует утяжелению конструкции фермы.

Треугольный тип решетки является самым экономичным, так как треугольные решетки имеют уменьшенную панель, с дополнительные стойки или с подвески, если есть подвесной потолок (рис.1.5). Наиболее рациональный угол наклона -  $45^\circ$  [14].

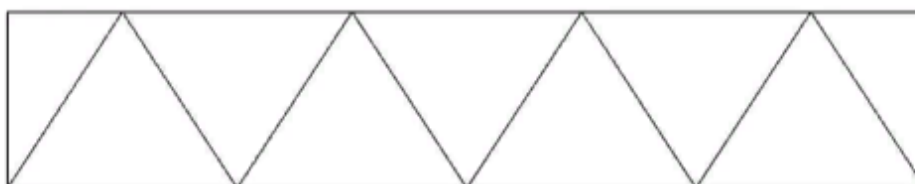


Рисунок 1.5 - Ферма с треугольным типом решетки

Раскосный тип решетки зачастую используется в стропильных фермах, когда необходимо повысить нагрузку и уменьшить высоту (рисунок 1.6). Для повышения прочности конструкции в фермах с раскосной решеткой желательно спроектировать стойки и длинные растянутые раскосы. При проектировочных работах необходимо стремиться к растянутым длинным и коротким сжатым стойкам. Это применимо только в фермах с нисходящими раскосами. По сравнению с треугольной, раскосный тип решетки является более трудоемким и требующим большего расхода материала. Это обуславливается тем, что при одинаковом количестве панелей в ферме общая длина раскосной решетки больше, т.е. в ней больше узлов. Наиболее рациональный угол наклона-  $35^{\circ}$ .

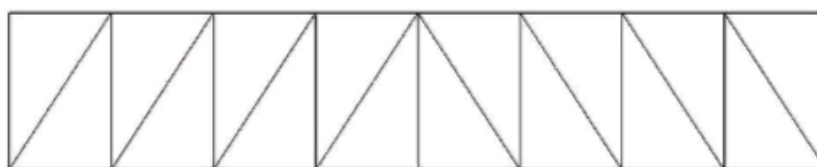


Рисунок 1.6 - Ферма с раскосным типом решетки

Полураскосный тип решетки идентичен предыдущему типу, но обладает большей жесткостью (благодаря двум системам раскосов) и уменьшенными размерами панели (рисунок 1.7). Популярен в конструкциях, в которых необходимо сдерживать высокие поперечные нагрузки.

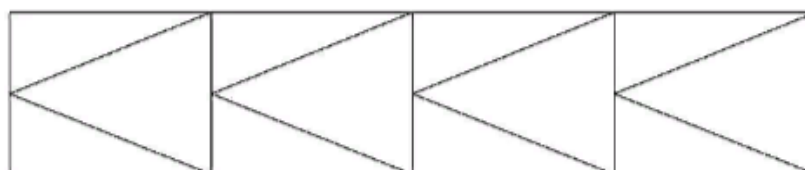


Рисунок 1.7 - Ферма с полураскосным типом решетки

Ромбический тип обладает повышенной жесткостью благодаря наличию двух систем раскосов, что позволяет уменьшить размер панелей, чего нет у ферм с крестовым типом решетки (рисунок 1.8). Ромбический тип применим в мостовом, мачтовом, башенном строительстве, благодаря уменьшению расчетной длины поясов и раскосов. К тому же, данная разновидность решеток рационально при работе конструкции на крайне высокие поперечные силы.

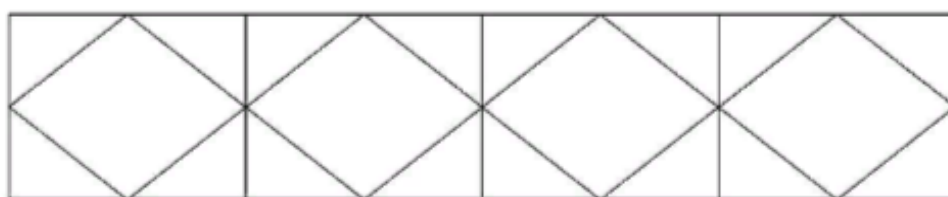


Рисунок 1.8 - Ферма с ромбическим типом решетки

Крестовой тип решетки применяется при работе фермы на двустороннюю нагрузку и при обеспечении работы с повышенной жесткостью (рисунок 1.9). Такие условия присутствуют в горизонтальных связевых фермах покрытий зданий производства, мостов. Зачастую крестовой тип решетки проектируют из гибких стержней. При этом принимается условие, что работают лишь растянутые раскосы; однако, сжатые раскосы, по причине своей большой гибкости, не участвуют в работе и не входят в расчетные схемы. В раскосах создают растягивающие усилия, чтобы увеличить жесткость фермы и привести в работу оба раскоса. Если крестовая решетка работает при смене направления нагрузки, то в этом случае сжатые раскосы, вследствие большой гибкости, выключаются из работы, по причине потери устойчивости [17]. Таким образом, решетка превращается в раскосную с сжатыми стойками и растянутыми раскосами.

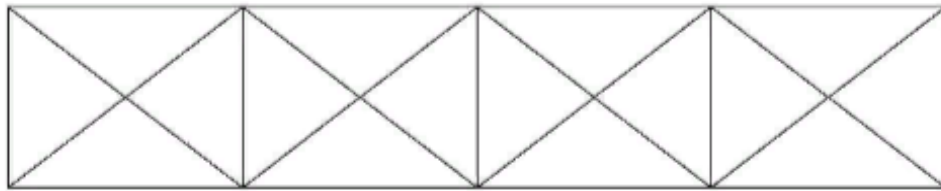


Рисунок 1.9 - Ферма с крестовым типом решетки

Шпренгельный тип решетки применим в фермах, имеющих большую высоту. Так сохраняется рациональный угол наклона раскосов ( $35-45^\circ$ ) при уменьшении панелей (рис.1.10). Данные показатели угла наклона необходимы в некоторых случаях: для обеспечения передачи нагрузок в узлах фермы и для уменьшения расчетных показателей длин поясов в плоскости ферм, обеспечивающих устойчивость сжатых стержней и снижение расхода металла. Этот тип решеток трудоемок, однако частое расположение прогонов приводит к предотвращению местного изгиба элементов пояса в местах приложения сосредоточенных сил.

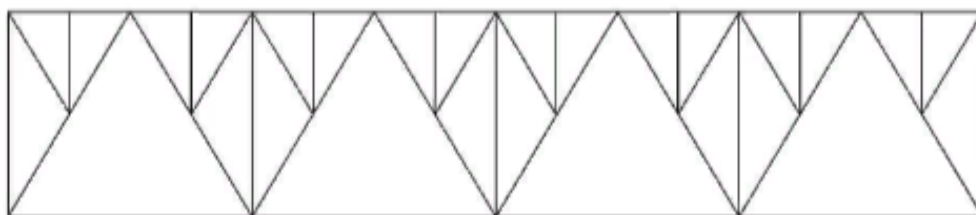


Рисунок 1.10 – Ферма с шпренгельным типом решетки

Таким образом, для фермы с трапецидальным очертанием [16] лучше всего подходит треугольный тип решетки, который, в свою очередь, является наиболее экономичным, по сравнению с другими типами решеток.

## **1.2 Свойства материалов для изготовления мостовых ферм**

Сварку фермы произведем из стали 09Г2С. Сталь 09Г2С-низколегированная сталь, состав легирующих не превышает 2,5% (в отличие от высоколегированных, где показатель состава- свыше 10%) [11]. Данная сталь используется, в основном в сварных конструкциях. Сварка возможна проводится при подогреве до 100-120°C, с последующей термообработкой, также возможна без подогрева и термообработки. Благодаря низкому проценту содержания углерода (менее 25%), обеспечивается хорошая свариваемость. Если углерода больше, тогда происходит ухудшению качества шва, путем возникновения микропор из-за выгорания углерода и закалочных структур. К достоинствам этой марки стали можно отнести, что сталь 09Г2С не склонна к отпускной хрупкости, другими словами, ее вязкость не снижается после проведения процедуры отпуска. Также эта сталь устойчива к перегреву и образованию трещин.

Высокие механические свойства стали позволяют экономить при изготовлении конструкций. Также такие конструкции имеют меньший вес. Именно поэтому она получила широкое распространение и популярность. Области применения этой марки различны. Из нее изготавливаются детали и элементы сварных металлических конструкций, которые работают при температурах от от -60 °С до +430°C.

## **1.3 Описание базового варианта изготовления фермы арочного моста**

Технологический процесс сборки секции арочного моста начинается с разметки. На поверхность металла наносят заметочные линии разметочным циркулем или чертилкой. Разметку также выполняют с помощью шаблона (плоской детали образца).

Затем производится резка угловой стали угловой шлифовальной машинкой.

После процесса разрезания с кромок угловой стали снимают заусенцы, притупляют острые углы шлифовальной машинкой Makita GA9010C. Скорость шлифовального круга 20-30 м/сек, а угол наклона круга относительно заготовки- 45-60°.

После всех заготовочных работ начинается сборка конструкции по копиру с помощью фиксаторов. Первая собранная секция закрепляется на стеллаже, впоследствии эта же ферма будет являться копиром. На концах копира устанавливаются фиксаторы, которые, в свою очередь способствуют увеличению точности.

Затем проводится процесс закрепления элементов короткими сварными швами. Длина прихватки должна составлять 40 мм, а шаг- 250 мм.

Сразу же после наложения прихваток проводится сварка. Сварку следует начинать от центра к краям секции. Таким образом, шанс того, что в швах появятся напряжения, будет снижен. Сварка проводится при токе равном 80 А, длина дуги равна половине диаметра электрода (4 мм). Скорость ручной дуговой сварки составляет не больше 5 м/ч, скорость зависит от квалификации сварщика.

Для того чтобы сварить надежную конструкцию, необходимо наложить прихватки и сварные швы для симметричной части фермы. Но для этого сначала необходимо с помощью производственного крана перевернуть ферму, соблюдая при этом нормы безопасности и не повредив конструкцию.

Впоследствии симметричная часть скрепляется прихватками и затем сварными швами.

После ручной дуговой сварки покрытыми электродами всех узлов фермы необходимо провести контроль качества. В первую очередь внешним осмотром в объеме 100 %. А уже потом неразрушающим методом, ультразвуковым с помощью мобильного приспособления УДЗ-71 с частотой 0,4-0,7 МГц.

#### **1.4 Анализ способов сборки и сварки мостовых ферм**

Для мостовых ферм рекомендуется применять ручную дуговую покрытыми электродами, механизированную сварку плавящимся электродом сплошного сечения и порошковой проволокой, а так же сваркой под флюсом. Проведем сравнительный анализ некоторых способов применительно к выбранной конструкции.

Ручная дуговая сварка покрытым электродом по принципу действия схож с механизированной сваркой в среде защитного газа. Однако, главным отличием РДС является использование покрытого электрода вместо сварочной проволоки, обмазка которого заменяет защитную среду.

К главным преимуществам данного способа относится возможность сварки в местах с ограниченным доступом, возможность сварки различных сталей благодаря широкому выбору электродов [6].

К осязательному недостатку РДС относится низкое значение КПД. Также немаловажным недостатком является зависимость от квалификации сварщика, от которой напрямую зависит качество сварного шва и производительность [6].

Механизированная сварка в среде защитных газов плавящимся электродом сплошного сечения – один из производительных способов сварки.

Принцип данного способа прост. Совместно со сварочной проволокой в сварочный шов подается защитный газ. Заполняя сварочную ванну, газ защищает металл от негативного воздействия кислорода. Также, защитный газ вытесняет кислород, что приводит к повышению качества сварного шва. Наличие в сварочной проволоке большого количества кремния и марганца предотвращает окисление металла [11]

Одной из особенностей механизированной сварки в среде защитных газов является возможность применения прямой и обратной полярности. Так, использование прямой полярности отлично подходит для начинающих сварщиков, что дает возможность легко удерживать сварочную дугу.

Возможность ведения процесса во всех пространственных положениях обеспечивает высокую производительность [11].



Возникновение на поверхности шва оксидных и шлаковых включений, применение более сложного оборудования, все это является недостатками данного способа [18].

Таким образом, судя по рассмотренным способам, механизированная сварка в среде защитных газов имеет преимущество над ручной дуговой сваркой, а также над клепаными и болтовыми способами соединения конструкции.

Следовательно, для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выбрать сварочное и вспомогательное оборудование для механизированной сварки плавящимся электродом сплошного сечения.
2. Разработать технологический процесс изготовления секции арочного моста.
3. Определить экономическую эффективность технологического процесса

## 2 Эскизная проработка конструкции арочного моста для мелких притоков реки Волга

### 2.1 Описание конструкции арочного моста через приток через реку Сишка (приток реки Волга)

Город Ржев располагается на живописных берегах р. Волга, в которую впадают такие притоки как Холынка, Сишка и др. Обычно они не превышают в ширину 11м, а в половодье разливаются существенно [1] (рисунок 2.1).

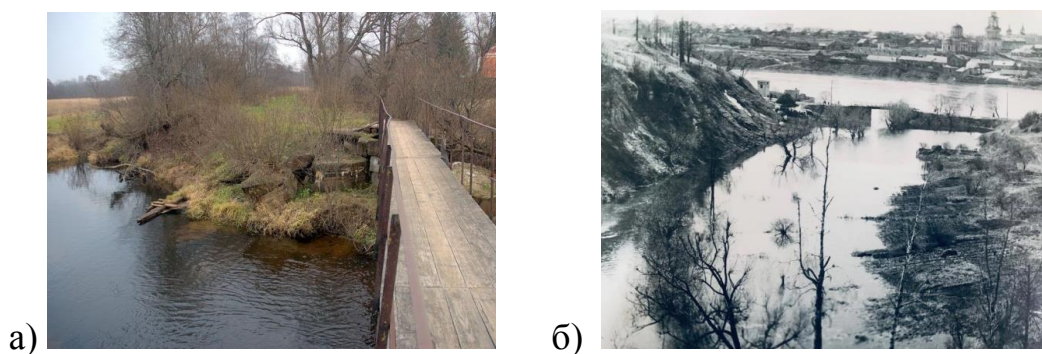


Рисунок 2.1- Притоки р. Волга Сишка в пределах города (1941г.) (а) и Холынка (1957г.) (б)

Предлагается эскизная проработка арочного моста через приток Сишка взамен деревянного (рис.2.1б). В этом районе ширина притока не превышает 11м, а в половодье достигает 17 м.

На основе опытного проектирования и сравнения нескольких вариантов выбираем конструкцию фермы для арочного моста через приток Сишка (рисунок 2.2).

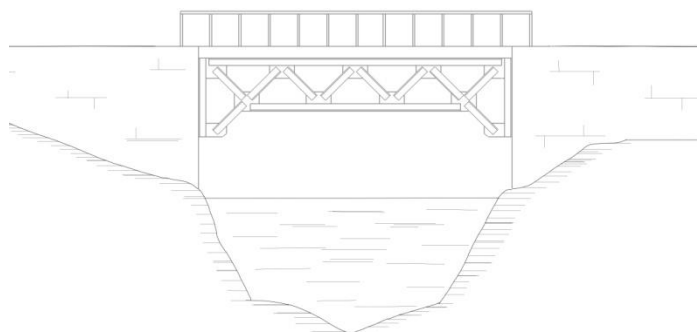
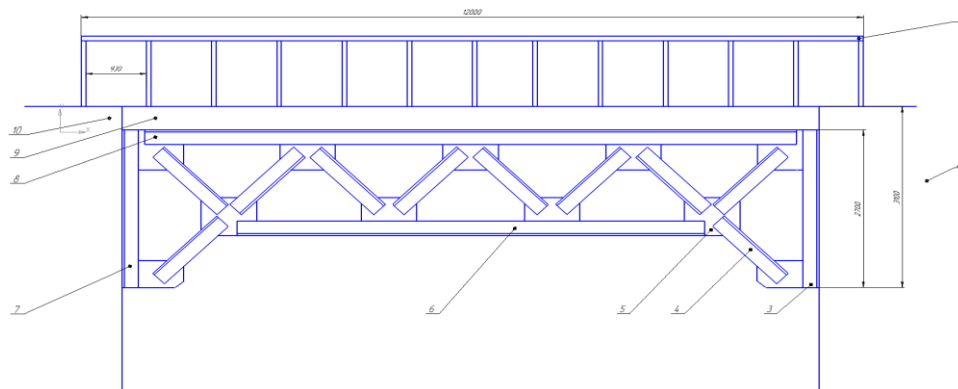


Рисунок 2.2- общий вид конструкции арочного моста через приток р. Сишка



1-перила; 2,10 - бетонные устои; 3,7 - боковые пояса; 4 - раскос; 5 - фасонка; 6,8 - верхний и нижний пояс; 9 - мостовое полотно.

Рисунок 2.3 - Эскиз моста через приток Сишка

Для растянутого пояса фермы выбираем поперечное сечение из уголков № 25 [7] (рисунок 2.4), для фасонок - листовой прокат толщиной 36 мм.

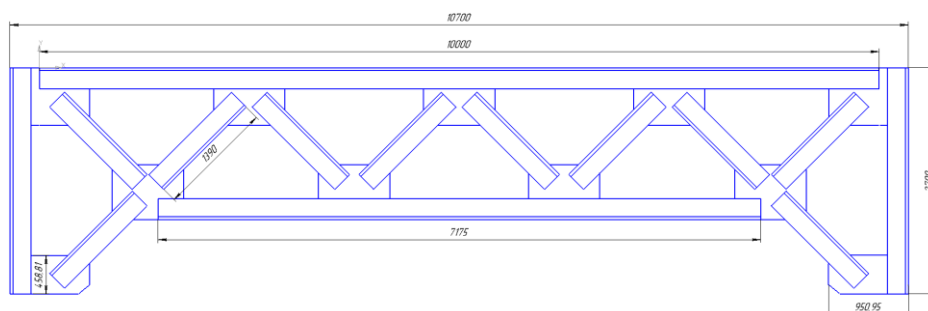
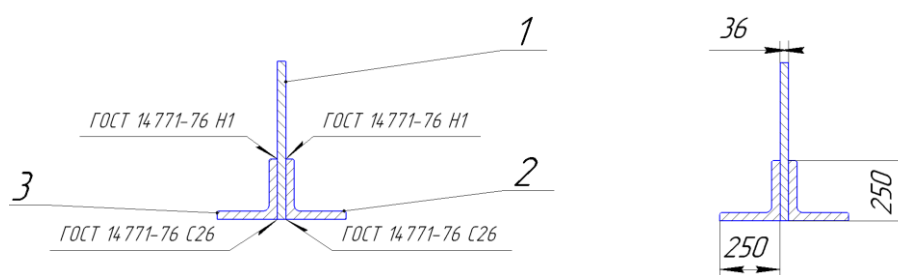


Рисунок 2.4 - Схема секции фермы арочного моста

Секция фермы арочного моста состоит из фасонок, раскосов, верхнего, нижнего и боковых поясов (рисунок 2.3). Фасонки изготавливаются из листового проката толщиной 36мм по ГОСТ 19903-09, а пояса и раскосы из угловой стали №25 по ГОСТ 8509-93. Скрепляются заготовленные элементы фермы в единый монолит с помощью механизированной сварки в среде углекислого газа.



1 – фасонка; 2,3- угловая сталь.

Рисунок 2.5 - Поперечное сечение верхнего и нижнего пояса секции фермы арочного моста

## 2.2 Выбор решетки арочного моста

На основе изучения характеристик систем ферм, к выбору предлагается треугольная система решетки для секции фермы арочного моста. Это объясняется тем, что внешне секция арочного моста напоминает трапециевидальную форму, если отсечь боковые раскосы, что, в свою очередь, позволяет обеспечить наименьшее количество сварных узлов и наименьшую суммарную длину решетки [17].

## 2.3 Выбор типа сварного соединения

Определение типа сварного соединения зависит от расположения свариваемых элементов относительно друг друга и от разделки кромок. Процесс подготовки кромок проводится с целью достижения полного провара, который приводит к соблюдению условия равнопрочности сварного соединения с основным металлом. Сама же разделка кромок зависит от геометрических характеристик, пространственного положения свариваемых элементов относительно друг друга и от вида сварки.

Подготовка кромок элементов больших толщин выполняется со скосом. Так, обеспечивается одинаковый нагрев кромок и исключается возможность прожога. Более того, при такой форме соединения процесс

сварки проводится легче, по причине равномерного распределения тепла и внутренних напряжений [4].

В зависимости от взаимного расположения свариваемых элементов в конструкции (рисунок 2.5), различают два типа сварных соединений: стыковое и нахлесточное. Таким образом, для стыкового соединения выбрана разделка кромок С17 со скосом с обеих сторон (рисунок 2.5), а для нахлесточного соединения Н1 - без скошенных кромок (рисунок 2.6), что приведет к перерасходу металла в процессе наплавки [16].

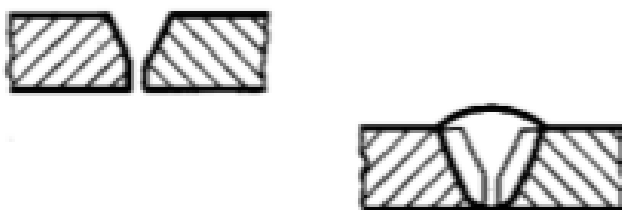


Рисунок 2.6 - Разделка кромок стыкового соединения по ГОСТ 14771-76



Рисунок 2.7 - Разделка кромок нахлесточного соединения по ГОСТ 14771-76

Таким образом, учитывая особенности конструкции арочного моста, и решетки для него, выбираем тип сварных соединений : С17 и Н1.

### 3 Проектирование технологического процесса сварки фермы арочного моста

#### 3.1 Выбор Параметров режимов сварки

Правильность в выборе режимов сварочного автомата и выборе сварочных материалов в значительной мере определяет качество сварки.

К параметрам режима механизированной сварки в углекислом газе относят: полярность, род тока и силу сварочного тока, диаметр электродной проволоки, напряжение на дуге, скорость подачи проволоки, расход углекислого газа, вылет и наклон электрода по отношению к сварному шву, а также скорость сварки.

Сварку в углекислом газе проводят на постоянном токе обратной полярности, так как сварка током прямой полярности приводят к неустойчивому горению дуги.

Диаметр проволоки следует подбирать в зависимости от толщины свариваемого металла.

Режимы механизированной сварке в среде углекислого газа представлены в таблице 2.1.

Таблица 3.1- Режимы полуавтоматической сварки в углекислом газе низкоуглеродистой стали

Катет шва, мм	Диаметр проволоки, мм	Режим сварки			Вылет электрода, мм	Производительность, г/с
		Сила тока, А	Напряжение на дуге, В	Расход газа, л/мин		
4,0	1,2	200	22-23	10-12	12-15	0,99
	1,4	270	24-25		15-18	1,09
5,0-6,0	1,4	320	27-28	12-15	18-20	1,36
	1,6	280	27-29			1,44

Величину расстояния от изделия до сопла горелки рекомендуется выдерживать в установленных значениях.

Таблица 3.2- Рекомендуемые расстояния от сопла до изделия, мм

Рекомендуемые расстояния от сопла горелки до изделия				
Диаметр электродной проволоки, мм	0,5-0,8	1,0-1,2	1,6-2,0	2,5-3,0
Расстояние от сопла горелки до изделия, мм	5-15	8-18	15-25	20-40

### **3.2 Технологический процесс сборки и сварки фермы арочного моста**

#### **1. Разметка**

На поверхность металла наносят разметочные линии (риски) с помощью разметочных инструментов и приспособлений, таких как: чертилка, разметочный циркуль, метр (рис.3/1). Процесс разметки можно проводить используя шаблон- плоскую деталь образца. Прижимая шаблон к поверхности заготовки и обводя контуры шаблона чертилкой, необходимо плотно прижимать острие чертилки к кромке шаблона. Начинают разметку прямоугольных деталей по чертежу с определения базовой кромки, заготовки и нанесения базовой риски. Самая ровная кромка заготовки выбирается как базовая для разметки. От этой базовой риски ведут разметку по линейке, затем по угольнику проводят вторую риску под углом  $90^\circ$ , откладывают по линейке размер А, с помощью угольника проводят третью риску, отмечают размер В и с помощью угольника проводят четвертую риску. Чертилку необходимо наклонять сторону движения. Наносить риску надо не более одного раза.

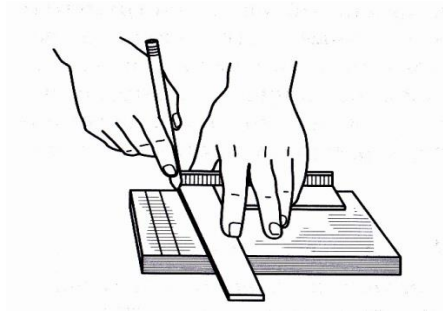


Рисунок 3.1 – Разметка материала

## 2. Резка

Затем производится резка угловой стали УШМ «Metabo 2000».

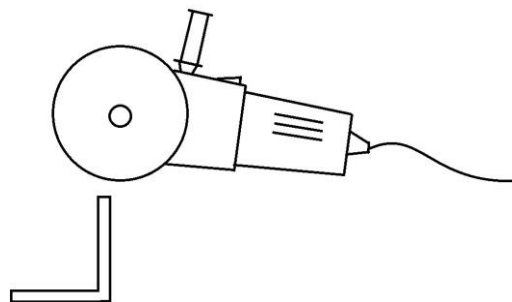


Рисунок 3.2 - Резка угловой стали УШМ

Превышение отклонения угла резания не должно отклоняться более чем на 3-5 градусов. В процессе резки не должна деформироваться сталь. Скорость режущего круга должна составлять 25-40 м/сек. Рез должен быть равномерным.

## 3. Зачистка кромок после резки

После процесса разрезания с заготовки снимают с кромок заусенцы, притупляют острые углы шлифовальной машинкой марки Makita GA9010C (рис. 3/). Скорость шлифовального круга должна составлять 20-30 м/сек, а угол наклона- 45-60°. Кромка должна быть равномерной, не должно оставаться заусенцев.





Рисунок 3.3- Зачистка кромок после сварки

#### 4. Сборка по копиру с помощью фиксаторов

После зачистки кромок изготовленные конструкционные элементы мостовой фермы собирают на стеллажах, впоследствии собирают по копиру. Копир- сборочный кондуктор (шаблон), являющийся фермой, у которой с одной стороны поставлены все листовые детали и уголки.

Т.к. заготовленная угловая сталь имеет большой вес, чтобы не тратить человеческий потенциал на перемещение заготовок, используются вилочные погрузки, с грузоподъемностью не менее 500 кг.

Первая, собранная по разметке, ферма (рис.3.5, а) закрепляется на стеллаже- она же служит копиром. При сборке каждой последующей мостовой фермы №2 (рис 3.5, б) раскладывают и совмещают с деталями 1 копирной фермы. После процесса скрепления деталей №2 прихватками, собранную ферму снимают с копира, укладывают на стеллаже отдельно и ставят на нее недостающие парные уголки №3 (рис 3.5, в). При окончании сборки требуемого количества ферм, копировальную ферму также дособирают и отправляют на сварку.

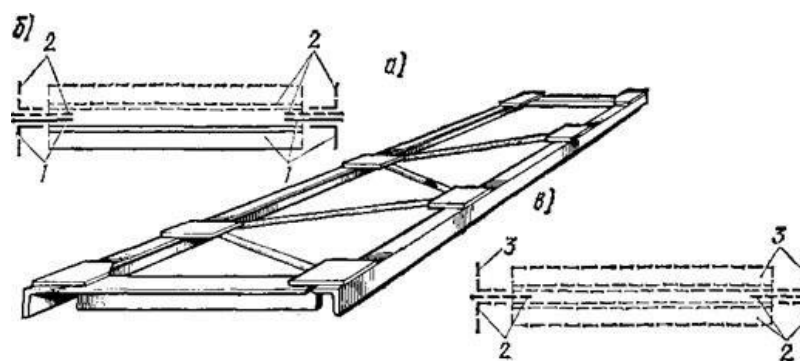


Рисунок 3.4 - Схема сборки фермы по копиру

Этот способ прост и эффективен, однако такой способ не позволяет обеспечить необходимой точности в размерах ферм и правильного расположения монтажных отверстий, предназначенных для крепления к колоннам.

Поэтому, в нашем случае, сборка фермы мостовой будет проводиться по копиру с помощью фиксаторов. На концах копира, с целью увеличения точности устанавливают специальные съемные фиксаторы, определяющие соосность монтажных отверстий и ограничивающих геометрические размеры конструкции в пределах заданных допусков.

#### 5. Закрепление элементов фермы короткими сварными швами

Затем с помощью сборочных приспособлений или прихваток собирают стыки. Их выполняют длиной 40 мм и с шагом 250 мм, с помощью присадочных проволок того же материала, какой будет выполнена сварка.

Последовательность наложения коротких сварных швов при сварке фермы, собранной на прихватках, должна выполняться по технологии. Прихватку элементов проводят с помощью сварочного полуавтомата «ESAB Aristo Mig 5000iw».

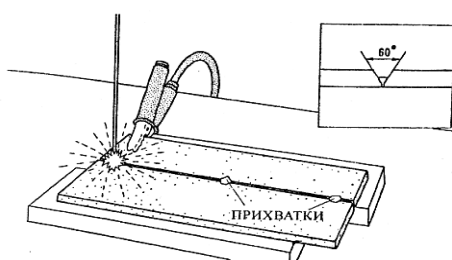


Рисунок 3.5 – Закрепление элементов фермы короткими сварными швами

Прихватки должны быть выполнены с полным проваром. Прихватки, которые имеют недопустимые дефекты следует удалить механическим способом. Фиксацию отдельных изделий на стеллаже обеспечивают дополнительные устройства: магнитные фиксаторы, зажимы, прихваты и т.д.

#### 6. Сварка узлов фермы

После фиксации конструкции процесс проварки швов проводят вне стеллажа. Необходимо внимательно относиться к технологическому процессу. Сварка мостовой фермы обязательно проводится в четком порядке и согласно чертежам. Это позволяет избежать нежелательных деформаций, например, коробления, следовательно, повреждений всей конструкции и значительного снижения ее общей прочности.



Рисунок 3.6 – Сварка узлов фермы

Заварить шов снаружи полуавтоматической: первые два-три слоя накладывать при положении электрода по оси симметрии, а последующие - со смещением электрода поперёк разделки или с наклоном 10-15° к вертикали в поперечном сечении разделки. Зачистка послойная и визуальный контроль после сварки каждого валика. Сварка каждого валика должна производиться “напроход” - на всю длину шва, толщина валика 3-5мм. Таким образом, количество проходов варьируется от 30 до 50, исходя из толщины в 157,5 мм. В случае перерывов в процессе сварки возбуждать дугу только на металле, подлежащем расплавлению при сварке или на заваренном шве. Кратер шва должен быть хорошо заполнен металлом. Выводить кратер на основной металл запрещается. Не допускать совмещение кратеров в одном сечении (Участке). Поверхностные дефекты удалять абразивным кругом.

Параметры режимов для сварки приведены в таблицах 3.1, 3.2.

#### 7. Поворот сварной фермы на 180°

Чтобы мостовая ферма была прочной, необходимо наложить шов с симметричной стороны. Для этого с помощью крана (с грузоподъемность не менее 14 тонн) и определенного набора инструментов, ферму переворачивают на 180°, соблюдая при этом осторожность.

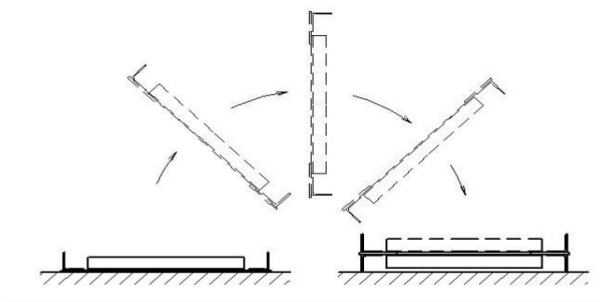


Рисунок 3.7 –Поворот сварной фермы на 180°

## 8. Закрепление элементов симметричной части фермы короткими сварными швами

После разворота фермы с помощью сборочных приспособлений и прихваток собирают стыки. Их зажимают с помощью присадочных проволок того же материала, какой будет выполнена сварка.

Последовательность наложения коротких сварных швов при сварке фермы, собранной на прихватках, должна выполняться по технологии. Прихватку элементов проводят с помощью сварочного полуавтомата «ESAB Aristo Mig 5000iw» [21].

Прихватки должны быть выполнены с полным проваром.

Прихватки, которые имеют недопустимые дефекты следует удалить механическим способом.

Фиксацию отдельных изделий на стеллаже обеспечивают дополнительные устройства: магнитные фиксаторы, зажимы, прихваты и т.д..

## 9.. Сварка узлов фермы для симметричной части

Последующий процесс сварки для симметричной части необходимо производить по тем же параметрам, исключая дефекты шва.

## 10. Контроль качества

После сварки всех узлов проводится контроль качества сварных соединений: внешним осмотром с проверкой геометрических размеров и формы швов в объеме 100%; контроль размеров сварного шва и определение величины выявленных дефектов следует производить измерительным инструментом, имеющим точность  $\pm 0,1$  мм, или специальными шаблонами для проверки геометрических параметров швов. При проведении внешнего

осмотра рекомендуется использовать лупу с 5-10-кратным увеличением, световые приборы.

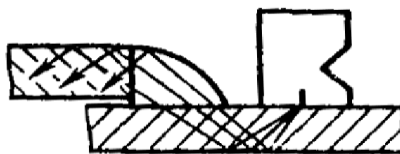


Рисунок 3.9 - Схема ультразвукового контроля

После исправления недопустимых дефектов, обнаруженных визуальным осмотром, проводят контроль швов сварных соединений неразрушающими методами, а именно ультразвуковым способом в объеме 30-40 % от суммарной длины швов.

Ультразвуковой метод является наиболее легким для контроля качества сварной фермы. Это объясняется мобильность приспособления, такого как УДЗ-71. Частота данного прибора должна составлять 0,4-0,7 МГц [22].

Не допускаются и должны быть устранены трещины всех видов и размеров в швах сварных соединений с последующей заваркой и контролем.

## 4 Экологическая безопасность объекта проектирования

### 4.1 Технологическая характеристика объекта

Выпускная квалификационная работа посвящена повышению производительности при сборке-сварке мостовых ферм с помощью механизированной сварки в среде углекислого газа. Выполняются следующие операции: механическая резка и подготовка образцов, сборка образцов, сварка, выходной контроль.

В связи с этим следует выполнить анализ проектной технологии, выявляя опасные и вредные производственные факторы, что позволит оценить безопасность проектной технологии и сделать вывод о возможности внедрения предлагаемых технических решений в производство [2].

Таблица 4.1 - Технологический паспорт объекта

Наименование выполняемых работ и операций проектного процесса	Должность производственного персонала, требуемого для осуществления	Технические устройства, требуемые для осуществлен	Вспомогательные материалы
1	2	3	4
Механическая резка	Слесарь-сборщик	УШМ Metabo 2000; метр; линейка	защитные перчатки; очки; чертилка;
Сборка	Электросварщик	Вилочный погрузчик; набор инструментов; фиксаторы; зажимы	-

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4
Сварка	Электросварщик	стол для сборки и сварки; струбцины; сварочный источник питания; газовый редуктор; газовый баллон; молоток; металлическая щетка	Сварочная проволока Св08Г2С
Выходной контроль	Дефектоскопист	Ультразвуковой дефектоскоп	Лупа 5-10 крат

## 4.2 Профессиональные риски при реализации предложенных технических решений

Таблица 4.2

Выполняемые в соответствии с проектной технологией	Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Источник представляющей угрозу негативного фактора
1	2	3
Резка	<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</li> </ul>	УШМ Metabo 2000



Продолжение таблицы 4.2

1	2	3
Сборка	<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>- движущийся вилочный погрузчик, транспортирующий металлические элементы</li> </ul>	Сборочное приспособление, зажимы, вилочный погрузчик
Сварка	<ul style="list-style-type: none"> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека [2]</li> <li>- повышенная температура поверхностей оборудования, металла;</li> <li>- ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений;</li> <li>- высокое значение инфракрасного излучения в рабочей зоне</li> </ul>	Стол для сборки и сварки; струбцины; сварочный источник питания; газовое оборудование
Контроль качества	- ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья.	Ультразвуковой дефектоскоп

### 4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков Таблица 3.3 –

Таблица 4.3 - Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов

Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Организационные методы и технические средства защиты рабочего персонала	Индивидуальные средства защиты от действия негативных
1	2	3
1. Наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев;	Инструктаж производственного персонала	Защитные перчатки, защитная одежда.
2. Перемещающиеся в процессе выполнения сборочной операции детали и узлы применяемого оборудования,	Ограждения перемещающихся деталей, предупреждающие плакаты.	-
3. Нагрев внешних поверхностей применяемого на операции оборудования,	Инструктаж производственного персонала	Защитные перчатки, защитная одежда.
4. Опасность замыкания на тело рабочего высокого напряжения, питающего производственное оборудование;	Устройство и периодический контроль заземления электрических машин и изоляции	-

Продолжение таблицы 4.3

1	2	3
5. Ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх значений;	Осуществление зоны сварки с использованием щитов	Защитные перчатки и одежда, защитная
6. Инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх значений уровня инфракрасной	Экранирование зоны работ	Защитные перчатки и одежда, защитная
7. Ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья.	Предупреждающие плакаты, обеспечение безопасного расстояния от источника излучения до оператора и безопасного времени в оператора в зоне излучения	-

#### 4.5 Обеспечение пожарной безопасности

Таблица 4.5 – Анализ опасных факторов возможного пожара участка сварки

Наименование участка	Наименование оборудования	Классификация по виду	Наименование основных опасных	Наименование вторичных опасных
Участок, на котором осуществляется сварка	Угловая шлифовальная машинка, кран, сборочное приспособление, трубки, полуавтомат, источник питания, формирователь импульсов	Пожары, происходящие 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, запитанным высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения.

Таблица 4.5 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Средства для тушения возгораний в начальной стадии	Перечень мобильных средств для проведения	Перечень стационарных систем	Системы пожарной автоматика для	Пожарное оборудование на участке сварки	Средства индивидуальной защиты и спасения производственного	Установленный на участке инструмент для ликвидации	Системы связи и оповещения на участке сварки
Ящики с песком, кошма, огнетушитель ОП-5	Специализированные автомобили (вызываются)	Нет	Нет	-	План эвакуации	Ведро, лопата, багор, топор	Тревожная кнопка

Таблица 4.6 – Мероприятия по организации исключения возгораний на участке

Операции, осуществляемые для технологического процесса	Наименование мероприятий	Наименование противопожарного оборудования, которым должен быть укомплектован участок
Подготовительная операция, операция, сварки контрольные	Инструктаж производственного правилам возгораний и действиям в случае возгорания, игры с сотрудниками по тематике борьбы с пожарами.	На участке иметь первичные пожаротушения в достаточном должны быть экраны, разлет искр.

## 4.6 Оценка безопасности для природной среды предлагаемых технических решений

Таблица 4.7 – Анализ негативно влияющих на природную среду факторов предлагаемых технических решений

Анализируемая операция	Операции, осуществляемые в рамках анализируемого технологического процесса	Факторы, негативно влияющие на атмосферу	Факторы, негативно влияющие на гидросферу	Факторы, негативно влияющие на литосферу
Сварка	Подготовительная операция, сборочная операция, контрольные операции	Выделяемые в процессе горения сварочной аэрозоли, частицы газообразные частицы	Химикаты, используемые в процессе проявления Рентгеновских пленки и закрепления полученного изображения.	Упаковочный материал от присадочных материалов, – бытовой и производственный

Таблица 4.8 – Предлагаемые организационно-технические мероприятия, по уменьшению негативно влияющих на природную среду факторов предлагаемых технических решений

Наименование технического объекта	Сварка
Мероприятия по исключению негативного действия на воздушную среду.	Оборудование вентиляционной системы фильтрами, улавливающими продукты, выделяемые при горении дуги
Мероприятия по исключению негативного действия на водную среду.	Контроль утечек 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

#### **4.7 Заключение по разделу**

В рамках выполнения данного раздела выпускной квалификационной работы выполнялась выявление негативных факторов, сопровождающих предлагаемые технологические решения, и их оценка на предмет отрицательного влияния на рабочий персонал и окружающую среду.

Произведён поиск путей устранения или уменьшения опасных и вредных производственных факторов, установлено, что стандартные средства защиты позволяют достигнуть требуемого уровня безопасности и санитарии производства в условиях осуществления проектного технологического процесса.

В ходе анализа экологичности предложенных технических решений установлено, что проведение процесса сварки сопровождается ущербом окружающей среде. При этом негативное воздействие оказывается на воздушную среду (атмосферу), водную среду (гидросферу), так и на литосферу.

## 5 Экономическая эффективность проекта

Применяемый на предприятии в настоящее время вариант сварки ферм – ручная дуговая сварка. Внесено предложение сварные швы ферм выполнять, используя механизированную сварку в среде углекислого газа. Сравнение достоинств и недостатков данных вариантов приведено в таблице 3.1.

Таблица 5.1 – Сравнительная характеристика вариантов

Базовый вариант	Проектный вариант
Применяемая технология сварки (ММА) ферм характеризуется низкой производительностью процесса, зависимостью от квалификации сварщика.	Применив механизированную сварку в среде CO <sub>2</sub> , можно: увеличить скорость сварки, что повысит и производительность процесса; повысить качество швов, благодаря защитному газу.

Затем рассчитаем экономический эффект от внедрения проектной технологии сварки ферм. Выполнение расчета по сравнению с базовым и проектным методом выполним только по имеющимся статьям затрат.

### 5.1 Исходные данные для экономического обоснования сравниваемых вариантов

Необходимые для выполнения экономических расчетов данные занесены в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Исходные данные для расчёта

№ п/п	Показатель	Усл. обозначения	Ед. изм	Вар. базовый	Вар. проектный
1	2	3	4	5	6

Продолжение таблицы 5.2

1	2	3	4	5	6
1	Цена присадочного материала:	Цэл	Руб/кг	185	170
2	Цена углекислого газа	Цзг	Руб/М <sup>3</sup>	100	100
3	Программа годовая	Нпр	Шт	-	-
4	Значение коэффициента, который учитывает размер транспортно-заготовительных расходов	Ктз	-	1,05	1,05
5	Значение коэффициента, который устанавливает размер доплат к основной заработной плате	Кд	-	1,88	1,88
6	Коэффициент, устанавливающий размер отчислений на дополнительную заработную плату	Кдоп	%	12	12
7	Коэффициент, учитывающего размер отчислений на социальные нужды	Ксн	%	26,2	26,2
8	Цена оборудования	Цоб	Руб	5 млн	5,3 млн
9	Установленная норма амортизационных отчислений на используемое в технологическом процессе оборудование	На	%	18	18
10	Коэф. полезного действия установки	КПД	-	0,7	0,7



1	2	3	4	5	6
11	Стоимость электроэнергии	Цээ	Руб/кВт	2,2	2,2
12	Стоимость аренды площади	Сэкспл	Руб/м <sup>2</sup>	1800	1800
13	Площадь занимаемая оборудованием	S	М <sup>2</sup>	80	90 м <sup>2</sup>
14	Коэффициент, учитывающий затраты на монтаж и демонтаж технологического оборудования	Кмонт	%	-	2
15	Принятое значение нормативного коэффициента эффективности капитальных вложений	Ен	-	0,33	0,33
16	Стоимость приобретения производственных площадей	Цпл	Руб/м <sup>2</sup>	3000	3000
17	Коэф. общепроизв. расходов	Кцех	%	2,15	2,15
18	Коэф. общехоз. расходов	Кпроизв	%	1,9	1,9
19	Норма амортизационных отчислений на площадь	Напл	%	2	2
20	Часовая тарифная ставка	Сч	Руб/час	325	182

## 5.2 Расчет штучного времени на изменяющиеся операции технологического процесса

Штучное время сварки мишени определим по формуле:

$$t_{шт} = t_{н-з} + t_o + t_v + t_{отл} + t_{обсл} + t_{н.п}, \quad (5.1)$$

где  $t_{n-3}$  – подготовительно-заключительное время,  $t_{n-3} = 0,05\%$  от  $t_0$

$t_0 = t_M$  – основное (машинное) время.

$t_B$  – вспомогательное время  $t_B = 10\%$  от  $t_0$ .

$t_{отп}$  – время, затраченное на отдых и личные надобности  $t_{отп} = 5\%$  от  $t_0$ ;

$t_{обсл}$  – время на обслуживание рабочего места  $t_{обсл} = 8\%$  от  $t_0$ ;

$t_{н.п}$  – время неустраняемых перерывов, предусмотренных технологическим процессом, в картах технологического процесса заложено  $1\%$  от  $t_0$ .

Машинное время для автоматической сварки на единицу изделия определим по формуле [13]:

$$t_0 = \frac{60 \cdot L_{ш}}{V_{св}}, \quad (5.2)$$

где  $V_{св}$  – скорость при сварке, м/час;

$L_{ш}$  – суммарная длина швов в мишени, м.

Базовый вариант

$$t_{опр} = \frac{60 \cdot 28,9}{3} = 578 \text{ мин.}$$

$$t_{шппр} = 0,2 + 578 + 57,8 + 28,9 + 46,24 + 5,78 = 716 \text{ мин} = 11,9 \text{ час}$$

Проектный вариант

$$t_{опр} = \frac{60 \cdot 28,9}{8} = 216,75 \text{ мин.}$$

$$t_{шппр} = 0,1 + 216,75 + 21,675 + 10,83 + 17,34 + 2,16 = 268,855 \text{ мин} = 4,48 \text{ час}$$

### 5.3 Капитальные вложения в оборудование

Т.к. в данном проекте нет нормы выпуска, поэтому расчет капитальных вложений в оборудование отсутствует.

## 5.4 Определение технологической себестоимости базового и проектного вариантов

Расчет затрат, направленных на материалы базового и проектного вариантам:

Затраты на сварочные материалы

В базовом варианте

$$ЗМ_{СВПР} = ЗМ_{СВПР} + Ззг, \quad (5.3)$$

где  $Ц_{ЭЛ}$  – цена электрода, руб/кг;

$Н_{ЭЛ}$  = норма расхода, кг.

Норма расхода проволоки

$$Н_{ЭЛ} = У \cdot L = 4,6 \cdot 30 = 138$$

где  $У$  – удельная норма расхода сварочных материалов на длины шва, кг/м;

$L$  – длина сварного шва, м.

$$У = k_p \cdot M_{напл.мет} = 1,7 \cdot 2,74 = 4,658$$

где  $k_p$  – коэффициент расхода сварочных материалов, 1,7;

$M_{напл.мет}$  – расчетная масса наплавленного металла.

$$M_{напл.мет} = \rho \cdot F_n \cdot 10^{-3}, \quad (5.4)$$

где  $\rho$  – плотность наплавленного металла, 7,85 г/см<sup>3</sup>;

$F_n$  – площадь поперечного сечения шва,  $F_n = 10d_{ЭЛ} = 350 \text{ мм}^2$ .

$$M_{напл.мет} = 7,85 \cdot 350 / 1000 = 2,74$$

$$У = 1,7 \cdot 2,74 = 4,658$$

$$Н_{рЭЛ} = 4,658 \cdot 30 = 139,7 \text{ кг}$$

$$З_{ПРБ} = ЗМб = 185 \cdot 139,7 = 25851,9 \text{ руб};$$

Для проектного варианта

$$ЗМ_{СВПР} = ЗМ_{СВПР} + Ззг, \quad (5.5)$$

Затраты на электродную проволоку

$$ЗМ_{СВПР} = Ц_{ПР} \cdot Н_{ПР}, \quad (5.6)$$

где  $C_{\text{ПР}}$  – цена электродной проволоки, руб/кг;

$N_{\text{ПР}}$  = норма расхода электродной проволоки, кг.

Норма расхода проволоки

$$N_{\text{ПР}} = Y * L = 4,6 * 30 = 138,$$

где –  $Y$  - удельная норма расхода сварочных материалов на длины шва, кг/м;

$L$  – длина сварного шва, м.

$$Y = k_p * M_{\text{напл.мет}} = 1,7 * 2,74 = 4,6$$

где  $k_p$  – коэффициент расхода сварочных материалов, 1,05;

$M_{\text{напл.мет}}$  – расчетная масса наплавленного металла.

$$M_{\text{напл.мет}} = \rho * F_n * 10^{-3}, \quad (5.7)$$

Где  $\rho$  – плотность наплавленного металла, 2,7 г/см<sup>3</sup>;

$F_n$  – площадь поперечного сечения шва,  $F_n = 10d_{\text{пр}} = 20 \text{ мм}^2$ .

$$M_{\text{напл.мет}} = 7,85 * 350 / 1000 = 2,74$$

$$Y = 1,7 * 2,74 = 4,658$$

где –  $Y$  - удельная норма расхода сварочных материалов на длины шва, кг/м по стандартам предприятия;

$L$  – длина сварного шва.

$$N_{\text{ПР}} = 4,658 * 30 = 139,7 \text{ кг}$$

$$Z_{\text{ПР}} = 170 * 139,7 = 23749 \text{ руб.}$$

Затраты на защитный газ (проектный вариант)

$$Z_{\text{з.г.}} = C_{\text{з.г.}} * N_{\text{з.г.}}, \quad (5.8)$$

где  $C_{\text{з.г.}}$  – цена защитного газа, руб/литр;

$N_{\text{з.г.}}$  – норма расхода защитного газа на 1 погонный метр шва, литр.

Норму расхода защитных газов определяем при сварке:

$$N_{\text{з.г.}} = U_{\text{з.г.}} * L + U_{\text{доп.}} = 1807 * 30 + 1,3 = 54211,3$$

где  $U_{\text{з.г.}}$  – удельная норма расхода защитного газа на 1 метр шва, по стандартам предприятия, л.

$$U_{з.г.} = q_{зг} \cdot t_0, \quad (5.9)$$

где  $q_{зг} = 10$  л/мин;

$t_0$  – основное машинное время сварки.

$$t_0 = L_{ш}/V_{св} = 28924/160 = 180,7 \text{ мин} = 3,01 \text{ часа}$$

$$U_{з.г.} = 10 \cdot 180,7 = 1,807 \text{ л.}$$

$U_{доп.}$  – дополнительный расход газа на подготовительно-вспомогательной операции (продувка магистрали и т.д.),  $m^3$ .

$$U_{доп} = t_{всп} \cdot q_{зг}, \quad (5.10)$$

где  $t_{всп}$  – вспомогательное время, необходимое для продувки шлангов, мин;

$D_{зг}$  – удельная норма расхода защитного газа за единицу времени,  $m^3/\text{мин}$ .

$$U_{доп} = 0,13 \cdot 10 = 1,3 \text{ литра.}$$

$$N_{рз.г.б} = U_{з.г.} \cdot L + U_{доп.} = 1807 \cdot 28,9 + 0,5 = 54211,3 \text{ литра}$$

$$Z_{з.г} = 0,1 \cdot 54211,3 = 5421,13 \text{ руб.}$$

Затраты на материалы в проектном варианте

$$Z_{мпр} = Z_{пр} + Z_{зг} = 790,5 + 5421,13 = 6211,3 \text{ руб.}$$

Затраты на электроэнергию рассчитаем исходя из полезной мощности оборудования [10]:

$$Z_{э-э} = \frac{P_{об} \cdot t_0}{\eta \cdot 60} \cdot C_{э-э}, \quad (5.11)$$

где  $P_{об} = I_{св} \cdot U_{д}$  – полезная мощность оборудования КВА;

$t_0$  – основное (машинное) время работы сварочного оборудования;

$\eta$  – коэффициент полезного действия оборудования;

$I_{св}$  – сила сварочного тока, А;  $U_{д}$  – напряжение на дуге, В.

$$P_{OB}^{IP} = 200 \cdot 23 = 4,6 \text{ кВА};$$

$$P_{OB}^{BA3} = 250 \cdot 22 = 5,5 \text{ кВА}.$$

$$З_{\text{э-эб}} = \frac{5,5 \cdot 578}{0,8 \cdot 60} \cdot 1,74 = 115,2 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{э-э пр}} = \frac{4,6 \cdot 216}{0,8 \cdot 60} \cdot 1,74 = 35,99 \text{ руб}$$

Полезную мощность оборудования для РДС определяет по режимам сварки: сила тока и напряжение,

$$P_{OB}^{BA3} = 578 * 22 = 12716 \text{ Вт} = 12,7 \text{ кВт}$$

Тогда

$$З_{\text{э-эб}} = \frac{12,7 \cdot 11,9}{0,7} \cdot 2,2 = 474,98 \text{ руб.}$$

К режимам механизированной сварки относят: силу тока, скорость подачи проволоки, напряжение [10].

$$P_{np} = 216 * 23 = 4968 \text{ Вт} = 4,9 \text{ кВт}$$

Тогда

$$З_{\text{э-эпр}} = \frac{4,9 * 4,48}{0,7} \cdot 2,2 = 78,4 \text{ руб.}$$

Затраты на содержание и эксплуатацию оборудования.

$$З_{об} = A_{об} + P_{т.р} + З_{в.тех} + З_{сж.возд}, \quad (5.12)$$

где  $A_{об}$  – амортизационные отчисления на оборудование, руб.;

$P_{т.р}$  – затраты на текущий ремонт оборудования, руб.;

$З_{в.тех}$  – затраты на воду техническую;

$З_{сж.возд}$  – затраты на сжатый воздух.

Затраты на амортизацию оборудования

$$A_{об.} = \frac{Ц_{об} * На_{об} * t_{шт}}{\Phi_{эф} * 60 * 100}, \quad (5.13)$$

где  $Ц_{об}$  – цена оборудования по базовому и проектному вариантам, руб;

$На_{об}$  – норма амортизации оборудования, %;

$$A_{обб} = \frac{5000000 * 1,9 * 18}{1812 * 100} = 15,72 \text{ руб}$$

$$A_{обпр} = \frac{5300000 * 2,1 * 18}{1812 * 100 * 60} = 18,42 \text{ руб}$$

Затраты на текущий ремонт оборудования рассчитываются по формуле [10]:

$$P_{т.р} = \frac{Ц_{об} * H_{т.р} * k_з}{\Phi_{эф} * 100}, \quad (5.14)$$

где  $H_{т.р}$  – норма отчислений на текущий ремонт оборудования,  $\approx 35\%$ ;

$$P_{т.р.б} = \frac{5000000 * 35 * 0,18}{1812 * 100} = 173,84 \text{ руб.}$$

$$P_{т.р.пр} = \frac{5300000 * 35 * 0,12}{1812 * 100} = 122,84 \text{ руб.}$$

Итого, затраты на оборудование

$$З_{ОББ} = 15,72 + 173,84 = 189,56 \text{ руб}$$

$$З_{обпр} = 18,42 + 122,84 = 141,26 \text{ руб.}$$

Затраты на содержание и эксплуатацию производственных площадей [13]

$$З_{плоч} = \frac{Ц_{плоч} * S_{плоч} * На_{плоч} * t_{шт}}{\Phi_{эф} * 100 * 60}, \quad (5.15)$$

где:  $Ц_{плоч}$  – цена  $1\text{ м}^2$  производственной площади, руб.;

$На_{плоч}$  – норма амортизационных отчислений на здания, %;

$S_{\text{плоч}}$  – площадь, занимаемая сварочным оборудованием, м<sup>2</sup>;

$$Z_{\text{плоч}} = \frac{3000 * 80 * 2 * 1,9}{1812 * 100 * 60} = 0,083 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{плоч}} = \frac{3000 * 90 * 2 * 2,1}{1812 * 100 * 60} = 0,104 \text{ руб.}$$

Затраты на заработную плату основных производственных рабочих с отчислениями на социальные нужды.

Фонд заработной платы (ФЗП) представляет собой сумму основной зарплаты и дополнительной [10].

$$\text{ФЗП} = \text{ЗПЛосн} + \text{ЗПЛдоп}, \quad (5.16)$$

Затраты на основную заработную плату.

$$\text{ЗПЛосн} = t_{\text{шт}} \cdot \text{Сч} \cdot k_{\text{зпл}}, \quad (5.17)$$

где Сч – часовая тарифная ставка рабочего, руб/час;

$t_{\text{шт}}$  – норма штучного времени, час;

$k_{\text{зпл}}$  – принятое значение коэффициента, который учитывает начисления на основную заработную плату.

$$k_{\text{зпл}} = k_{\text{пр}} * k_{\text{вн}} * k_{\text{у}} * k_{\text{нф}} * k_{\text{н}}, \quad (5.18)$$

где  $k_{\text{пр}} = 1,25$  – коэффициент премирования;

$k_{\text{вн}} = 1,1$  – коэффициент выполнения норм;

$k_{\text{у}} = 1,1$  – коэффициент, который учитывает доплаты за условия труда;

$k_{\text{нф}} = 1,067$  – коэффициент, который учитывает доплаты за профессиональное мастерство;

$k_{\text{н}} = 1,133$  – коэффициент доплат за работу в вечерние и ночные смены.

$$k_{\text{зпл}} = 1,25 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,057 \cdot 1,133 = 1,81$$

$$\text{ЗПЛ}_{\text{осн}}^{\text{б}} = 0,034 \cdot 57,5 \cdot 5 \cdot 1,88 = 2,4 \text{ руб}$$

$$\text{ЗПЛ}_{\text{осн}}^{\text{пп}} = 0,023 \cdot 57,5 \cdot 5 \cdot 1,88 = 1,62 \text{ руб}$$



Затраты на дополнительную заработную плату

$$ЗПЛ_{доп} = \frac{k_d}{100} \cdot ЗПЛ_{осн}, \quad (5.19)$$

где  $k_d$  – коэффициент, соотношения между основной и дополнительной заработной платой, 10%.

$$ЗПЛ_{доп}^Б = 2,4 \cdot 12 / 100 = 0,29 \text{ руб.}$$

$$ЗПЛ_{доп}^{ПР} = 1,62 \cdot 12 / 100 = 0,19 \text{ руб.}$$

$$\PhiЗП_Б = 2,4 + 0,29 = 2,69 \text{ руб.}$$

$$\PhiЗП_{ПР} = 1,62 + 0,19 = 1,81 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды

$$O_{CH} = \PhiЗП \cdot N_{соц} / 100, \quad (5.20)$$

где  $N_{соц}$  – коэффициент, учитывающий отчисления на социальные нужды, 30 %.

$$O_{CH}^{БАЗ} = 2,69 \cdot 30 / 100 = 0,7 \text{ руб}$$

$$O_{CH}^{ПР} = 1,81 \cdot 30 / 100 = 0,47 \text{ руб.}$$

Технологическая себестоимость

$$C_{тех} = ЗМ + Зэ-э + Зоб + Зплоч + \PhiЗП + O_{CH}, \quad (5.21)$$

$$C_{тех}^{БАЗ} = 25851,9 + 474,98 + 189,56 + 0,08 + 2,69 + 0,7 = 26519,9 \text{ руб.}$$

$$C_{тех}^{ПР} = 6211,3 + 76,032 + 141,26 + 0,1 + 1,81 + 0,47 = 6430,9 \text{ руб.}$$

Расчётное определение величины цеховой себестоимости производим на основании зависимости:

$$C_{цех} = C_{тех} + R_{цех}, \quad (5.22)$$

где  $R_{цех}$  – сумма цеховых расходов, руб.

$$R_{цех} = Z_{осн} \cdot K_{цех} / 100, \quad (5.23)$$

где  $K_{цех}$  – коэффициент, который учитывает цеховые расходы, %.

$$C_{цех}^{БАЗ} = 26519,9 + 5,16 = 26525,06 \text{ руб.}$$

$$C_{цех}^{ПР} = 6430,9 + 3,48 = 6434,38 \text{ руб.}$$

Заводская (производственная) себестоимость

$$\text{Спроизв} = \text{Сцех} + \text{Рпроизв} = \text{Сцех} + \text{Кзав} \cdot \text{Зосн} / 100, \quad (5.24)$$

где  $\text{Рзав}$  – сумма заводских расходов, руб.

$\text{Кзав}$  – коэффициент общезаводских расходов, %

$$C_{\text{ПРОИЗВ}}^{\text{БАЗ}} = 26525,06 + 4,56 = 26529,62 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{ПРОИЗВ}}^{\text{ПР}} = 6434,38 + 3,07 = 6437,45 \text{ руб.}$$

Таблица 5.3 - Калькуляция себестоимости сварки мишени

№ п/п	Показатели	Усл. обозн	Калькуляция, руб	
			Базовый	Проектный
1	Материалы вспомогательные	ЗМ	25851	6211,3
2	Затраты на электроэнергию	Зэ-э	474,98	78,4
3	Фонд заработной платы	ФЗП	2,69	1,81
4	Отчисления на социальные нужды	Осн	0,7	0,47
5	Затраты на содержание и эксплуатацию оборудования	Зоб	189,56	141,26
6	Затраты на площади	Зпл	0,083	0,104
7	Себестоимость технологическая	$C_{\text{ТЕХ}}$	26519,9	6430,9
8	Цеховые расходы		5,16	3,48
9	Себестоимость цеховая	Сцех	26525,06	6434,38
10	Заводские расходы		4,56	3,07
11	Себестоимость заводская (производственная)	$C_{\text{ЗАВ}}$	26529,62	6437,45

## 5.5 Расчет экономической эффективности

Ожидаемая прибыль (условно-годовая экономия) от снижения себестоимости изготовления изделия и годовой экономической эффект не рассчитываются.

## 5.6 Расчет снижения трудоемкости и повышения производительности труда в проектом варианте

$$\Delta t_{шт} = \frac{t_{штБ} - t_{штПР}}{t_{штБ}} \cdot 100\% , \quad (5.25)$$

$$\Delta t_{шт} = \frac{11,9 - 4,48}{11,9} \cdot 100\% = 62,3\%$$

Повышение скорости сварки привело к снижению трудоемкости.

Величину показателя увеличения производительности труда определим по формуле:

$$\Delta \Pi_T = \frac{100 \cdot \Delta t_{шт}}{100 - \Delta t_{шт}} , \quad (5.26)$$

$$\Delta \Pi_T = \frac{100 \cdot 62,3}{100 - 62,3} = 165\%$$

## Заключение

Целью выпускной квалификационной работы являлось повышение производительности сборки-сварки мостовых ферм. Для этого был разработан технологический процесс производства секции фермы арочного моста сварным методом с использованием механизированной сварки в смеси защитного газа.

По отношению к другим способам сварки мостовых ферм, выбранный метод предполагает высокую производительность и высокое качество сварных соединений. Исходя из расчетов, показатель величины повышения производительности составляет 165%. Также показатель трудоемкости снизился, по отношению к базовому варианту, на 62,3%.

Исходя из конструкции фермы выбраны типы сварных соединений.

Данный вид производства, помимо высокой производительности, характеризуется относительно невысокой стоимостью. Мостовые фермы, изготовленные данным методом, ненамного уступают в прочности, однако экономичность скорость изготовления делают их востребованными и конкурентоспособными на рынке сбыта.

В процессе выполнения работы выявлены негативные факторы, сопровождающие предлагаемые технологические решения, и их оценка на предмет отрицательного влияния на рабочий персонал и окружающую среду. Произведен поиск способов для устранения или уменьшения опасных и вредных производственных факторов. Исходя из теоретического анализа, установлено, что стандартные средства защиты позволяют достигнуть требуемого уровня безопасности в условиях осуществления технологического процесса.

Разработанный технологический процесс доказывает, что механизированная сварка в среде защитных газов, по сравнению с ручной дуговой сваркой, позволяет повысить производительность, что и являлось целью проекта.

## Список используемых источников

1. Артъемьева С.А. Новый мост – подарок родному городу. – Ржев.- Электромеханик, 2019.-№16. – с.35-39.
2. Безопасность технологических процессов и производств : учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности Автомобиле - и тракторостроение / Л. Н. Горина, Н. А. Ермолаева, А. А. Солдатов ; Федеральное агентство по образованию, Тольяттинский гос. ун-т, Каф. "Управление промышленной и экологической безопасностью". - Тольятти : ТГУ, 2007. - 170 с.
3. Болтовое, сварное, клепаное. Какое соединение лучше? [Электронный ресурс].- URL:<https://samara-metall.ru/articles/razbiraemsja-kakoe-soedinenie-luchshe-svarnoe-ili-boltovoe> (дата обращения 21.12.2019).
4. В.Н. Волченко, В.В. Фролов. Теория сварочных процессов. Издательство «Высшая школа», 1988 г.
5. Герасимова С.А. Ржевская бойня. Потерянная победа Жукова.- М.: - Изд-во.,2009.-358с.
6. ГОСТ 14771-76 Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры (с Изменениями № 1, 2, 3).
7. ГОСТ 8509-93 Уголки стальные горячекатаные равнополочные. Сортамент.
8. ГОСТ Р 55724-2013 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые.
9. Е.П. Покатаев. Расчет режимов дуговой сварки, 1987
- 10.И.В. Краснопевцева Экономика и управление машиностроительным производством: электронное учеб.-метод. Пособие / И.В. Краснопевцева, Н.В. Зубкова.-Тольятти: Изд-во ТГУ,2014.- электрон.опт.диск.
- 11.И.В. Смирнов. Сварка специальных сталей и сплавов. Издательство «Тольяттинский государственный университет», 2008 г.

12. И.Ю. Амирджанова, Т.А. Варенцова, В.Г. Виткалов, А.Г. Егоров, В.В. Петрова. Правила оформления выпускных квалификационных работ. Издательство «Тольяттинский государственный университет», 2019 г.
13. К887 Кудинова, Г.Э. Экономика природопользования: учеб. пособие / Г.Э. Кудинова, Е.А. Ужамецкая. – Тольятти: ТГУ, 2008. – 147 с.
14. Какие бывают фермы – виды ферм [Электронный ресурс] – URL: <https://martand.ru/raznoe/kakie-byvayut-fermy-vidy-ferm.html> (дата обращения 14.11.19)
15. Козулин М.Г. Технология изготовления сварных конструкций. Учеб. метод. Пособие к курсовому проектированию. – Тольятти: ТГУ 2008. – 77 с.
16. Конаков Р.В. Особенности сварки фермы арочного моста // Сб. материалов XVI студ. науч. - техн. конф. «Сварка-пайка-обработка металлов давлением» / под ред. В.В. Ельцова, А.С. Климова. - Тольятти : Изд-во ТГУ, 2020.
17. Металлические мосты/ сквозные конструкции [Электронный ресурс]. – URL: <http://vse-lekcii.ru/mosty-i-tonneli/metallicheskie-mosty/obshhie-svedeniya-skvoznymi-fermami> (дата обращения 25.11.2019).
18. Носов С.И. Дефекты наружного газопровода // Сб. материалов XIV и XV студ. науч. - техн. конф. «Сварка-пайка-обработка металлов давлением» / под ред. В.В. Ельцова, А.С. Климова. - Тольятти : Изд-во ТГУ, 2019. - С.137-138
19. Особенности автодорожных мостов со сквозными фермами [Электронный ресурс]. – URL: <http://vse-lekcii.ru/mosty-i-tonneli/metallicheskie-mosty/osobennosti-avtodorozhnyh-mostov-so-skvoznymi-fermami> (дата обращения 31.11.2019).
20. Положение о выпускной квалификационной работе. – Тольятти: ТГУ 2019.
21. Преддипломная практика/ Казаков Ю.В. – Тольятти: ТГУ, 2007-13 с Библиогр.: 2 азв.

22. Проектирование мостов [Электронный ресурс]. – URL: <http://tspmsk.ru/vidyi-rabot/proektirovanie/metallicheskie-mostyi/> (дата обращения 5.12.2019).
23. Сварочный аппарат для механизированной сварки ESAB Aristo Mig 5000iw [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ventsvar.ru/catalog/esab-aristo-mig-5000i.html?pid=22626> (дата обращения 23.12.2019).
24. Ультразвуковой дефектоскоп УДЗ 71 [Электронный ресурс].- URL: <http://povercon.ru/tovar/ultrazvukovoj-metod-kontrol/ultrazvukovye-defektoskopy/ultrazvukovoj-defektoskop-ud3-71/> (дата обращения 14.12.2019).