

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 соединения труб с трубной доской  
теплообменника

Студент

Б.Д. Муродов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А.Л. Федоров

(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 2021

## Аннотация

Цель выпускной квалификационной работы – снижение трудоемкости изготовления трубного пучка для кожухотрубчатых теплообменников.

Чтобы реализовать поставленную цель в выпускной квалификационной работе выполнены следующие задачи: проанализированы методы автоматизации процесса сварки труб в трубной решетке; разработана технология автоматизированной сварки рассматриваемого изделия; выбрано оборудование для осуществления предлагаемого технологического процесса; разработаны мероприятия по защите рабочих, выполняющих сварку от вредных и опасных факторов технологии; выполнены необходимые расчеты по экономическому обоснованию.

Проектный вариант технологии предполагает использование автоматизированной сварки за счет применения специализированной сварочной головки POLYSOUD TC34. Автоматизация способа сварки позволяет повысить производительность выполнения сварочных работ.

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 0,5 млн. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,5 года.

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки и графической части. Пояснительная записка содержит 60 листов, 15 рисунков, 13 таблиц. Графическая часть содержит 3 листа формата А1 и 2 листа формата А0.

## **Abstract**

The purpose of the final qualification work is to reduce the complexity of manufacturing a tube bundle for shell-and-tube heat exchangers.

In order to achieve this goal, the following tasks were performed in the final qualification work: methods of automating the process of welding pipes in a pipe grid were analyzed; the technology of automated welding of the product in question was developed; equipment for the implementation of the proposed technological process was selected; measures were developed to protect workers performing welding from harmful and dangerous factors of technology; the necessary calculations were made on the economic justification.

The design version of the technology involves the use of automated welding through the use of a specialized welding head POLYSOUD TC34. Automation of the welding method allows you to increase the productivity of welding operations.

The annual economic effect of implementing the project technology is 0.5 million rubles. The payback period for capital expenditures is 0.5 years.

The qualifying work consists of an explanatory note and a graphic part. The explanatory note contains 60 sheets, 15 figures, 13 tables. The graphic part contains 3 sheets of A1 format and 2 sheets of A0 format.

## Содержание

Введение.....	5
1 Анализ исходных данных и известных технических решений .....	7
1.1 Кожухотрубчатый теплообменник и его характеристика.....	7
1.2. Базовый технологический процесс сварки трубной решетки теплообменника .....	13
1.3. Анализ возможных способов сварки труб с трубной доской.....	19
1.4. Задачи выпускной квалификационной работы .....	25
2 Технологический процесс автоматической сварки труб с трубной доской ....	26
2.1 Выбор оборудования для автоматизированной сварки.....	26
2.2 Разработка автоматизированного процесса сварки .....	28
3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса .....	31
3.1 Технологическая характеристика объекта.....	31
3.2 Идентификация профессиональных рисков .....	32
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков.....	34
3.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта .....	35
3.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта .....	37
4 Оценка экономической эффективности проектной технологии .....	39
4.1 Исходная информация для выполнения экономической .....	39
оценки предлагаемых технических решений .....	39
4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования.....	41
4.3 Расчёт штучного времени.....	42
4.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии ..	45
4.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии.	50
4.6 Показатели экономической эффективности.....	52
Заключение .....	56
Список используемой литературы и используемых источников.....	58

## Введение

Теплообменная аппаратура применяется практически везде. Начиная от вычислительной техники, процессоры снабжаются радиаторами для отвода тепла и в промышленности применяются теплообменные аппараты различных типов, например кожухотрубчатые теплообменники или градирни в тепловых электростанциях. Для этих теплообменных устройств характерным является значительные размеры. Градирня может достигать в высоту десятки метров.

Кожухотрубчатые теплообменники применяют для передачи тепла от одной среды к другой. Рассматриваемый теплообменник обеспечивает передачу тепла от метанола к синтез газу и выполнен из коррозионно-стойкой стали. Характерной особенностью любого кожухотрубчатого теплообменника является наличие множества сварных соединений труб с трубной доской. При этом процесс получения соединений труб с трубной доской, характеризуется применением ручной дуговой сварки в среде аргона неплавящимся электродом является трудоемким способом, повышающим себестоимость изготовления аппарата.

Поэтому разработка технологического процесса, позволяющего снизить трудоемкость сварки труб в трубной доске, является актуальной темой.

При внедрении прогрессивных технологий сварки, основанных на современных достижениях мировой науки, достигается множественный положительный эффект: производительность труда увеличивается, стабилизируется качество сварных соединений. В настоящее время при изготовлении трубных решеток теплообменников могут быть применены различные способы сварки.

С точки зрения конструкции теплообменника для активного процесса теплообмена необходимым условием является возможно большая величина

площади соприкосновения двух сред с различной температурой. Есть разновидности теплообменных устройств труба в трубе. Такие теплообменники характеризуются малой трудоемкостью, но в них площадь соприкосновения, разумеется, через слой металла, двух сред с разной температурой невелика. Уменьшив диаметр трубы и увеличив их количество можно площадь, через которую передается тепло, значительно увеличить. Однако при этом появляется необходимость обеспечить герметичные соединения множества труб с трубной доской. Применяемый для рассматриваемого теплообменника технологический процесс сварки труб с трубной доской характеризуется высокой трудоемкостью. Каждое соединение трубы с трубной доской обваривается сварщиком вручную

Таким образом, целью выпускной квалификационной работы будет снижение трудоемкости изготовления трубного пучка для кожухотрубчатых теплообменников.

## 1 Анализ исходных данных и известных технических решений

### 1.1 Кожухотрубчатый теплообменник и его характеристика

Теплообменные аппараты широко применяют в энергетике, химической промышленности и т.д. Наибольшее распространение нашли кожухотрубные теплообменники, рисунок 1. Они предназначены для передачи тепла от одной среды к другой.

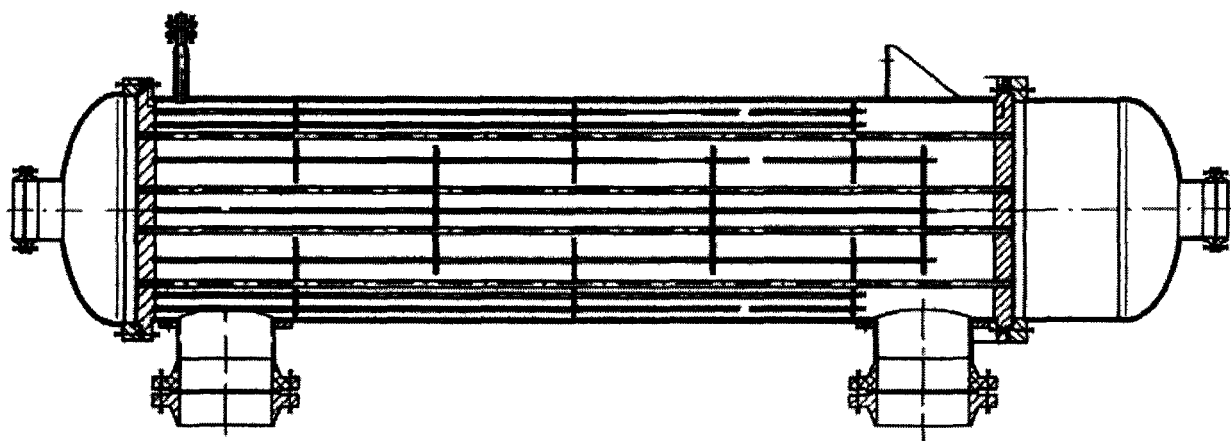


Рисунок 1 - Общий вид кожухотрубчатого теплообменника

Характерная особенность таких теплообменников наличие трубных решеток с закрепленными в них трубами. Варианты закрепления концов труб в трубных решетках могут быть различными: сварка, развальцовка, пайка. Пучок труб обеспечивает отсутствие контакта между двумя средами. Для рассматриваемого теплообменника это метанол-сырец и синтез газ.

Условия эксплуатации рассматриваемого теплообменника представлены в таблице 1.1.

По толщине стенки сосуда аппараты делятся на тонкостенные и толстостенные. Сосуды с толщиной стенки до 36 мм включительно относятся к тонкостенным, выше 36 мм к толстостенным. Таким образом, рассматриваемый теплообменник является тонкостенным сосудом (толщина стенок 16-20 мм) [1].

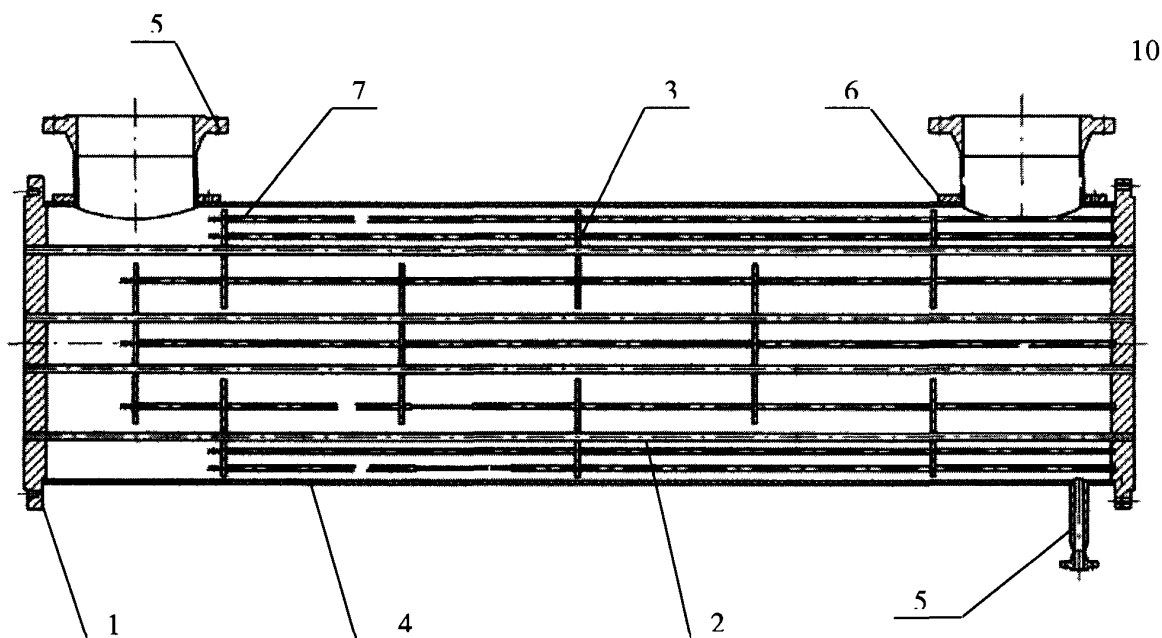
Таблица 1 - Условия эксплуатации теплообменника

Наименование		Параметры пространства	
		Трубного	Межтрубного
Среда	состав	метанол-сырец	синтез-газ
	взрывоопасность ГОСТ 12.1011-78	да	да
	пожароопасность ГОСТ 12.1.004-76	да	да
	Токсичность, класс опасности вредных веществ по ГОСТ 12.1007 -76	3 кл. оп.	1 кл. оп.
	вызывает или нет	мкк коррозионное растрескивание	нет  нет
Давление, МПа, (кгс/см <sup>2</sup> )	рабочее	0,18(1,8)	2,0 (20)
	расчетное	0,6 (6)	2.3 (23)
	пробное гидравлическое	0,8 (8)	3,68 (36,8)
Температура С°	рабочая	84,89/87,17	134/114
	расчетная	170	200
Прибавка для компенсации коррозии, мм		3,2	0
Срок службы, лет		10	
Число циклов нагружения		10	100
Вместимость, м <sup>3</sup>		2,7	3,4
Группа аппарата по ОСТ 26-219-94		1	1
Материал		12X18H10T трубные решетки	трубы 12X18H10T



По конфигурации поверхности теплообмена теплообменник относится к трубчатым, а по компоновке к кожухотрубчатым теплообменникам (в соответствии с ГОСТ 9929). [2] Габаритные размеры теплообменника, мм 7713x2954x1950. Масса подогревателя, кг 21 500. Так как технология изготовления разрабатывается для трубного пучка теплообменника, то в дальнейшем рассматриваются его конструктивно-технологические характеристики. Габаритные размеры, мм 4610x1900x1900. Масса, кг 9 040.

Трубный пучок подогревателя, рисунок 2, состоит из следующих основных сборочных единиц: трубные решетки, перегородки, трубы, обечайки, штуцера, накладки.



1-трубная решетка; 2-труба; 3- перегородка; 4-обечайка; 5-штуцер; 6-накладка; 7-распорка.

Рисунок 2 - Пучок трубный

Материал трубных решеток и теплообменных труб рассматриваемого теплообменника коррозионостойкая сталь аустенитного класса 12X18H10T (ГОСТ 5632-72).

Поскольку для соединения труб и трубной решетки рассматриваемого теплообменника применяют дуговую сварку выполним анализ стали 12X18H10T на свариваемость.

Химический состав данного материала отражен в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав стали 12X18H10T

C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	Ni, %	Ti, %	S, %	P, %
0,09	≤ 0,71	≤ 1,52	18,4	10,2	0,76	≤ 0,008	≤ 0,018

«Сопrotивление коррозионному действию внешней среды в стали 12X18H10T обеспечивает прочная и плотная пленка оксида хрома, препятствующая контакту стали со средой. Но хром затрудняет сварку сталей. Кроме того, образующиеся при сварке карбиды хрома ухудшают сопротивление стали действию агрессивных сред» [27].

«Анализ свариваемости стали 12X18H10T позволит выбрать подходящие способы и режимы сварки. Согласно применяемым на практике методикам оценки свариваемости материалы, не способные соединяться сваркой одним способом могут быть успешно соединены другим способом. Или посредством применения специальных технологических приемов» [27]. Это следует из того, что методики оценки свариваемости учитывают свойства свариваемого материала, технологию сварки, конструктивные особенности сварного узла и особенности его эксплуатации [1].

Можно сделать вывод, что при одних эксплуатационных требованиях одна конструкция сварного соединения обеспечивает выполнение эксплуатационных требований и материал свариваемостью обладает. «А при другой конструкции эксплуатационные требования не выполняются и материал может быть признан не обладающим свариваемостью» [28].

«Поэтому применяемые для оценки свариваемости методики характеризуются комплексностью. Тем не менее, при количественной

оценке свариваемости в расчетных формулах, в первую очередь, учитывается содержание тех или иных химических элементов в соединяемом материале. Например, определить вероятность образования при сварке сталей горячих трещин можно используя формулу определения показателя Уилкинсона» [28]:

$$HCC = \frac{C \left( S + P + \frac{Si}{25} + \frac{Ni}{100} \right) 10^3}{3Mn + Cr + Mo + V}, \quad (1)$$

«После выполненных расчетов по данной формуле проводят оценку появления горячих трещин по величине показателя HCC и по величине предела прочности» [28].

«Однако расчетные формулы не могут учесть все факторы эксплуатации сварного изделия. Поэтому разработаны различные методы испытания на свариваемость. Различают механические, неразрушающие, эксплуатационные и специальные методы. Механические, эксплуатационные и специальные методы предусматривают разрезку или разрушение сварных соединений и применяются, в основном, в лабораторных условиях» [28].

«При оценке склонности к горячим трещинам при сварке возможны такие варианты сварки образцов, как с жестким заземлением, с приложением нагрузок, и с определением прочности и пластичности при высоких температурах» [28].

«Исследование образцов с жестким заземлением не позволяет получить количественную оценку склонности к образованию трещин. Исследуемый образец или разрушился, или нет» [28].

«Исследование образцов с приложением нагрузок требует контроля деформаций, напряжений в исследуемых образцах. Достоинством является возможность определения количественных параметров трещин» [28].

«Исследование пластичности в горячем состоянии основано на том, что недостаточные пластические характеристики по отношению к деформациям являются причинами возникновения горячих трещин» [28].

Появляющиеся при сварке нержавеющей сталей сложности пытались исследовать многие ученые. Результатом их научных работ стали технологические рекомендации, обеспечивающие хорошие эксплуатационные характеристики сварных соединений нержавеющей сталей.

Еще одной проблемой при сварке нержавеющей сталей является межкристаллитная коррозия. К межкристаллитной коррозии может привести перегрев. «Причиной перегрева могут быть такие отклонения от параметров технологического режима сварки как высокая сила сварочного тока, низкая скорость сварки. Также необходимо при многопроходной сварке дожидаться остывания наложенного валика и затем выполнять следующий валик. Высокая температура ускоряет процессы диффузии, атомы углерода диффундируют из глубины кристалла в приповерхностную область, там соединяются с атомами хрома в карбиды и поверхностный слой обедняется хромом» [30].

«Также уменьшается количество хрома при большой длине дуги. При увеличении длины дуги ухудшается защита сварочной ванны, выгорают такие элементы как хром, титан» [29].

«С учетом изложенного выработаны технологические рекомендации по сварке нержавеющей сталей – вести сварку на минимальной длине дуги и тонкими валиками, при многопроходной сварке, обеспечивая охлаждение каждого валика» [29].

Научные работы в области аргодуговой сварки неплавящимся электродом (TIG) за последние 20 лет были направлены, в первую очередь, на повышение производительности способа. Дело в том, что концентрация

тепловой энергии у такой дуги невелика и уступает некоторым другим способам дуговой сварки [26].

На практике часто используют для увеличения производительности увеличение силы сварочного тока при одновременном увеличении скорости выполнения сварного шва. Однако для нашего случая данный вариант неприемлем по причине снижения качества шва [6].

Для повышения производительности за счет увеличения мощности дуги возможно применение активирующих флюсов [27]. Но пространственное положение шва при сварке труб с трубной доской в трубном пучке регламентируется высотой производственного здания. Трубная доска располагается при получении сварных соединений вертикально, следовательно сварка с применением флюсов для данного варианта неприемлема.

Применение продольного магнитного поля обеспечивает сжатие столба дуги и увеличение концентрации энергии и проплавляющего действия дуги. Главный недостаток указанного метода для создания магнитного поля требуется дополнительное устройство, размещенное на горелке. При этом уменьшается маневренность сварщика [8].

## **1.2. Базовый технологический процесс сварки трубной решетки теплообменника**

Соединение сборочных деталей рассматриваемого теплообменника, с учетом того, что он выполнен из нержавеющей стали, реализуется ручной дуговой сваркой в аргоне неплавящимся электродом.

При этом применяют такие сварочные материалы как:

- сварочная проволока Св-04Х19Н9;
- электрод вольфрамовый лантанированный;
- аргон.

При этом применяют оборудование:

- выпрямитель ВКСМ-1000;
- балластный реостат РБ-301.

Типовая технология сборки-сварки трубного пучка включает в себя следующие операции: зачистка, обезжиривание, сборка, прихватка, обварка, контроль.

Поверхность «Б» необходимо зачистить от окалины и ржавчины, рисунок 3.

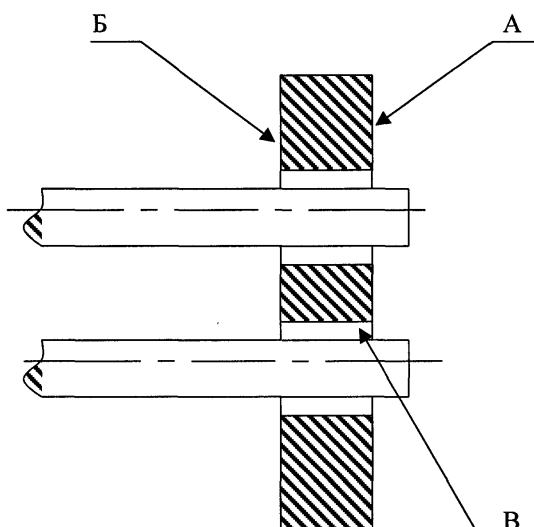


Рисунок 3 - Порядок обезжиривания

Поверхность «А» следует обезжирить ацетоном, см. рис. 1.3. И поверхность «В» также следует обезжирить ацетоном, см. рис. 3.

В процессе сборки устанавливается на универсальную оснастку технологический швеллер. Затем на него устанавливается трубная решетка. Неподвижность ее обеспечивается технологическими распорками. Установить перегородки на технологических швеллерах. Перегородки устанавливать поочередно. Затем следует завести 10 контрольных труб с помощью конуса-ловителя в трубные решетки. Собранный каркас фиксируется с помощью болтовых соединений, рисунок 4 [6].

Контролировать сборочную операцию труб с первой трубной

решеткой:

- а) геометрические размеры каркаса трубного пучка согласно чертежу;
- б) перпендикулярность расположения решетки и перегородок к контрольным трубам;
- в) вертикальное расположение трубной решетки и перегородок.

Набить каркас трубного пучка трубами. Трубы при набивке выдвигать за пределы решетки на расстояние, равное толщине трубной решетки +10 мм, рисунок 5.

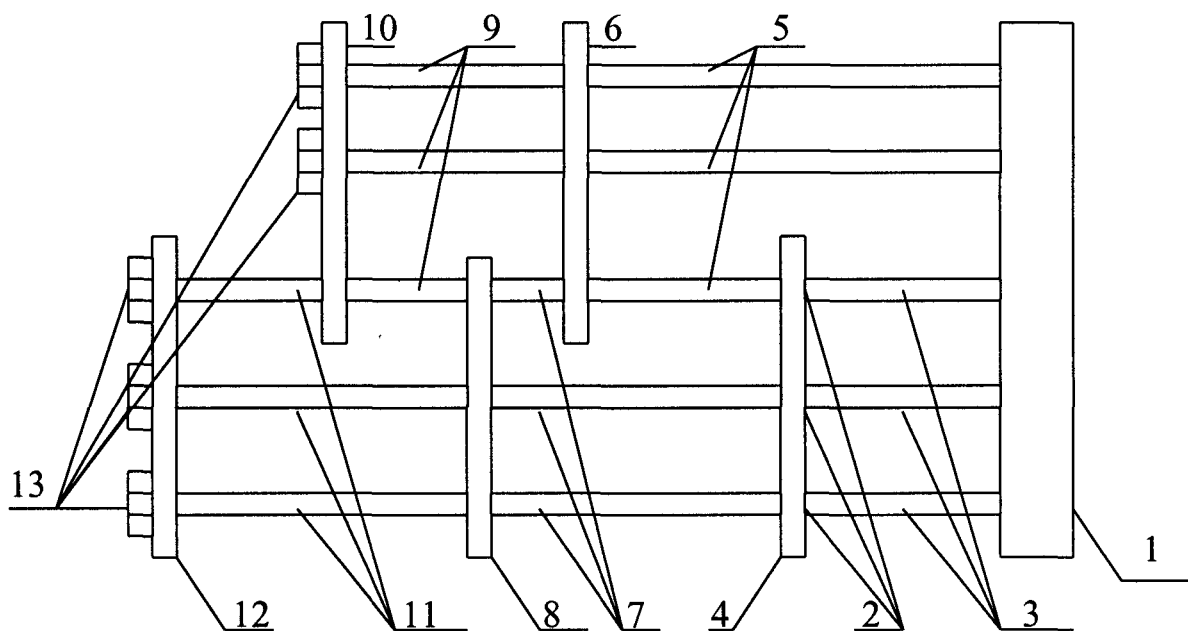


Рисунок 4 - Порядок сборки каркаса трубного пучка

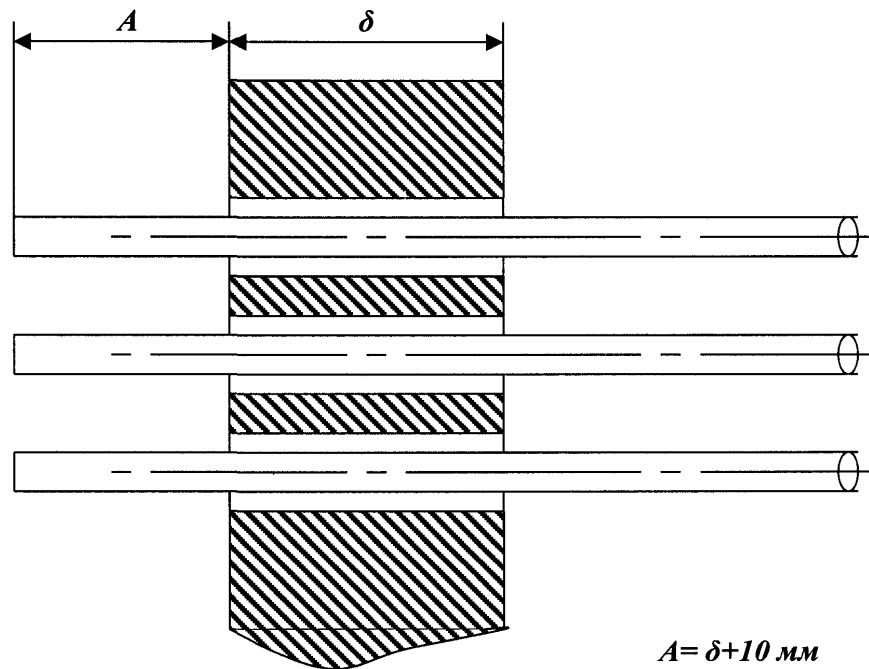


Рисунок 5 - Вылет труб при набивке

Установить вторую трубную решетку согласно чертежу. Зафиксировать положение второй решетки на технологическом швеллере технологическими распорками.

Контролировать сборочную операцию труб со второй решеткой:

- а) геометрические размеры расположения трубной решетки;
- б) вертикальное расположение решетки;
- в) перпендикулярность расположения трубной решетки к контрольным трубам [6].

Завести трубы в трубную решетку. Выровнять расположение труб в одной трубной решетке. Вылет труб из решетки обезжирить. Выравнивание вылета труб производить следующим образом:

- а) выставить две противоположно лежащие трубы каждого ряда труб в ручную по линейке
- б) выровнять ряд трубы по двум крайним поверочной линейкой, таким образом, выравниваются все ряды труб во всех направлениях рисунок 6.



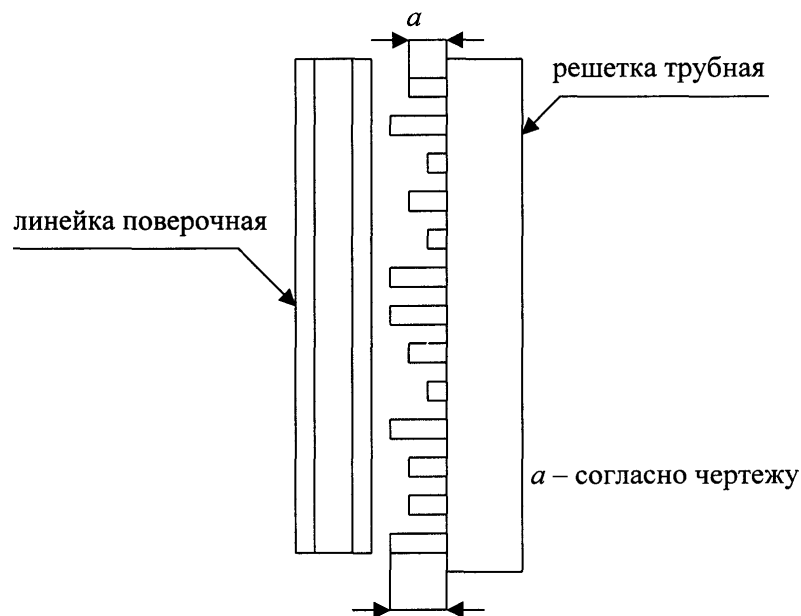


Рисунок 6 - Выравнивание ряда труб

Произвести подвальцовку концов труб в одной трубной решетке конической развальцовкой. Чтобы трубы не вращались при подвальцовке, со стороны второй трубной решетки в трубы вставляются фиксаторы. Оборудование и инструмент согласно типоразмера. Проверить качество подвальцовки внешним осмотром [6].

Прихватить трубы в одной трубной решетке ручной аргоно-дуговой сваркой неплавящимся электродом ЭВЛ. Торцы труб расположены в вертикальной плоскости. Каждую трубу прихватить в одном месте, располагая прихватку под углом  $45^\circ$  к оси трубы [6]. Длина прихватки  $l_{пр}=10$  мм, рисунок 7.

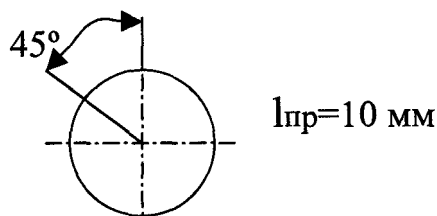


Рисунок 7 - Место установки прихватки

При прихватке не допускается прожог трубы. Источник питания сварочной дуги - УДГ-121.

Проверить качество прихваток внешним осмотром.

Обезжирить трубные решетки повторно. Обезжирить внешнюю выступающую и внутреннюю (на глубину 15-20 мм) части труб.

Обварить трубы в решетках ручной аргодуговой сваркой неплавящимся электродом ЭВЛ 03 мм с присадочной проволокой  $I_{св}=50—80$  А. Обварку труб вести в два прохода. Сварку вести в вертикальной плоскости. Шов неповоротный, короткий [5]. Обварку труб в решетках вести по схеме, согласно рисунка 8. . Не допускать перегрева трубной решетки. Сварку каждого участка начинать только после остывания трубной решетки до  $t=60-70^{\circ}\text{C}$ . Источник питания сварочной дуги - УДГ-121.

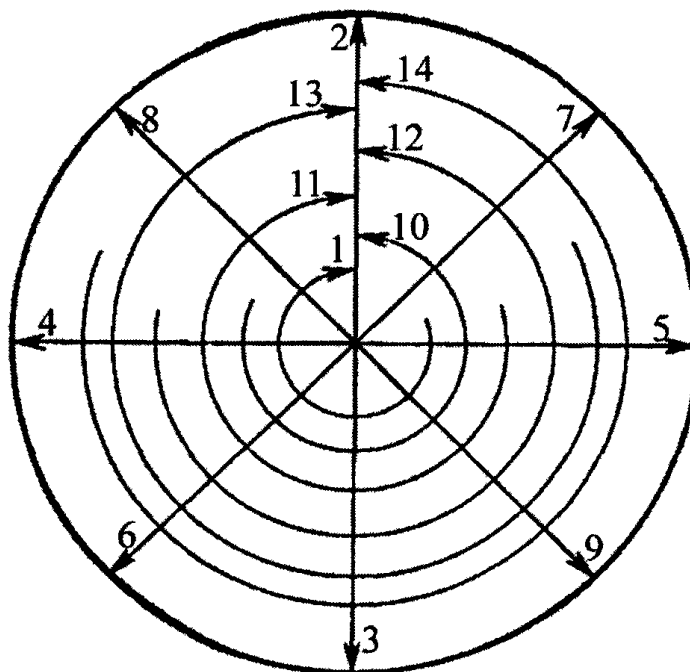


Рисунок 8 - Последовательность обварки труб

Клеймить швы обварки труб в решетках ударным способом, цифровым клеймом сварщика рисунок 9.

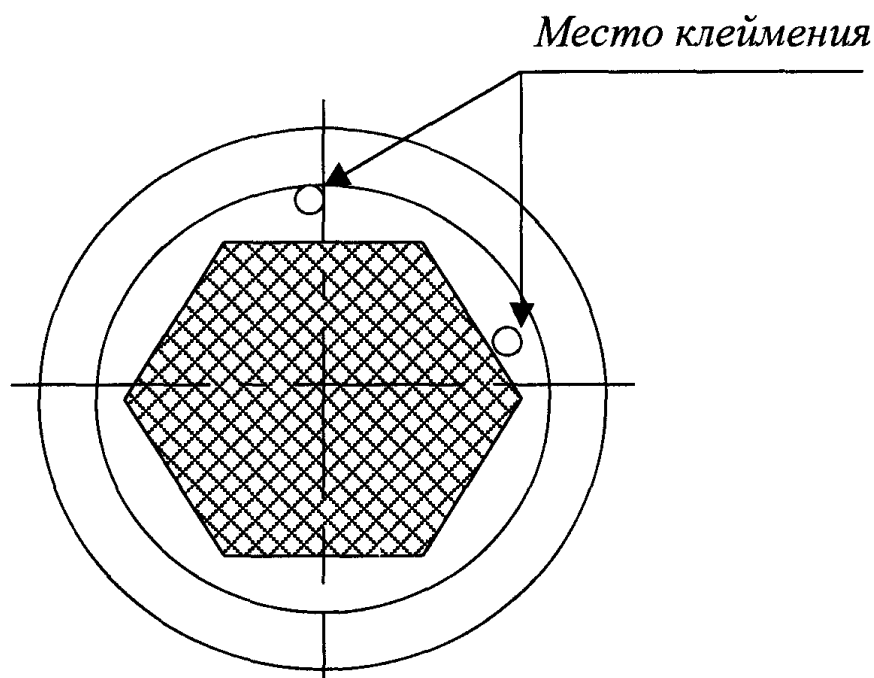


Рисунок 9 - Правильное клеймение трубной решетки

Визуально-измерительный контроль качества сварных швов, не допускаются: подрезы, прожоги, свищи, трещины.

### 1.3. Анализ возможных способов сварки труб с трубной доской

Если рассмотреть классификацию способов сварки согласно ГОСТ 19521-74 «Сварка металлов. Классификация», сварка классифицируется по группам признаков на физические, технические и технологические. По физическим группам признаков сварка подразделяется на классы: термический, термомеханический и механический. Если рассмотреть термический класс сварки, то он может быть реализован посредством таких видов сварки как: дуговая, электрошлаковая, электронно-лучевая, плазменно-лучевая, ионно-лучевая, тлеющим разрядом, световая, индукционная, газовая, термитная, литейная.

Однако не все перечисленные виды могут быть применены к сварке труб с трубной доской. Например, для варианта электрошлаковой сварки не подходят толщины. Для реализации варианта электронно-лучевой сварки

необходима вакуумная камера с габаритами внутреннего пространства превышающими размеры теплообменника. Наиболее подходящим вариантом сварки является дуговая. Однако она может быть реализована несколькими способами.

Возможным электродуговым способом сварки нержавеющей стали является сварка штучными электродами, рисунок 10.

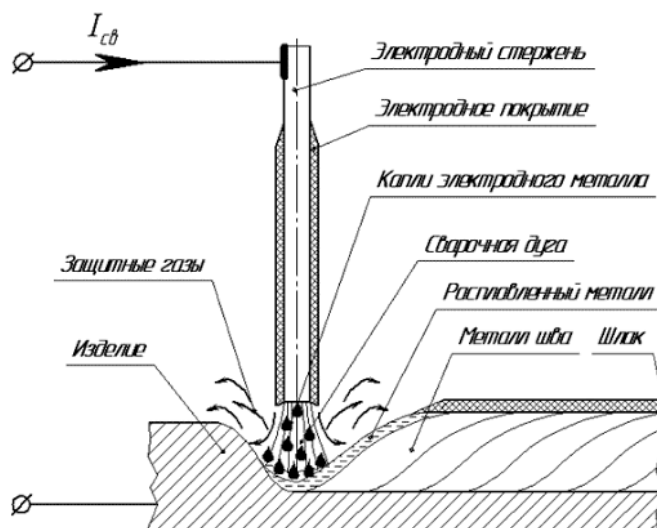


Рисунок 10 – Схема сварки покрытыми электродами

Преимущества сварки штучными электродами: является простота процесса, несложность оборудования, повышенная мобильность при проведении сварочных работ (работать можно автономно) сварка во всех положениях, возможность соединения сваркой различных материалов [29].

Недостатки способа: отсутствует частичная или полная механизация процесса, малая производительность процесса сварки. Качество сварного шва, наплавленного валика зависит напрямую от уровня подготовки сварщика. Большое число проходов при выполнении сварки больших толщин. Причем, каждый наплавленный валик требуется зачищать от шлака, доля неметаллических включений может остаться в шве при плохой зачистке. Большое проплавление металла и как следствие неоднородность по составу электродного металла и доли основного металла [28].

Несмотря на все это данный способ остается самым простым и распространенным способом получения сварных соединений в промышленности.

Один из недостатков сварки штучными электродами, такой как низкая производительность, устраняется применением механизации процесса подачи присадочного материала в зону горения дуги.

Механизированную сварку производят на постоянном токе, полярность обратная, рисунок 11.

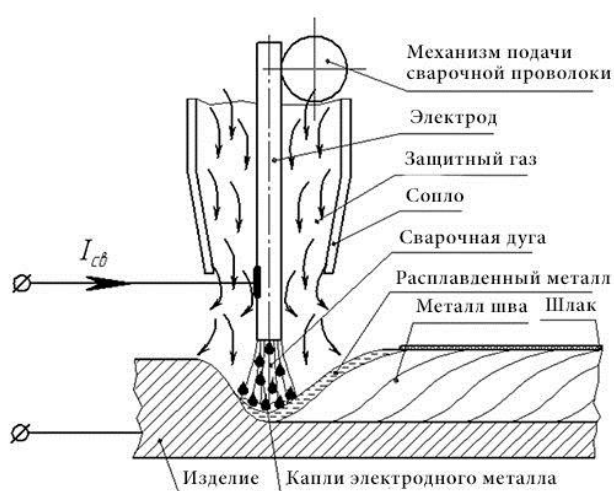


Рисунок 11 – Механизированная сварка в среде защитного газа

Электродную проволоку выбирают исходя из условий работы детали. Чаще всего это проволоки с повышенным содержанием марганца и кремния [16]. Это нужно для обеспечения одинакового химического состава наплавленного валика сварного шва и основного металла. Марганец и кремний в результате их высокого сродства к кислороду выгорают. Скорость сварки выбирается исходя из геометрических параметров детали (толщины изделия).

Достоинства сварки в защитном газе: меньшее проплавление основного металла и как следствие более однородная структура металла шва, эксплуатационные характеристики металла на порядок выше, чем при наплавке с помощью покрытых электродов, возможность проводить процесс

наплавки в различных пространственных положениях, высокая степень производительности и механизации [26].

К недостаткам можно отнести сильное разбрызгивание металла на повышенных токах. Затруднения процесса сварки при работе на открытых участках из-за сдувания дуги и загрязнения сопла горелки. Для работы на высоких параметрах режима сварки потребуются горелки с водяным охлаждением.

Плазменная сварка металлов современный способ дуговой сварки, рисунок 12. Заключается в термическом воздействии на соединяемые детали плазменной струи. В качестве присадочного металла можно применять прутки и ленты.

Различают способы сварки деталей плазменной струей такие как: дугой прямого действия (дуга горит между электродом из вольфрама и изделием, на присадочную проволоку питание не осуществляется), независимой дугой (дуга горит между электродом плазмотрона и присадочной проволокой, металл изделия нейтрален) комбинированного действия с использованием двух дуг (одна дуга горит между неплавящимся электродом и затвором арматуры, вторая дуга горит между присадочной проволокой и вольфрамовым электродом) [12]. При использовании дуги прямого действия обеспечить малое проплавление возможно лишь при малых токах, производительность будет не выше, чем при использовании менее производительных способов наплавки [16].

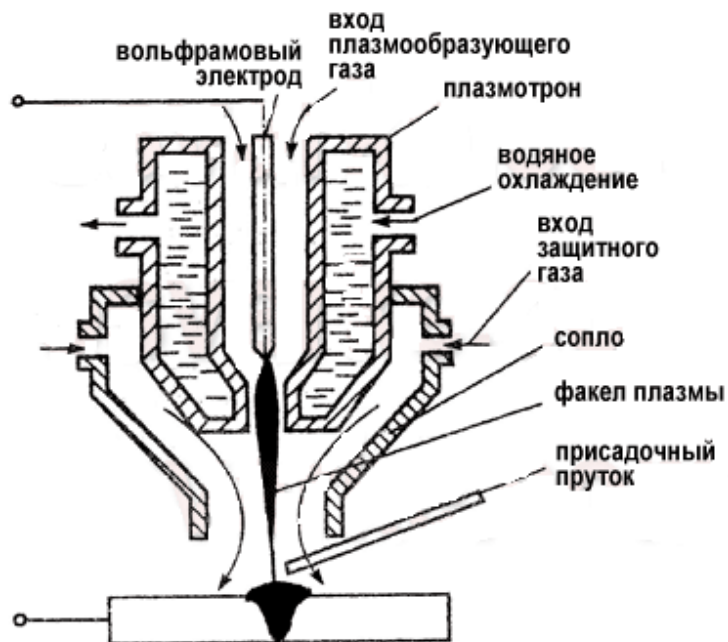


Рисунок 12 – Схема процесса плазменной сварки

Использование повышенных токов не допустимо – возможно значительное проплавление металла трубы и трубной решетки.

Достоинства способов плазменной сварки: высокая концентрация теплоты плазменной струи и минимальная зона термического влияния на основной металл.

Недостатки данного способа: сложность оборудования и технологического процесса.

Большое применение для сварки нержавеющей и иных легированных сталей а также цветных металлов нашла сварка неплавящимся электродом в среде защитного газа, рисунок 13.

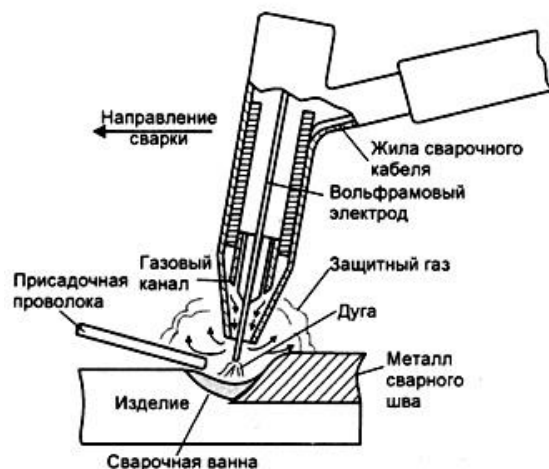


Рисунок 13 – Схема аргонодуговой сварки

Данный вариант применяется в базовом варианте технологического процесса. Формирование валика осуществляется за счет тепла дуги от неплавящегося электрода и присадки.

В качестве присадки, для проведения сварочных работ используют прутки химический состав которых может совпадать с химическим составом основного металла, а может и отличаться от него. В некоторых случаях применяют присадки обеспечивающие стойкость сварных швов деталей, работающих в агрессивных средах, с различными нагрузками и при больших температурах. Сварка такими присадочными материалами обеспечивает повышенный ресурс деталей.

Достоинствами данного способа можно отметить: отсутствие брызг металла во время проведения сварочных работ, минимальное количество дефектов по сравнению с другими способами сварки, уменьшенные деформации из-за малой зоны нагрева изделия, повышенное качество сварного шва из-за применения защитного газа, аргон не взаимодействует с металлом [20].

Недостатками данного способа можно выделить: способ сварки не отличается высокой производительностью, защита сварного шва может быть нарушена из-за работы на улице, ветер, при больших силах тока требуется использовать горелки с водяным охлаждением, для выполнения работ



требуется сварщик высокой квалификации, сложное оборудование и долгая настройка параметров режима сварки.

Сопоставительный анализ возможных способов сварки позволяет сделать вывод о том, что лучше оставить применяемый способ сварки, неплавящимся электродом в среде защитного газа. Но чтобы минимизировать такие недостатки способа как необходимость высокой квалификации сварщика и высокая трудоемкость применить автоматизацию процесса сварки.

#### **1.4. Задачи выпускной квалификационной работы**

Анализ базового технологического процесса сварки трубного пучка показал, что у него есть минусы. Главный из которых большое количество соединений труб с трубной доской. Таким образом, для достижения поставленной в проекте цели необходимо решить следующие задачи: проанализировать методы автоматизации процесса сварки труб в трубной решетке; разработать технологию автоматизированной сварки рассматриваемого изделия; выбрать оборудование для осуществления предлагаемого технологического процесса; разработать мероприятия по защите рабочих, выполняющих сварку от вредных и опасных факторов технологии; выполнить необходимые расчеты по экономическому обоснованию.

## **2 Технологический процесс автоматической сварки труб с трубной доской**

### **2.1 Выбор оборудования для автоматизированной сварки**

На основании требований и рекомендаций ОСТ 26-291-01 «Сосуды и аппараты стальные сварные. Технические требования» в части, касающейся сварки, а также с учетом анализа свариваемости материала, и анализа возможных способов сварки, выполненных в разделе 1 делаем вывод, что аргоно-дуговая сварка, применяемая при обварке труб в базовом варианте - оптимальный способ сварки с учетом:

- марки стали труб и трубной решетки;
- толщины труб;
- типа сварного соединения (с выступом трубы над плоскостью трубной решетки);
- расстояния между труб на трубной решетке. Таким образом, способ сварки в проектом варианте не изменится.

Таким образом, выбираем автоматическую сварку для соединения труб и трубных решеток. Данный вариант позволит снизить трудоемкость и повысить производительность сварочных работ [26].

В настоящее время промышленностью изготавливаются аппараты, позволяющие соединять трубы с трубными досками в автоматическом режиме. Сварщик выполняет только установку и настройку оборудования. Следовательно, необходимо из выпускаемого промышленными предприятиями перечня оборудования для автоматической сварки труб с трубными досками, выбрать автомат, обеспечивающий выполнение требований по производительности, качеству. Сварочный автомат должен обладать определенной степенью универсализма, чтобы его применяемость не ограничивалась рассматриваемым теплообменником. Анализ

предлагаемых промышленностью технических решений позволяет остановить выбор на аппарате сварочном AUTOTIG 250-4 SE, оснащенный головкой сварочной POLYSOUD TS34, рисунок 2.1.

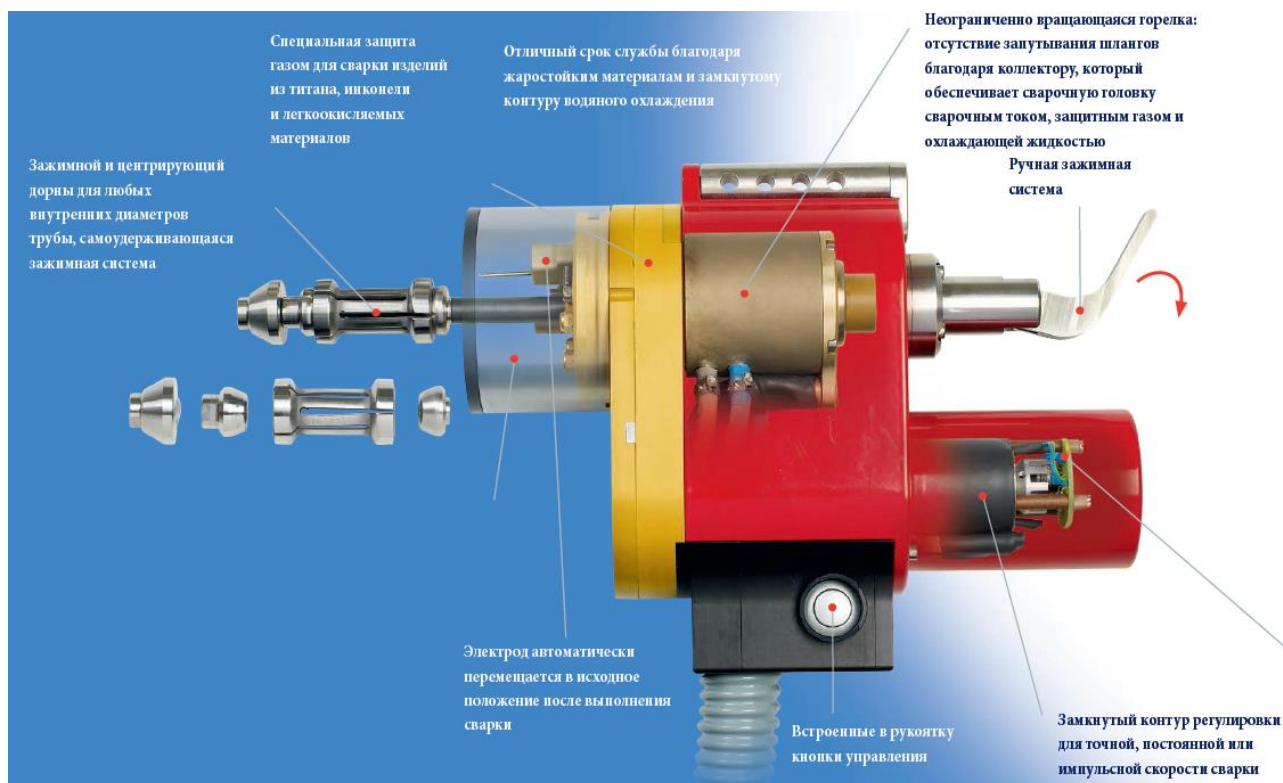


Рисунок 14 - Сварочная головка «POLYSOUD» TS34

Технические характеристики: диапазон регулирования тока. 5-250 А; диапазон регулирования напряжения, 10-28 В; напряжение холостого хода, 60 В; потребляемая мощность, 10 кВт

Сварочная головка состоит из следующих компонентов:

- базовое тело, изолированное относительно сварочного напряжения;
- бесконечно вращающийся шпиндель, оснащенный следующими элементами: ртутный коллектор для перехода тока при максимально 200 А при 60% Е; газовый и водяной коллекторы (присоединения для газа, а также подводимой и отводимой воды); система водоснабжения; узел регулирования длины (максимально 10 мм) применительно к положению шпинделя относительно основного тела; приводной электродвигатель; алюминиевый корпус; шланги для соединения со сварочными автоматами.

## 2.2 Разработка автоматизированного процесса сварки

Технология сварки труб с трубной доской для рассматриваемого теплообменника с применением технологии автоматической сварки изменений в части зачистки, прихваток, обезжиривания не претерпевает.

Контроль выполняется труб и трубных решеток на соответствие требованиям чертежа. Также выполняется проверка сварочных материалов.

Необходимо после операций входного контроля зачистить поверхности трубных решеток от грязи, окалины и ржавчины. Зачистить наружную поверхность концов труб, помещаемых в трубные решетки на длине, равной толщине трубной решетки до чистого металла. Применяется для этих целей щетки металлические. Возможно применение абразивных кругов. Обезжиривание выполняется ветошью и ацетоном. При этом следует обратить внимание на средства защиты производственных рабочих.

Затем на швеллер технологический устанавливают трубную решетку и перегородки. В трубную решетку вворачивают стяжные шпильки. Перегородки выставляют согласно размеров на чертеже. Собранный каркас набивают трубами, вылет труб обезжиривают.

Следующая операция прихватка труб в одной трубной решетке. Прихватка выполняется ручной аргоно-дуговой сваркой неплавящимся электродом. Длина прихватки 10мм, сила сварочного тока 50-80 А, расход защитного газа 5-6 л/мин. Установка применяется УДГ-121.

Изменяется последовательность операций сварки. Сначала необходимо установить необходимые инструмент и принадлежности, настроить режим сварки. Затем следует установить сердечник центровочный в отверстие свариваемой трубы. После чего необходимо надеть на сердечник головку сварочную до упора кольца установочного в трубную решетку. Затем включается система охлаждающая аппарата. После чего включается поджиг дуги и автоматическое перемещение вольфрамового электрода по

окружности. Выполняется автоматическая сварка кольцевого шва. При этом следующие параметры режима сварки, сила сварочного тока 50...80 А, подача защитного газа – 5...6 литров в минуту. Напряжение на дуге 25...28 В.

После сварки одного шва выполняется переход к другому шву. При этом контролируется температура трубной доски. Сварку очередной трубы начинают после остывания трубной решетки до 60-70 С. Последовательность сварки труб согласно рисунка 15.

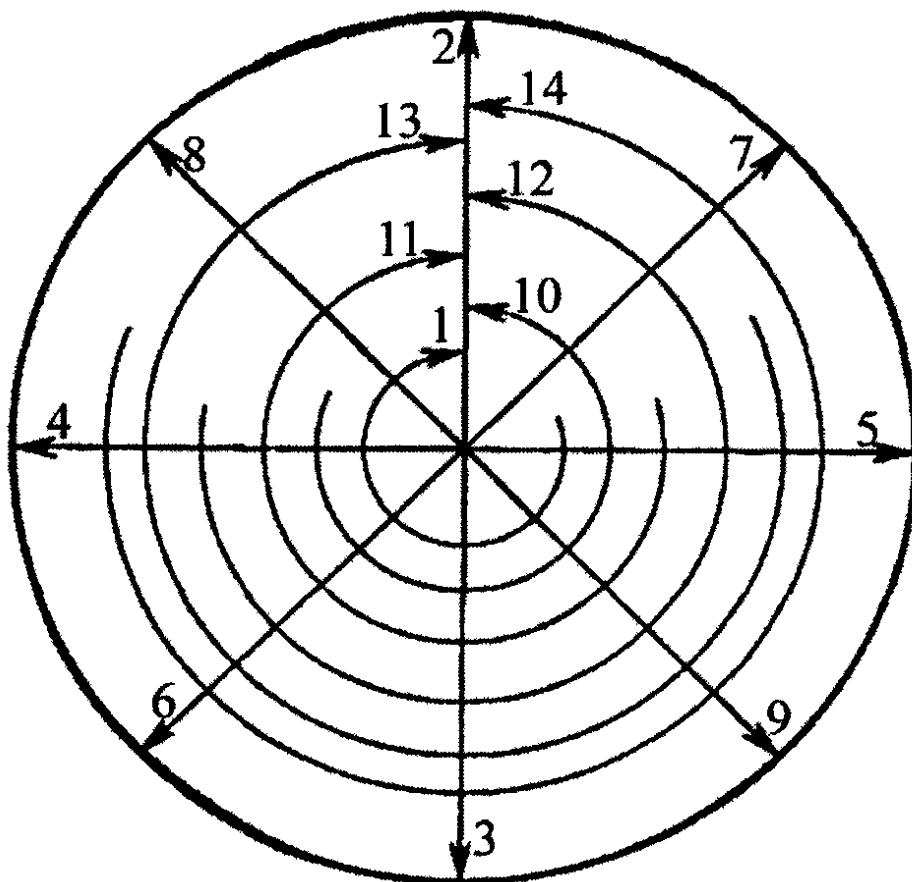


Рисунок 15 - Последовательность сварки труб

Каждый стык клеймится клеймом.

Операционный контроль предусмотрен визуально-измерительный. 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. Для этого нужно осмотреть сварные швы, измерить их геометрические характеристики с помощью УШС.

3. По геометрии швы должны соответствовать требованиям чертежа. Трещины всех видов и размеров в швах сварных соединений труб с трубной доской 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. Для данной металлоконструкции предусмотрен вариант капиллярного контроля.

### **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 элементов кожухотрубного теплообменника, в частности получения сварных соединений трубной доски с трубами. Проектная технология предусматривает применение автоматической сварки с применением сварочной головки POLYSOUD TC34. 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, таблица 3: 1) входной контроль (для выполнения операции применяются мостовой кран, набор строп, линейка металлическая, карманный фонарик, маркер по металлу, индикатор); 2) заготовительная операция (для выполнения операции применяются щетка металлическая, швеллер технологический); 3) прихватка труб с трубной доской (для выполнения операции применяются универсальная сварочная оснастка, струбины, угольник, линейка, сварочный источник питания УДГ-121, сварочная проволока, защитный газ, зачистная машинка); 4) сварка труб с

трубной доской (для выполнения операции применяются сердечник центровочный, сварочный автомат «POLYSOUD» TS34, сварочная проволока, защитный газ); 5) контроль качества (для выполнения операции применяется набор визуально-измерительного контроля, шаблон УШС-3).

Таблица 3 - 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	мостовой кран, набор строп, линейка металлическая, карманный фонарик, маркер по металлу, индикатор	Рукавицы
2) заготовительная операция	Слесарь-сборщик	Щетка металлическая, швеллер технологический	Рукавицы, ацетон
3) прихватка труб с трубной доской	Электросварщик	Сварочный аппарат УДГ-121	Рукавицы, сварочная проволока, защитный газ,
4) сварка труб с трубной доской	Электросварщик	Сердечник центровочный, сварочный автомат, «POLYSOUD» TS34	Рукавицы сварочная проволока, защитный газ,
5) контроль качества	Дефектоскопист	набор визуально-измерительного контроля, шаблон УШС-3	Рукавицы

### 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,



таблица 4. 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 [24].

Таблица 4 – 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	2	3
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>- инструменты</li> </ul>
2) заготовительная операция	<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>- швеллер технологический</li> </ul>
3) прихватка труб с трубной доской	<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> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- швеллер технологический;</li> <li>- струбины;</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>

## Продолжение таблицы 4

1	2	3
4) сварка труб с трубной доской	<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>- швеллер технологический;</li> <li>- сварочный автомат;</li> <li>- сварочный источник питания;</li> <li>- сварочная дуга;</li> <li>- сварочный аэрозоль;</li> <li>- нагретые края изделия</li> </ul>
5) 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>	

### 3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 5 – 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	2	3
1) острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования.	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек;</li> <li>2) проведение с персоналом инструктажа по технике безопасности</li> </ul>	Спецодежда.
2) движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону;</li> <li>2) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек</li> </ul>	Спецодежда
3) повышенная запыленность и загазованность воздуха	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) применение устройств местного удаления загрязнённого воздуха;</li> </ul>	Средства защиты дыхательных путей

## Продолжение таблицы 5

1	2	3
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	-

### 3.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

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, таблица 6, позволит в дальнейшем сформулировать технические предложения, таблица 7.

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 6 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

«Наименование участка» [30].	«Наименование оборудования» [30].	«Классификация по виду горящего вещества» [30].	«Наименование основных опасных факторов пожара» [30].	«Наименование вторичных опасных факторов пожара» [30].
«Участок, на котором осуществляется сборка и сварка» [30].	«Технологический швеллер, источник питания сварочной дуги AUTOTIG 250-4 SE, головка сварочная POLYSOUND TS34, машинка шлифовальная» [30].	«Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)» [30].	«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» [30].	«Короткие замыкания на оборудовании, запитанным высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения» [30].

Таблица 7 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

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

Полноценная защита работающего персонала и имущества предприятия от вероятностного пожара обеспечивается при условии проведения соответствующих организационных мероприятий, таблица 3.6.

Таблица 8 – 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 труб с трубными решетками (механизованная и автоматическая сварка в защитном газе проволокой сплошного сечения)	«Инструктаж сотрудников производственного участка правилам предупреждения возгораний и действиям в случае возгорания, деловые игры с сотрудниками по тематике борьбы с пожарами» [30]..	На участке необходимо иметь первичные средства пожаротушения в достаточном количестве, должны быть защитные экраны, ограничивающие разлет искр.

### 3.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта

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, таблица 9 этих негативных факторов и предложить меры защиты, таблица 10.

Таблица 9 – 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 труб с трубной решеткой (механизованная и автоматическая сварка в защитном газе проволокой сплошного сечения)	«Подготовительная операция, сборочная операция, операция сварки стыка, контрольные операции» [30].	«Выделяемые в процессе горения сварочной дуги аэрозоли, частицы сажи и газообразные частицы» [30].	«Химикаты, используемые в процессе проявления рентгеновской пленки и закрепления полученного изображения» [30]..	«Упаковочный материал от присадочных материалов, мусор – бытовой и производственный» [30].

Таблица 10 – 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» [30].
Мероприятия по исключению негативного действия на водную среду.	Контроль утечек в системе охлаждения сварочной головки 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» [30].

Настоящий раздел выпускной квалификационной работы посвящён поиску и анализу негативных производственных и экологических факторов, возникновение которых произойдёт при реализации предлагаемой технологии сборки и автоматической сварки труб с трубной доской кожухотрубчатого теплообменника.

Изучение особенностей технологического процесса сборки и сварки трубной доски с трубами для кожухотрубчатого теплообменника с применением технологии автоматизированной 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.

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.

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

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

В настоящей выпускной квалификационной работе предложено для повышения эффективности сварки труб с трубной доской кожухотрубчатого теплообменника за счёт применения современных достижений сварочной науки в области автоматизации процесса сварки. Принято решение построение проектной технологии сварки выполнять на базе оборудования для автоматической сварки труб с трубной решеткой, аппарат сварочный AUTOTIG 250-4 SE, оснащенный головкой сварочной POLYSOUD TS34.

Базовый вариант технологии предполагает использование ручной дуговой сварки по методу TIG. Проектный вариант технологии предполагает использование автоматизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения.

Замена способа ручной сварки на автоматическую 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, таблица 11.

Таблица 11 – 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 экономическо го 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	$Ц_{об}$	Руб.	1500000	2400000
Принятое значение установленной мощности оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	$M_{уст}$	кВт	5	8
Принятые значения коэффициентов для расчёта расходов на оборудование :				
- норма амортизации оборудования	$Н_{а}$	%	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	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	3,02	3,02



Продолжение таблицы 11

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	$S$	$m^2$	11	11
Принятые значения коэффициентов и показателей для расчёта расходов на площади:				
- стоимость эксплуатации площадей	$C_{\text{экс}}$	$(P/m^2)/\text{год}$	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	$E_{\text{н}}$	-	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, см. табл. 4.1: 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  $T_{п} = 1$  час, принятое для рассматриваемого технологического процесса число рабочих смен  $K_{см} = 1$ . Таким образом, рассчитываем фонд времени по зависимости:

$$F_{н} = (D_{р} \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см} . \quad (1)$$

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

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

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

$$F_{э} = F_{н} (1 - B/100) . \quad (2)$$

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 рассчитаем исходя из длины сварного шва и скорости сварки. Скорость сварки для применяемого на предприятии технологического процесса составляет  $V_{св} = 20-25$  см/мин, для предлагаемого  $V_{св} = 50-55$  см/мин.

Протяженность сварных швов в применяемом и предлагаемом варианте технологии составляет  $L = 28703$  сантиметров.

Для определения численных значений машинного времени воспользуемся формулой:

$$t_{маш} = \frac{\Sigma L}{V_{СВ}} \quad (4)$$

Машинное время, рассчитанное для базового и проектного вариантов технологии согласно (4), составит:

$$t_{машб} = 28703,7/25 = 1148,148 \text{ мин} = 19,13 \text{ час}$$

$$t_{машпр} = 28703,7/50 = 574,07 \text{ мин} = 9,56 \text{ час}$$

Штучное время, рассчитанное для базового и проектного вариантов технологии согласно (3), составит, таблица 12:

Таблица 12 – Штучное время

Вариант	$t_{маш}$	$t_{всп}$ 15%	$t_{обсл}$ 10%	$t_{отл}$ 5%	$t_{п-з}$ 1%	$t_{шт}$
Базовый:	19,13	2,8695	1,913	0,9565	0,1913	25,06
Проект.	9,56	1,434	0,956	0,478	0,0956	12,53

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

Расчёт экономической эффективности проектной технологии будем

выполнять для годовой программы  $\Pi_{\Gamma}=50$  изделий в год.

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

$$n_{\text{РАСЧ}} = \frac{t_{\text{шт}} \cdot \Pi_{\Gamma}}{F_{\text{Э}} \cdot K_{\text{ВН}}} \quad (5)$$

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

$$n_{\text{РАСЧ.б}} = \frac{25,06 \cdot 50}{2054 \cdot 1,1} = 0,55 \text{ед.}, \quad n_{\text{РАСЧ.пр}} = \frac{12,53 \cdot 50}{2054 \cdot 1,1} = 0,27 \text{ед.}$$

Необходимое количество оборудования  $n_{\text{пр}}$ , 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 ( $n_{\text{пр}} = 1$ ). Коэффициент  $K_3$  загрузки оборудования в этом случае составит:

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

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

$$K_{3б} = 0,55/1 = 0,55,$$

$$K_{3п} = 0,27/1 = 0,27.$$

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

При получении сварных соединений труб с трубной доской кожухотрубчатого теплообменника требуются вспомогательные сварочные материалы. Применяемый на предприятии технологический процесс ручной сварки характеризуется расходом присадочной проволоки и защитного газа. Разработанный и предлагаемый к применению технологический процесс автоматической сварки характеризуется расходом защитной смеси газов и сварочной проволоки.

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

$$M = C_m \cdot H_p \cdot K_{ТЗ}, \quad (7)$$

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

$$M_{\text{баз.}} = 11 \cdot 550 \cdot 1,05 = 6353 \text{ руб.},$$

$$M_{\text{проектн.}} = 11 \cdot 470 \cdot 1,05 + 130 \cdot 7 \cdot 1,05 = 6384 \text{ руб.}$$

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:

$$Z_{\text{осн.баз.}} = 25,06 \cdot 200 \cdot 1,88 = 9400 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{осн.проектн.}} = 12,53 \cdot 200 \cdot 1,88 = 4711 \text{ руб.}$$

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 ( $K_{\text{доп}} = 12\%$ ):

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

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

$$Z_{\text{доп.базов.}} = 9400 \cdot 12/100 = 1128 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{доп.проектн.}} = 4711 \cdot 12/100 = 565 \text{ руб.}$$

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:

$$\Phi ЗП_{\text{базов.}} = 9400 + 1128 = 10528 \text{ руб.},$$

$$\Phi ЗП_{\text{проектн.}} = 4711 + 565 = 5276 \text{ руб.}$$

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:

$$O_{\text{сн.баз.}} = 10528 \cdot 34/100 = 3579 \text{ руб.},$$

$$O_{\text{сн.проектн.}} = 5276 \cdot 34/100 = 1794 \text{ руб.}$$

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

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

Величина  $A_{об}$  амортизации оборудования рассчитывается исходя из цены оборудования  $C_{об}$ , нормы амортизации  $H_a$ , машинного времени  $t_{маш}$ , и эффективного фонда времени  $F_э$  с использованием зависимости:

$$A_{об} = \frac{C_{об} \cdot H_a \cdot t_{МАШ}}{F_э \cdot 100}. \quad (12)$$

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

$$A_{об.баз} = \frac{150000 \cdot 19,13 \cdot 21,5}{2054 \cdot 100} = 1067 \text{ руб.}$$

$$A_{об.пр} = \frac{240000 \cdot 9,56 \cdot 21,5}{2054 \cdot 100} = 804 \text{ руб.}$$

$$A_{об. пр.} = 2400000 \cdot 21,5 \cdot 3,2 / 2054 / 100 = 804 \text{ руб.}$$

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

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

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

$$P_{\text{ээ баз}} = 6,8 \cdot 19,13 \cdot 3,2 / 0,7 = 594 \text{ руб.},$$

$$P_{\text{ээ пр}} = 3,2 \cdot 9,56 \cdot 3,2 / 0,85 = 115 \text{ руб.}$$

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

$$Z_{\text{об баз.}} = 1067 + 594 = 1661 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{об проектн.}} = 804 + 115 = 919 \text{ руб.}$$

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  $Z_{\text{об}}$ :

$$C_{\text{ТЕХ}} = M + \Phi ЗП + O_{\text{сн}} + Z_{\text{ОБ}} \quad (14)$$

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

$$C_{\text{ТЕХБаз.}} = 6353 + 10528 + 3579 + 1661 = 22121 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ТЕХПроектн.}} = 6384 + 5276 + 1794 + 919 = 14373 \text{ руб.}$$

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

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



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

$$C_{\text{ЦЕХБаз.}} = 22121 + 1,5 \cdot 9400 = 22121 + 14100 = 36221 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЦЕХПроектн.}} = 14373 + 1,5 \cdot 4711 = 14373 + 7066 = 21439 \text{ руб.}$$

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:

$$C_{\text{ЗАВБаз.}} = 36221 + 1,15 \cdot 9400 = 36221 + 10810 = 47031 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЗАВПроектн.}} = 21439 + 1,15 \cdot 4711 = 21439 + 5417 = 26856 \text{ руб.}$$

Расчетные значения составляющих экономических показателей заводской, цеховой и технологической себестоимости для применяемого на предприятии технологического процесса сварки балки и разработанного в ВКР и предлагаемого к внедрению отражены в таблице 13.

Таблица 13 – Калькуляция технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки

Наименование экономического показателя	Услов. обозн.	Калькуляция, руб	
		Применяемый	Предлагаемый
1. Расходы на основные материалы	<i>M</i>	6353	6384
2. Расходы на заработную плату	<i>ФЗП</i>	10528	5276
3. Отчисления на соц. нужды	<i>Осн</i>	3579	1794
4. Затраты на оборудование	<i>Зоб</i>	1661	919
5. Технологическая себестоимость	<i>Стех</i>	22121	14373
6. Цеховые расходы	<i>Рцех</i>	14100	7066
7. Цеховая себестоимость	<i>Сцех</i>	36221	21439
8. Заводские расходы	<i>Рзав</i>	10810	5417
9. Заводская себестоимость	<i>Сзав</i>	47031	26856

#### 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  $C_{\text{об.б.}}$ , коэффициента загрузки оборудования  $K_{з. б.}$  рассчитанного для базового варианта согласно (6):

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

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

$$C_{\text{ОБ.Б.}} = C_{\text{ПЕРВ.}} - (C_{\text{ПЕРВ.}} \cdot T_{\text{СЛ}} \cdot H_a / 100). \quad (18)$$

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

$$C_{\text{ОБ.Баз.}} = 150000 - (150000 \cdot 2 \cdot 21,5 / 100) = 85500 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{ОБЩБаз.}} = 1 \cdot 85500 \cdot 0,55 = 27360 \text{ руб.}$$

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  $C_{\text{об. пр.}}$ , коэффициента транспортно-заготовительных

расходов  $K_{ТЗ}$  и коэффициента загрузки оборудования  $K_{ЗП}$  по проектному варианту:

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

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

$$K_{ОБ,ПР} = 240000 \cdot 1,05 \cdot 0,27 = 37800 \text{ руб.}$$

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

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

Расходы на демонтаж  $K_{дем}$  и монтаж  $K_{монт}$  рассчитываем с учётом стоимости оборудования  $Ц_б$  и  $Ц_{пр}$  по базовому и проектному вариантам, коэффициентов  $K_д$  и  $K_м$  на демонтаж и монтаж оборудования:

$$K_{дем} = Ц_{об. б.} \cdot K_д, \quad (22)$$

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

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

$$K_{дпм} = 1 \cdot 150000 \cdot 0,05 = 7500 \text{ руб.},$$

$$K_{монт} = 240000 \cdot 0,05 = 12000 \text{ руб.},$$

$$K_{соп} = 7500 + 12000 = 19500 \text{ руб.}$$

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

$$K_{\text{общ.пр}} = 37800 + 19500 = 57300 \text{ руб.}$$

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:

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

$$K_{\text{доп}} = 57300 - 27360 = 29940 \text{ руб.}$$

Величину удельных капитальных вложений  $K_{\text{уд}}$  рассчитываем с учётом годовой программы  $P_{\Gamma}$ :

$$K_{\text{уд}} = \frac{K_{\text{общ.}}}{P_{\Gamma}}, \quad (25)$$

После подстановки в (25) соответствующих значений:

$$K_{\text{удБаз.}} = 27360/50 = 547 \text{ руб./ед.}; K_{\text{удПроектн.}} = 57300/50 = 1146 \text{ руб./ед.}$$

#### 4.6 Показатели экономической эффективности

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

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

Расчётное снижение трудоёмкости согласно (26) составило:

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{25,06 - 12,53}{25,06} \cdot 100\% = 50\%$$

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

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

Расчётное повышение производительности труда согласно (27) составило:

$$\Delta \Pi_T = \frac{100 \cdot 50}{100 - 50} = 100\%$$

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

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

Расчётное снижение технологической себестоимости согласно (28) составило:

$$\Delta C_{ТЕХ} = \frac{22121 - 14373}{22121} \cdot 100\% = 35\%$$

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

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

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

$$Pr_{ож.} = \mathcal{E}_{y.g.} = (47031 - 26856) \cdot 50 = 1295769 \text{ руб.}$$

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

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

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

$$T_{ок} = \frac{29940}{1295769} \approx 0,5 \text{ года}$$

Годовой экономический эффект  $\mathcal{E}_г$ , получаемый при принятии проектной технологии определим следующим образом:

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

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

$$\mathcal{E}_г = 1295769 - 0,33 \cdot 29940 = 1285888 \text{ руб.}$$

При выполнении базовой технологии сборки и сварки труб с трубной доской кожухотрубчатого теплообменника применяется способ сварки – ручная дуговая в среде защитного газа.

Недостатки применения ручной дуговой сварки неплавящимся электродом в среде защитного газа: 1) малая производительность выполнения сварочных работ; 2) работа сварщика в тяжёлых условиях; 3) низкая стабильность качества сварки; 4) повышенный расход электродного материала на угар, разбрызгивание и огарки.

Проектный вариант технологии предполагает использование сварки неплавящимся электродом в защитных газах проволокой сплошного сечения при помощи головки, обеспечивающей автоматическое ведение процесса автоматической сварки [30].

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 50 %, повышение производительности труда на 100 %, уменьшение технологической себестоимости на 35%.

Условно-годовая экономия при внедрении проектной технологии составляет 1,29 млн. рублей.

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 1,28 млн. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,5 года.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод о высокой экономической эффективности проектной технологии.

## Заключение

В процессе выполнения аналитического раздела выпускной квалификационной работы был выполнен анализ альтернативных способов сварки, которые могут быть применены при изготовлении трубного пучка, были рассмотрены способы дуговой сварки штучными электродами, механизированной сварки в среде защитных газов, способ сварки неплавящимся электродом в среде. Рассмотрены достоинства и недостатки перечисленных способов сварки.

По результатам анализа перечисленных вариантов получения неразъемных соединений предложено оставить применяемый в базовой технологии способ сварки неплавящимся электродом в среде аргона.

Для снижения трудоемкости получения множества соединений предложено автоматизировать процесс сварки посредством применения сварочной головки POLYSOUND TC34. Данное оборудование обеспечивает получение кольцевых сварных швов в автоматическом режиме.

Разработанный технологически процесс сварки труб с трубной доской включает в себя операции входного контроля труб и трубной доски. Затем выполняются подготовительные операции, такие как зачистка и обезжиривание. Затем следует операция сборки. После чего ручной аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом производится прихватка труб в трубной доске. Выполняется контроль прихваток и затем автоматическая сварка труб. Предварительно выполняется настройка аппарата автоматической сварки, устанавливается в отверстие фиксирующий штырь. На фиксирующий штырь одевается сварочная головка POLYSOUND TC34. Затем включается поджиг дуги и в автоматическом режиме выполняется сварной шов.

Применение автоматической сварки позволяет уменьшить трудоемкость сварки труб к трубной доске, повысить качество сварных соединений, что



также позволит уменьшить общую трудоемкость производства теплообменника, так как снизятся затраты времени на устранение брака.

Изучение особенностей технологического процесса сборки и сварки позволил 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 1,28 млн. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,5 года.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод о решении сформулированных задач и достижении поставленной цели выпускной квалификационной работы. Её результаты следует внедрить в производство.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Алешин Н.П., Щербинский В.Г. Контроль качества сварочных работ. М.: Высшая школа. 1986. 167 с.
2. Алешин Н.П. Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений. М.: Машиностроение. 2006. 368 с.
3. Берлине, Ю.И., Балашов Ю.А. Технология химического и нефтяного аппаратостроения. - М.: Машиностроение, 1976 - 256 с.
4. Бурлов В.В., Парпуц И.В., Парпуц Т.П. Коррозионное растрескивание сварных швов нефтеперерабатывающего оборудования, выполненного с плакирующим слоем из стали 08Х13 // Коррозия: материалы, защита. 2004. № 7. С. 22-35.
5. Горина, Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учеб. пособие. Л. Н. Горина. Гриф УМО. Тольятти : ТолПИИ. 2000. 79 с.
6. Гостюшин А. В. Энциклопедия экстремальных ситуаций. М.: Изд. «Зеркало», 1995. 288 с.
7. Гринин А. С., Орехов Н.А. Экологический менеджмент : учеб. пособие для вузов. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. 206 с.
8. Действия населения в чрезвычайных ситуациях. Пособие. Под общей редакцией В.А. Владимирова. М.: МЧС России, 1995. 230 с.
9. Егоров А.Г., Уполовникова Г.Н., Живоглядова И.А. Правила оформления выпускных квалификационных работ для бакалавриата и специалитета: учебно-методич. пособие по выполнению дипломного проекта. Тольятти.: ТГУ, 2011. 87 с.
10. Егорова Г.Г., Кручинина Н.В. Механическое сварочное оборудование: Каталог. М.: НИИмаш. 1980. 68 с.
11. Зусин В.Я., Вайнер Г.Н., Черноиванов В.Н. Восстановление канавок алюминиевых поршней тракторных двигателей импульсно-дуговой

наплавкой в среде защитных газов // Сварочное производство. 1982. № 11. С. 37–38.

12. Каспарова О.В., Балдохин Ю.В. Новые представления о механизме межкристаллитной коррозии нержавеющей сталей // Защита металлов. 2007. том 43. №3. С. 256-261.

13. Климов А.С. Выпускная квалификационная работа бакалавра: Учебно-метод. пособие по выполнению выпускной квалификационной работы бакалавра по направлению подготовки 150 700.62 «Машиностроение». Тольятти: ТГУ, 2014. 52с.

14. Козулин, М.Г. Технология изготовления сварных конструкций. Учеб-метод. пособие к курсовому проектированию. - Тольятти: ТГУ 2008. 77 с.

15. Колганов, Л. А. Сварочное производство. Учебное пособие. Ростов-на-Дону: Феникс, 2002. 512 с.

16. Косинцев, В.И. Основы проектирования химических производств и оборудования / В.И. Косинцев [и др.] – Томск: Томский политехнический университет, 2013. – 395 с.

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

18. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент: метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти: ТГУ. 2005. 35 с.

19. Масаков В.В., Масакова Н.И., Мельзитдинова А.В. Сварка нержавеющей сталей : учеб. пособие. Тольятти: ТГУ. 2011. 184 с.

20. Рыбаков В.М. Дуговая и газовая сварка: Учеб. для сред. ПТУ. - 2-е изд. перераб. М.: Высш. школа, 1986. 208 с.

21. Фатхутдинов, Р.А. Организация производства: Учебник. М.: ИНФРА М. 2001. 672 с.

22. Цыганова Е.С. Технология и оборудование для ремонта трубного пучка теплообменника [Электронный ресурс] // Бакалаврская работа.

Тольятти, ТГУ. – 2020. – 64 с. URL: <http://hdl.handle.net/123456789/13202>  
(дата обращения 24.05.2021).

23. Cresswell R. A. Gases and gas mixtures in MIG and TIG welding // *Welding and Metal Fabrication*. – 1972. – 40, № 4. – P. 114–119.

24. Diltly U., Reisgen U., Stenke V. et al. Schutgase zum MAGM – Hochleistungsschweißen // *Schweissen und Schneiden*. – 1995. – 47, № 2. – S. 118–123.

25. Dixon K. Shielding gas selection for GMAW of steels // *Welding and Metal Fabrication*. – 1999. – № 5. – P. 8–13.

26. Evans G. Microstructure and Properties of Ferritic Steel Welds Containing Ti and B. // *Welding Journal*. 72 (8). 1996. P. 251-260.

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

28. Shiliang W., Weiping H., Bogang T. Improving the Toughness of Weld Metal by Adding Rare Earth Elements. // *Welding International* 3. 1986. P. 284-287.

29. Salter, G. R., Dye S. A. Selecting gas mixtures for MIG welding // *Metal Constr. and Brit. Weld. J.* 1971. № 6. P. 230–233.