

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Оборудование и технология сварочного производства»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

*Методические рекомендации
для студентов направления подготовки
15.03.01 «Машиностроение» очной формы обучения*



Могилев 2026

УДК 621.791:378
ББК 30.606:74.58
В92

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Оборудование и технология сварочного производства» «23» февраля 2026 г., протокол № 7

Составитель канд. техн. наук, доц. А. О. Коротеев

Рецензент канд. техн. наук, доц. М. А. Рабыко

Методические рекомендации к выполнению выпускной квалификационной работы предназначены для студентов направления подготовки 15.03.01 «Машиностроение» очной формы обучения.

Учебное издание

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Ответственный за выпуск	А. О. Коротеев
Корректор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 26 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2026

Содержание

1 Цель и задачи выпускной квалификационной работы	4
2 Выбор темы выпускной квалификационной работы	4
3 Содержание технологического проекта	5
4 Содержание исследовательского проекта.....	25
5 Порядок оформления и защиты проекта ВКР.....	27
Список литературы.....	28
Приложение А.....	30
Приложение Б.....	32
Приложение В.....	34

1 Цель и задачи выпускной квалификационной работы

Выпускная квалификационная работа (ВКР) является заключительным этапом обучения студента в вузе и имеет своей целью систематизацию, закрепление и расширение теоретических и практических знаний по специальности, развитие навыков их применения при решении конкретных научных, технических, экономических и производственных задач.

Во время работы над ВКР студент должен овладеть методикой самостоятельной работы при разработке технологических процессов сварки металлоконструкций, проектировании производственных участков и цехов, технико-экономическом обосновании принимаемых решений.

Основой для выполнения ВКР является материал, собранный студентом на предприятии во время преддипломной практики, а также результаты научных исследований, полученные самостоятельно в лабораториях кафедры или предприятия.

2 Выбор темы выпускной квалификационной работы

Тема проекта, выполняемого в рамках ВКР, выбирается студентом самостоятельно во время производственной практики и согласовывается с руководителем практики от предприятия и университета. Как правило, в проекте должен быть разработан технологический процесс сборки и сварки металлической конструкции, выпускаемой заводом, и спроектирован участок цеха по ее производству. Проект может быть также посвящен научным исследованиям в области сварки и родственных технологий.

Тема проекта должна носить реальный характер с учетом перспектив развития и быть ориентированной на конструкции, которые могут быть реализованы на рынке товаров и услуг и обеспечить прибыльную работу предприятия.

При выборе темы необходимо учитывать, что проект должен быть направлен на повышение производительности труда, совершенствование технологических процессов, разработку механизированных линий, содержащих робототехнические комплексы, разработку прогрессивных лучевых и плазменных технологий, применение современных материалов, позволяющих снизить материалоемкость изделий, улучшить их качество и конкурентоспособность.

Целью исследовательского проекта является совершенствование процесса и технологии сварки, методики контроля качества сварных соединений, системы организации труда, техники безопасности и др., выполненное на основе собственных исследований.

После прохождения преддипломной практики тема проекта должна быть согласована с руководителем ВКР и заведующим кафедрой. После этого она утверждается приказом ректора университета, и вносить в нее изменения не разрешается.

3 Содержание технологического проекта

Введение.

Во введении дается обоснование актуальности темы проекта. Оно состоит из описания отрасли, к которой относится объект проектирования в рамках ВКР, задач, стоящих перед ней, ее роли в развитии промышленного потенциала Республики Беларусь. Приводятся перспективные планы развития, роль сварочного производства, возможности ресурсосбережения за счет рационального применения сварочных технологий.

Глава 1 «Базовый вариант технологического процесса изготовления конструкции».

1.1 *Описание конструкции, ее назначение, технические условия на изготовление.* В разделе дается эскиз конструкции, описывается ее назначение и роль в работоспособности всего агрегата или машины. Перечисляются детали, из которых состоит конструкция, приводятся технические условия на изготовление. Технические условия составляются, руководствуясь требованиями потребителя, проектирующей организации, завода-изготовителя, руководящих материалов Госпромнадзора РБ, технических регламентов, международных стандартов и стандартов Республики Беларусь.

1.2 *Анализ базового варианта технологического процесса.* Анализ базового варианта технологического процесса проводится с целью выявления его недостатков и определения путей совершенствования по следующим направлениям.

1.2.1 Анализ конструкции (объекта проектирования) на предмет снижения ее массы, применения новых материалов, совершенствования конструктивных решений, обоснования программы выпуска.

1.2.2 Анализ применяемых способов сварки, резки, контроля качества, способов снижения деформаций.

1.2.3 Анализ применяемого сварочного оборудования, материалов, режимов сварки.

1.2.4 Анализ достоинств и недостатков применяемой оснастки и вспомогательного оборудования.

1.2.5 Анализ последовательности сборки и сварки, рациональности расчленения конструкции на узлы и подузлы, оптимальности маршрутной технологии сборки и сварки.

1.2.6 Анализ рациональности организации работ на участке, решений по охране труда, экологической безопасности, системы менеджмента качества и сертификации.

1.3 *Анализ литературы и патентов.* Для того чтобы устранить выявленные недостатки базового варианта, необходимо провести анализ литературы и патентов в изучаемой области и описать существующие способы решения поставленных задач. Это могут быть различные варианты оснастки для сборки и сварки или отдельные ее узлы, например, прижимы. Целесообразно описать

новые способы сварки, указав их преимущества, новые сварочные материалы, новые рекомендации по выбору режимов сварки. Возможен литературный и патентный поиск в области охраны труда, например, систем вентиляции, охлаждения сварочных масок и горелок, костюмов сварщиков и др.

Все последующие рекомендации по совершенствованию базового варианта техпроцесса должны вытекать из литературного обзора. В тексте должны быть ссылки на литературные источники. Список литературы приводится в конце расчетно-пояснительной записки в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1–2003.

1.4 *Резюме.* Подводятся краткие итоги первой главы. Указываются недостатки базового варианта технологического процесса, существующие в литературе наиболее рациональные технические решения, которые могут быть применены в проекте.

Глава 2 «Технологический процесс заготовки, сборки и сварки».

2.1 *Выбор материала изделия. Обоснование геометрических размеров сварных швов.* В разделе делается обоснование выбора материала изделия. При необходимости проводится проверочный расчет элементов конструкции и сварных узлов на прочность швов. Приводятся таблицы с химическим составом и механическими свойствами свариваемых материалов. Дается характеристика свариваемости стали. Для низко- и среднелегированных сталей выполняется расчет химического эквивалента углерода, вычисляется температура предварительного подогрева, обосновывается наличие или отсутствие термической обработки. Для высоколегированных сталей приводится диаграмма Шеффлера, делается расчет ЭквСг и ЭквNi, определяется структура стали, описываются особенности технологии сварки.

Методами расчета или по конструктивным соображениям назначаются размеры сварных швов. При наличии усилий, действующих на свариваемые детали, катет шва определяется по формуле

$$k = \frac{N}{\beta[\tau']L_{ш}}, \quad (1)$$

где N – усилие, действующее на деталь, кН;

$[\tau']$ – допускаемое напряжение в угловом шве, МПа;

β – коэффициент формы шва;

$L_{ш}$ – длина сварного шва, м.

Коэффициент формы шва учитывает профиль его поверхности (выпуклый, вогнутый).

После назначения катетов определяется масса наплавленного металла для каждого шва на изделии:

$$M_{нм} = F_{н}L_{ш}\gamma, \quad (2)$$

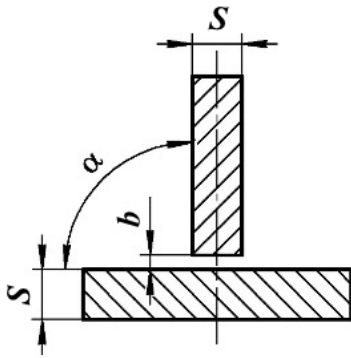
где F_n – площадь наплавленного металла, м²;

γ – плотность стали, $\gamma = 7,8$ т/м³;

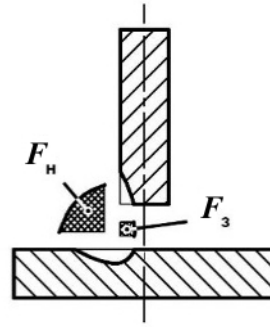
Площадь наплавленного металла F_n зависит от типа сварного соединения.

Для угловых швов (рисунок 1) она определяется как площадь треугольника, умноженная на коэффициент a , учитывающий форму шва (для выпуклых швов $a = 1,2$; для вогнутых $a = 0,9$).

a)



б)



a – подготовка соединения под сварку; b – составляющие площади поперечного сечения наплавленного металла шва

Рисунок 1 – Определение площади поперечного сечения наплавленного металла

В случае наличия зазора между соединяемыми деталями к площади наплавленного металла можно прибавить площадь наплавленного металла в зазоре F_3 , однако для практических расчетов оно не оказывает какого-либо существенного влияния в связи с маленьким значением. Поэтому площадь поперечного сечения наплавленного металла для углового шва можно определить по формуле

$$F_n = \frac{k^2}{2} a \sin \alpha, \quad (3)$$

где α – угол, под которым свариваются детали.

Площадь поперечного сечения наплавленного металла стыкового шва (рисунок 2) определяется площадями геометрических фигур, которые заполняются присадочным металлом при сварке.

Для шва, выполненного с разделкой кромок, площадь наплавленного металла состоит из площади зазора между деталями F_3 , площади валика шва F_6 и площади разделки F_p :

$$F_n = F_3 + F_6 + F_p. \quad (4)$$

Площадь поперечного сечения валика шва можно найти по формуле

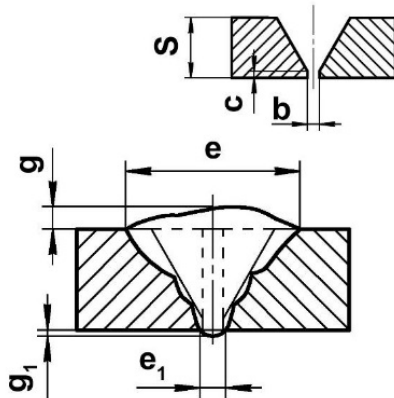
$$F_6 = \frac{3}{4} e g, \quad (5)$$

где e – ширина выпуклости валика шва, мм;

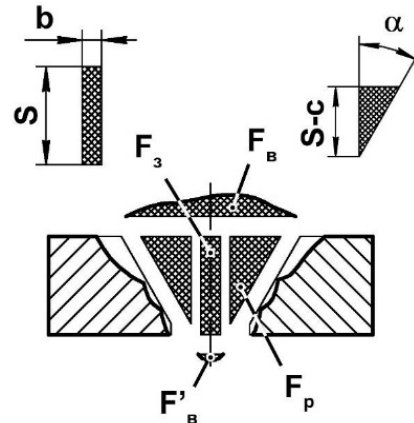
g – высота выпуклости валика шва, мм.

В некоторых случаях, если это предусмотрено стандартом, нормируется обратная сторона валика шва. Тогда необходимо рассчитывать площадь поперечного сечения валика шва F_e' и для неё по аналогичной формуле (5).

a)



б)



a – подготовка соединения под сварку и основные геометрические параметры шва;
 b – составляющие площади поперечного сечения наплавленного металла шва

Рисунок 2 – Определение площади наплавленного металла стыкового сварного шва с разделкой кромок (тип С17)

Площадь зазора представляет собой прямоугольник, заполняемый присадочным металлом. В случае полного проплавления одна из его сторон равна толщине свариваемой детали, а другая – зазору. Её можно определить по формуле

$$F_3 = bS, \quad (6)$$

где b – зазор между свариваемыми деталями, мм;

S – толщина свариваемых деталей, мм.

В случае сварки с неполным проплавлением берётся только та часть рассматриваемого прямоугольника, которая заполняется присадочным металлом. То есть вместо толщины свариваемой детали в формуле (6) необходимо использовать значение глубины проплавления:

$$F_3 = bH_{np}, \quad (7)$$

где H_{np} – глубина проплавления стыкового шва, мм.

Площадь поперечного сечения разделки представляет собой суммарную площадь геометрических фигур, образуемых в процессе подготовки сварных соединений под сварку. Например, в случае V-образной односторонней или X-образной двусторонней разделки (например, С17, С18, С25 и т. д.) площадь

разделки представляет собой сумму площадей прямоугольных треугольников, образуемых скосами кромок. Например, для сварного шва с подготовкой кромок типа С17 площадь поперечного сечения разделки можно определить по формуле

$$F_p = (S - c)^2 \operatorname{tg} \alpha, \quad (8)$$

где c – величина притупления кромок сварного соединения, мм;

α – угол скоса кромки сварного соединения.

2.2 Технология и оборудование заготовительных операций. В начале подраздела должны быть перечислены все детали, входящие в конструкцию, сделаны их эскизы, приведены заготовительные операции, использующиеся при их изготовлении. Выбор способов заготовки и заготовительного оборудования производится с учетом типа производства, марки и толщины металла, конфигурации и назначения заготовок. К заготовительным операциям относятся очистка, правка, разметка, резка, гибка, штамповка, подготовка кромок под сварку. При выборе технологического процесса необходимо ориентироваться на наиболее экономичные для данного типа производства (единичное, мелкосерийное, крупносерийное) способы заготовки. Следует обращать внимание на получение минимальных отходов при выборе способа раскроя металла.

В записке должны быть описаны способы заготовки и оборудование для его осуществления, приведены его технические характеристики. При наличии в конструкции фигурных деталей с непрямолинейными резами необходимо обратить особое внимание на выбор способа их вырезки. В этом случае обычно применяется один из термических способов (кислородная, плазменная или лазерная резка). Выбор должен быть обоснован, описаны достоинства и недостатки каждого из способов резки, приведены данные по их точности, производительности, экономичности. Описаны технические характеристики и особенности обслуживания выбранного оборудования. При наличии разделки кромок необходимо выбрать способ их обработки. Необходимо использовать существующие способы механизации процессов заготовки.

Далее рассчитывается масса конструкции. При наличии в изделии прокатного профиля пользуются таблицами массы погонного метра проката. Масса листовых деталей определяется через их объем. Данные о массе конструкции будут необходимы при выполнении экономической части проекта.

2.3 Выбор способа сварки. Выбор способа сварки зависит от толщины металла конструкции, требований к точности, типа производства и других факторов, которые следует учитывать при анализе.

Первоначально необходимо предложить два-три способа сварки, которые могут быть использованы для данного изделия. Перечислить их достоинства и недостатки. При этом целесообразно рассмотреть возможности принципиальной замены, например, дуговой сварки на контактную. Если это не рационально, то проанализировать возможность применения прогрессивных защитных смесей, автоматических и автоматизированных установок, робототехнических комплексов и др. Целесообразно анализ сопровождать укрупненными экономическими

расчетами. Например, защитные смеси на основе аргона дороже CO_2 , однако при их применении снижаются затраты, связанные с разбрызгиванием и зачисткой деталей. В связи с этим решение принимается в каждом конкретном случае на основании экономических расчетов. Возможны и другие примеры.

2.4 Расчет параметров режима сварки. Расчет параметров режима сварки ведется в зависимости от выбранного способа сварки. Основными параметрами режима дуговой сварки являются: сила сварочного тока $I_{св}$, напряжение на дуге $U_д$, скорость подачи сварочной проволоки $V_{н.пр}$, диаметр электрода или проволоки $d_э$, скорость сварки $V_{св}$.

Расчет параметров режима сварки ведется в зависимости от заданного способа сварки. Основными параметрами режима являются: сила сварочного тока $I_{св}$, напряжение на дуге $U_д$, скорость подачи сварочной проволоки $V_{н.пр}$, диаметр электрода (проволоки) $d_э$ ($d_{пр}$), скорость сварки $V_{св}$. Также имеется ряд дополнительных, но не менее важных параметров, таких как расход защитного газа при сварке, вылет электродной проволоки и др.

Первоначально следует задаться диаметром электрода $d_э$ или диаметром проволоки $d_{пр}$. Его значение зависит от способа сварки, требуемой глубины проплавления металла $H_{пр}$ и условий сварки.

Глубина проплавления, в свою очередь, определяется толщиной металла и типом сварного шва. Например, если выполняется стыковой сварной шов без разделки кромок, то для обеспечения качественного сварного соединения в случае односторонней сварки необходимо обеспечить проплавление на всю толщину свариваемой детали (т. е. $H_{пр} = \delta$). Для двустороннего стыкового шва без разделки кромок с учетом частичного перекрытия валиков $H_{пр} = 0,6\delta$.

При сварке стыковых швов с разделкой кромок, выполняемых, как правило, за несколько проходов, сварной шов состоит в большей степени из наплавленного металла. В этом случае основной задачей является обеспечение проплавления кромки на некоторую глубину. Как правило, для качественного формирования сварного соединения и отсутствия дефектов в виде несплавов достаточно обеспечить глубину проплавления 3...4 мм.

Для угловых сварных швов, если нет требования полного проплавления детали, глубину проплавления принимают равной 3...4 мм.

Примерные значения диаметров электродов и сварочных проволок в зависимости от требуемой глубины проплавления приведены в таблице 1.

При ручной дуговой сварке силу сварочного тока можно найти исходя из диаметра электрода и допустимой плотности тока в нем по формуле

$$I_{св} = \frac{\pi d_э^2}{4} j, \quad (9)$$

где j – допустимая плотность тока, А/мм².

Значения допустимой плотности тока в электроде при ручной дуговой сварке можно выбрать по таблице 2.

Для дуговой сварки в среде защитных газов и сварки под слоем флюса сила сварочного тока находится в зависимости от глубины проплавления и определяется по формуле

$$I_{св} = \frac{H_{np}}{k_n} 100, \quad (10)$$

где k_n – коэффициент пропорциональности, А/мм².

Таблица 1 – Выбор диаметра электрода и сварочной проволоки сплошного сечения

Способ сварки	Глубина проплавления H_{np} , мм			
	2	3...5	5...10	10...20
	Диаметр электрода (проволоки) $d_э$ (d_{np}), мм			
Ручная сварка покрытыми электродами	2,5	3,0; 4,0	4,0; 5,0	5,0; 6,0
Механизированная в CO ₂	0,8; 1,0	1,2	1,2; 1,6	1,6
Механизированная в Ar + CO ₂	0,8; 1,0	1,0; 1,2	1,2	1,2; 1,6
Автоматическая в CO ₂	1,0	1,2; 1,6; 2,0	1,6; 2,0	3,0; 4,0
Автоматическая в Ar + CO ₂	1,0	1,2; 1,6; 2,0	1,6; 2,0	3,0; 4,0
Автоматическая под слоем флюса	–	2,0; 3,0	3,0; 4,0	4,0; 5,0

Таблица 2 – Допустимая плотность тока в электроде

Тип покрытия	Допустимая плотность тока в электроде j , А/мм ² , при $d_э$, мм			
	3	4	5	6
Рутиловое	14...20	11,5...16	10...13,5	9,5...12,5
Основное	13...18,5	10...14,5	9...12,5	8,5...12,0

Значение коэффициента пропорциональности зависит от способа и условий сварки. Например, для сварки в защитном газе CO₂ при постоянном токе и обратной полярности с диаметром проволоки 1,2 мм – $k_n = 1,75$, с диаметром проволоки 1,6 мм – $k_n = 2,1$.

Для сварки в среде Ar + CO₂ при постоянном токе обратной полярности с диаметром проволоки 1,2 мм – $k_n = 1,9$, с диаметром проволоки 1,6 мм – $k_n = 2,4$.

После вычисления силы сварочного тока необходимо проверить условие обеспечения допустимости расчетной плотности тока в данном диаметре проволоки. Для этого можно воспользоваться формулой

$$j = \frac{I_{св}}{d_э^2 \cdot 1,28}. \quad (11)$$

Рассчитанная по этой формуле плотность тока должна находиться в диапазоне допустимых значений согласно таблице 3.

После расчета силы сварочного тока необходимо определить напряжение на дуге. Так как эти параметры зависимы друг от друга с целью обеспечения

стабильного характера горения сварочной дуги, напряжение для ручной дуговой сварки (ГОСТ 95–77) можно определить по формуле

$$U_d = 20 + 0,04I_{св}. \quad (12)$$

Таблица 3 – Допустимая плотность тока в сварочной проволоке

Диаметр проволоки, мм	< 2	2	3	4	5
$j, \text{А/мм}^2$	90...200	60...120	45...90	35...60	30...50

Для сварки под слоем флюса для токов до 100 А напряжение на дуге (ГОСТ 7012–77) определяется по формуле

$$U_d = 19 + 0,037I_{св}. \quad (13)$$

Для дуговой сварки плавящимся электродом в среде углекислого газа

$$U_d = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{d_{np}}} I_{св}. \quad (14)$$

Далее необходимо определить скорость сварки по формуле

$$V_{св} = \frac{\alpha_n I_{св}}{\gamma F_n}, \quad (15)$$

где α_n – коэффициент наплавки, г/(А·ч);

γ – плотность наплавленного металла, г/см³.

Коэффициент наплавки для ручной сварки покрытыми электродами $\alpha_n = 8...10$ г/(А·ч); для сварки в СО₂ $\alpha_n = 12...14$ г/(А·ч); для сварки под флюсом $\alpha_n = 13...16$ г/(А·ч).

Для дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитных газов необходимо определить скорость подачи проволоки по формуле

$$V_{н.пр} = \frac{\alpha_n I_{св}}{\gamma F_{np}}, \quad (16)$$

где F_{np} – площадь поперечного сечения сварочной проволоки, мм².

Сварка корневого шва (первый проход) осуществляется на следующих параметрах режима сварки: $d_s = 3$ мм, $I_{св} = 100...110$ А, $U_d = 22...24$ В, $V_{св} = 8...9$ м/ч.

2.5 Выбор сварочных материалов. Сварочные материалы выбирают в зависимости от структурного класса свариваемого материала, который определяется по химическому составу основного металла. Затем в зависимости от заданного способа сварки, пользуясь справочной литературой, подбирают

необходимые электроды (сварочную проволоку), защитный газ или флюс. Как правило, в литературе для сварки одной стали рекомендуется несколько марок электродов или проволок. Поэтому должно быть обоснование выбора, например, из соображений повышенной коррозионной стойкости, стойкости против образования кристаллизационных трещин и т. д.

В данном разделе необходимо представить обозначение сварочных материалов по ГОСТ и международным стандартам, а также его расшифровку.

Основными стандартами для обозначения материалов являются:

- для электродов: ГОСТ 9466–75, ГОСТ 9467–75, ГОСТ 10051–75, ГОСТ 10052–75, СТБ ISO 2560–2009, СТБ ИСО 3580–2007, СТБ ЕН 1600–2002;
- для сварочной проволоки: ГОСТ 2246–70, СТБ ЕН 440–2002, СТБ ISO 21952–2014, СТБ ISO 16834–2010, СТБ ISO 14343–2010;
- для защитных газов: СТБ ISO 14175–2011.

После выбора сварочных материалов должно быть определено их необходимое количество на одно изделие и на программу. Расчет производится по массе наплавленного металла, рассчитанной в подразделе 2.1 главы 2.

Расчет расхода сварочной проволоки для автоматической и механизированной сварки осуществляется по формуле

$$G_{np} = M_{нм}(1 + \psi), \quad (17)$$

где ψ – коэффициент потерь, для сварки под флюсом $\psi = 0,03$; для РДС с учетом потерь на огарки электродов $\psi = 0,2$; для сварки в CO_2 $\psi = 0,12 \dots 0,15$; для сварки в среде $\text{Ar} + \text{CO}_2$ $\psi = 0,08 \dots 0,12$.

Для ручной дуговой сварки определяется вес стержней. Для определения полного веса электродов необходимо учитывать вес покрытия

$$G_{э} = G_{np}K_{ен}, \quad (18)$$

где $K_{ен}$ – коэффициент веса покрытия, $K_{ен} = 1,3 \dots 1,5$.

Расход защитного газа

$$G_{зг} = q_{зг}t_0, \quad (19)$$

где $q_{зг}$ – удельный расход защитного газа, л/мин.

Удельный расход защитного газа условно зависит от диаметра проволоки и силы сварочного тока, его можно найти по таблице 4.

Если в качестве защитного газа используется CO_2 , то после вычисления его необходимого объема в газообразном виде в литрах обычно переводят это значение в массу, учитывая, что при испарении 1 кг углекислоты образуется 509 л газа. Необходимо также указать требуемое количество баллонов CO_2 , зная, что в одном баллоне содержится 25 кг углекислоты.

Таблица 4 – Удельный расход защитного газа

Диаметр, мм	0,8	1,0	1,2	1,6	2
Сила сварочного тока, А	60...120	60...160	100...250	200...250	240...280
Удельный расход защитного газа, л/мин	8...9	8...9	9...12	14...15	15...18

Если в качестве защитного газа используют смесь $Ar + CO_2$, которая в баллоне находится в сжатом, газообразном состоянии, то после вычисления необходимого объема вычисляют требуемое количество баллонов, учитывая, что объем баллона составляет 40 л, а давление газа в нем порядка 150 бар.

При выборе сварочных материалов в случае использования сварки давлением рекомендуется пользоваться рекомендациями [2, 10].

2.6 Выбор сварочного оборудования. Критериями при выборе сварочного оборудования для дуговой сварки являются способ сварки, сила сварочного тока, диаметр электрода или проволоки, род применяемого тока, выбранная степень механизации процесса.

При выборе оборудования необходимо ориентироваться на наиболее современные образцы. В большинстве проектов используются полуавтоматы для сварки в защитных газах. По своим характеристикам они делятся на четыре группы.

Полуавтоматы первого поколения не имеют системы автоматического управления параметрами режима, оснащены обычным силовым трансформатором с тиристорной или другой схемой выпрямления. Примером может быть полуавтомат ПДГ-312 с источником питания ВДГ-303 (полуавтоматы первого поколения в настоящее время устарели).

Второе поколение – полуавтоматы, оснащенные инверторным источником питания, но без автоматического управления режимами. Они дороже, но позволяют экономить 10 %...15 % электроэнергии (рекомендуется устанавливать на рабочих местах, где режимы сварки изменяются редко).

Третье поколение – полуавтоматы с синергетическим управлением параметрами режима. Они обеспечивают автоматическую установку основных параметров ($I_{св}$, U_0 , $V_{н.н.}$) в оптимальном соотношении, легко перенастраиваются на различные режимы при изменении катета шва, толщины металла, пространственного положения и т. д., имеют до 250 программ режимов, заложенных в памяти (рекомендуется применять при частом изменении режимов, катетов и т. д.).

Четвертое поколение – полуавтоматы с управлением сварочным током в процессе переноса одной капли электродного металла (управление эспурой сварочного тока). Это так называемые STT-технологии (Lincoln Electric) и технологии Wise Root Kemppi, CMT Fronius. Они обеспечивают минимальное разбрызгивание (1 %...3 %) (рекомендуются для ответственных конструкций и при сварке корневых швов трубопровода). По стоимости полуавтоматы четвертого поколения превышают полуавтоматы первого поколения примерно в 3–4 раза.

После выбора и обоснования сварочного оборудования в записке приводится его техническая характеристика.

2.7 Разработка маршрутной и операционной технологии сборки и сварки.

Разработка маршрутной технологии подразумевает расчленение конструкции на узлы, которые будут собираться и свариваться на отдельных приспособлениях, ориентировочная их расстановка на участке. Выбираются также детали и узлы, которые будут получать с других участков или цехов. Маршрутная технология изображается графически в записке. Вариант графического изображения маршрутной технологии на примере сборки и сварки рамы показан на рисунке 3.

На рисунке 3, а показано, что на участке должно быть четыре приспособления для сборки левого и правого лонжеронов, сборки и сварки рамы. Допускается сварка лонжеронов отдельно от рамы (см. рисунок 3, б).



Рисунок 3 – Вариант графического изображения маршрутной технологии

В этом случае необходимо еще одно приспособление – для сварки лонжеронов. Возможны и другие варианты маршрутной технологии изготовления рамы.

Далее разрабатывается операционная технология, где сборочно-сварочные операции прописываются по переходам: уложить деталь 1 в приспособление, уложить деталь 2 и т. д., прихватить, перевернуть. В записке операционная технология описывается повествовательно для одного приспособления. Затем заполняются операционные технологические карты. Операционные карты размещаются в приложении к записке. Их количество согласовывается с руководителем ВКР. В операционных картах указывают режимы сварки, сварочное оборудование, сварочные материалы, нормы времени. Нормы времени рассчитываются следующим образом.

Составными частями технически обоснованной нормы времени являются подготовительно-заключительное время t_{nz} , основное время t_o , вспомогательное время $t_в$, время на обслуживание рабочего места $t_{обс}$, время на отдых и личные надобности (время регламентированных перерывов в работе) t_n .

Общее время на выполнение сварочной операции определяется по формуле

$$t_{св} = t_o + t_{nz} + t_в + t_{обс} + t_n, \quad (20)$$

где t_o – основное время, мин;

t_{nz} – подготовительно-заключительное время, мин;

$t_в$ – время на вспомогательные операции, мин;

$t_{обс}$ – время на обслуживание рабочего места, мин.

Основное время, необходимое для непосредственного выполнения сварочной операции, можно найти по формуле

$$t_o = \frac{M_{нм}}{\alpha_n I_{св}}, \quad (21)$$

где $M_{нм}$ – масса наплавленного металла, г.

$$M_{нм} = F_n L_{ш} \gamma, \quad (22)$$

где $L_{ш}$ – длина шва, см.

Исходным объектом нормирования при определении основного времени на сварку является участок прямолинейного шва, выполненного в нижнем положении. Поэтому t_o должно уточняться исходя из вида, положения и протяженности швов изготавливаемого сварного изделия. Для уточнения основного времени на сварку вводят поправочный коэффициент K_{np} , зависящий от положения шва в пространстве. Для вертикальных швов $K_{np} = 1,25$, для потолочных $K_{np} = 1,3$, для неповоротных стыков труб $K_{np} = 1,35$ и т. д.

Подготовительно-заключительное время t_{nz} включает в себя такие операции, как получение производственного задания, инструктаж, получение и сдача инструмента, осмотр и подготовка оборудования к работе и т. д. В серийном производстве $t_{nz} = (0,02 \dots 0,04)t_o$, в единичном $t_{nz} = (0,10 \dots 0,20)t_o$.

Вспомогательное время определяется по формуле

$$t_в = t_э + t_{кр} + t_{бр} + t_{кл} + t_{изд}, \quad (23)$$

где $t_э$ – время на смену электрода, мин;

$t_{кр}$ – время на осмотр и очистку свариваемых кромок, мин;

$t_{бр}$ – время на очистку швов от шлака и брызг, мин;

$t_{кл}$ – время на клеймение (установка одного знака), мин;

$t_{изд}$ – время на установку и поворот детали, её закрепление, мин.

Время на смену электрода рассчитывается по формуле

$$t_3 = t_3' \frac{F_n L_{ш}}{V_3}, \quad (24)$$

где t_3' – время на смену одного электрода, мин;

V_3 – объем одного электрода, мм³.

Время зачистки кромок и очистки изделия от шлака и брызг металла

$$t_{кр} = t_{бр} = L_{ш}(0,6 + 1,2(n - 1)), \quad (25)$$

где n – количество проходов при сварке многослойных швов;

$L_{ш}$ – длина сварного шва, м.

Время на клеймение принимается равным $t_{кл} = 0,03$ мин на один знак.

Время на установку и поворот изделия при массе изделия до 25 кг принимается $t_{уз0} = 3$ мин (операции выполняются вручную).

Время на обслуживание рабочего места включает в себя время на установку режима сварки, наладку полуавтомата или автомата, уборку флюса, инструмента и т. д. Для ручной сварки $t_{обс} = 0,05t_0$; для механизированной и автоматической сварки $t_{обс} = (0,06 \dots 0,08)t_0$.

Время перерывов на отдых и личные надобности зависит от положения, в котором сварщик выполняет работы. При сварке в удобном положении $t_n = 0,07t_0$, в неудобном – $t_n = 0,1t_0$, в напряженном положении при работе в закрытых сосудах $t_n = 0,16t_0$, при работе на высоте с использованием приставных лестниц $t_n = 0,2t_0$.

2.8 Разработка инструкций на технологический процесс сварки и определение квалификации сварщика. После выполнения подразделов 2.1–2.7 главы 2 разрабатываются инструкции на предварительный технологический процесс сварки (pWPS) в соответствии с СТБ ISO 15609–2009, которые приводятся на листе графической части проекта.

Необходимо выбрать из имеющихся в сварной конструкции швов наиболее характерные два-три шва и для них составить инструкции на предварительный технологический процесс сварки.

Форма для заполнения инструкций на предварительный технологический процесс сварки представлена в соответствующей части СТБ ISO 15609-1(5)–2009 (рисунок А.1). Общие правила для разработки технологических инструкций установлены в СТБ ISO 15607–2009. Инструкция на предварительный технологический процесс сварки должна содержать необходимую информацию по выполнению сварного соединения. В инструкциях на квалифицированный технологический процесс сварки указывается определенный диапазон толщин материала, а также содержится перечень основных и присадочных материалов.

Содержание инструкции на предварительный технологический процесс сварки:

- сведения об изготовителе;
- сведения об основном материале (тип и размеры);

– общие сведения для технологических процессов сварки (процесс сварки, тип сварного соединения, положения при сварке, подготовка свариваемых кромок, техника сварки, зачистка корня шва, подкладка, присадочные материалы, параметры режима сварки, температура предварительного подогрева, температура между проходами, последующий подогрев и термообработка, защитный газ);

– специальные требования для применяемого технологического процесса сварки.

Инструкции на квалифицированный технологический процесс сварки используются на производстве сварщиками, прошедшими квалификацию (сертификацию) согласно СТБ EN 287-1–2009 или СТБ ISO 9606-2(5)–2009, которые распространяются на ручную дуговую и частично механизированные способы сварки. В случае применения автоматической и полностью механизированной сварки необходимо руководствоваться требованиями к сварщикам-операторам согласно СТБ EN 1418–2001.

Квалификация сварщика в заданной области основывается на параметрах процесса сварки. Для каждого основного параметра определяется область распространения. Предполагается, что параметры режима сварки должны применяться независимо друг от друга, за исключением требований по размерам и положениям при сварке. К основным параметрам процесса сварки относятся:

- процесс сварки;
- форма соединения (пластина или труба);
- тип сварного шва (угловой или стыковой);
- группы материалов;
- сварочные присадочные материалы;
- размеры (толщина материала и наружный диаметр трубы);
- положения при сварке;
- способ выполнения сварного шва.

Каждому процессу сварки соответствует определенное квалификационное испытание сварщика (оператора). Квалификационные испытания проводятся на контрольных сварных соединениях пластин или труб, размеры которых определены в СТБ EN 287-1–2009 или СТБ ISO 9606-2(5)–2009. Область распространения квалификации зависит от приведенных выше параметров процесса и указывается в соответствии с требованиями СТБ EN 287-1–2009 или СТБ ISO 9606-2(5)–2009. Форма сертификата компетентности (удостоверения сварщика) приведена на рисунке Б.1.

Глава 3 «Конструирование технологического оборудования».

3.1 Выбор и обоснование установочных элементов и прижимных устройств.

Установочные детали (опоры, упоры, пальцы, призмы, установочные конусы, постели) образуют базовые поверхности приспособлений и обеспечивают правильную ориентацию деталей в них в соответствии с правилом шести опорных точек.

Опоры приспособлений делятся на основные и вспомогательные. Основные опоры определяют положение детали в пространстве, лишая ее всех или

нескольких степеней свободы (как правило, они жестко закрепляются в корпусе приспособления запрессовкой или сваркой), вспомогательные – предназначены для придания детали дополнительной жесткости и устойчивости.

Основными опорами сборочно-сварочных приспособлений могут быть опорные штыри с плоской, сферической и насеченной головками (ГОСТ 13440, ГОСТ 13441, ГОСТ 13442).

Детали больших размеров с обработанными базовыми плоскостями устанавливают на пластины, а детали небольших и средних размеров – на штыри. Регулируемые винтовые опоры (ГОСТ 4084, 4085, 4086) используются как основные и как вспомогательные опоры. В качестве вспомогательных опор могут применяться самоустанавливающиеся одноточечные (ГОСТ 13159) и подводимые клиновые опоры. С целью механизации и автоматизации приспособлений для перемещения вспомогательных опор применяют призмы по ГОСТ 12195.

Установочные пальцы могут быть постоянными и сменными. Они применяются в сборочно-сварочных приспособлениях для установки на них деталей (изделий) одним или двумя отверстиями. Постоянные пальцы – цилиндрические (ГОСТ 12209) и срезанные (ГОСТ 12210), сменные – цилиндрические (ГОСТ 12211).

Зажимные механизмы предназначаются для закрепления установленных в приспособлении деталей, заготовок, сборочных единиц и должны отвечать ряду требований.

1 Прижимное усилие должно прилагаться в выбранной точке и иметь направление, указанное в схеме закрепления. Как правило, зажимы располагаются над опорами или вблизи них. Они не должны создавать опрокидывающего момента.

2 Прижимные механизмы должны развивать заданное расчетное усилие.

3 Расчет элементов зажимов (диаметров пневмоцилиндров, винтов, сечения рычагов и т. п.) должен производиться по заранее выбранному или рассчитанному усилию, а не наоборот.

4 Прижимы не должны нарушить заданное положение деталей, портить их поверхности и вызывать деформирование.

5 Прижимы должны быть быстродействующими.

6 Зажимные механизмы должны быть удобными и безопасными в работе.

В сборочно-сварочных приспособлениях чаще всего используют прижимы с механическим, пневматическим, гидравлическим, магнитным или электро-механическим приводом. В одном приспособлении желательно применять не более двух типов прижимов.

3.2 Расчет силовых элементов сборочно-сварочных приспособлений.

Расчет производят в две стадии:

- 1) определяют необходимые усилия прижатия собираемых деталей;
- 2) рассчитывают конструкции прижимных устройств и других элементов приспособлений на прочность и жесткость под действием этих усилий.

Для определения усилия прижатия необходимо рассчитать:

– усилия для удержания изделия от деформирования в процессе сварки и

остывания;

– усилия, обеспечивающие плотное прижатие деталей без зазоров.

Для нахождения указанных усилий теоретическим расчетом (по методам теории сварочных деформаций) или экспериментально определяются величины и направление сварочных деформаций. Затем рассчитывают усилия, способные свести эти деформации к нулю во время сварки.

Например, при сварке листовых конструкций основными деформациями являются местные «выпучены» или угловая деформация в виде «домика» на оси стыкового шва. При сварке балочных конструкций – продольный и поперечный изгибы (грибовидность).

Глава 4 «Обеспечение качества выпускаемой продукции».

4.1 *Структура системы обеспечения качества на предприятии.* Перечисляются контрольные службы предприятия (структурные подразделения), их функциональные обязанности, наличие испытательных лабораторий и лабораторий неразрушающего контроля. Анализируется область их деятельности, материально-техническое оснащение.

4.2 *Входной контроль.* Излагается организация входного контроля на предприятии, который предусматривает проверку качества поступающего сырья, материалов, комплектующих изделий, сбор информации о стабильности качества продукции предприятий-поставщиков, оформление соответствующих рекламаций поставщикам.

4.3 *Приемочный контроль.* Предусматривает контроль качества готовых изделий в соответствии с требованиями конструкторской документации и действующих технических нормативных правовых актов (ТНПА).

Назначается метод контроля, разрабатывается технология его проведения. При использовании неразрушающего контроля выбирается схема контроля, оборудование, вспомогательная оснастка, определяются параметры и режимы.

Визуально-измерительный контроль сварного соединения является основным при проведении контроля. Заполняется карта визуально-измерительного контроля, форма которой приведена на рисунке В.1. Методы контроля сварного соединения должны соответствовать требованиям, изложенным в нормативной документации, которая приводится в данном разделе пояснительной записки (например, ГОСТ 3242–79, СТБ 1133–98 и т. д.). При изложении материала данной главы рекомендуется пользоваться [14].

4.4 *Стандартизация, метрология и оценка соответствия.* В данном разделе разрабатываются мероприятия по поверке, калибровке и техническому обслуживанию измерительного оборудования, применяемого при контроле сварных соединений. Формируются метрологические требования на всех этапах жизненного цикла сварной конструкции, удовлетворяющих потребителей по обеспечению безопасности. Дается перечень всех технических нормативных правовых актов (ГОСТы, СТБ, ТУ, СТП), сопровождающих технологический процесс сборки и сварки изготавливаемого изделия, и основные их положения. Излагается порядок сертификации однородной продукции и перечень сертификатов соответствия (деклараций соответствия) на основные свариваемые

материалы, сварочные материалы, сварочное оборудование, участвующие в технологическом процессе сварки изготавливаемого изделия.

4.5 *Системы менеджмента качества.* В разделе описываются документы системы менеджмента качества предприятия: политика в области качества; цели в области качества; карты и паспорта процессов; руководство по качеству; обязательные записи о качестве процессов, требуемые СТБ ISO 9001.

К записям о качестве процессов сварки относятся:

- инструкции на технологический процесс сварки;
- отчеты о квалификации технологических процессов сварочного производства;
- сведения о квалификации сварщиков и операторов;
- сведения о сертификации сварщиков;
- сведения о сертификации персонала неразрушающего контроля;
- записи о термообработке и способах ее проведения;
- протоколы неразрушающего контроля;
- отчеты о несоответствующей продукции.

Записи анализируются на соответствие СТБ ISO 9001 и вносятся предложения по совершенствованию системы менеджмента качества применительно к специальному процессу сварки.

Глава 5 «Расчет участка цеха».

Расчет участка целесообразно выполнять вместе с экономической частью проекта, пользуясь рекомендациями [4, 9]. Он состоит из следующих разделов: расчет количества оборудования; расчет количества рабочих, служащих, ИТР; выбор транспортных средств; расчет площадей участка; разработка планировки участка цеха. Наименование и количество приспособлений для сборки и сварки должно соответствовать маршрутной технологии, разработанной в главе 2. Приспособлений одного наименования может быть несколько, в зависимости от трудоемкости данной операции. Количество приспособлений определяется по формуле

$$C_p = \frac{t_{um.i} \cdot A}{\Phi_d^o \cdot 60 K_n}, \quad (26)$$

где C_p – расчетное количество оборудования, мин;

$t_{um.i}$ – норма времени по i -й операции, мин;

A – программа выпуска, шт.;

Φ_d^o – годовой действительный фонд рабочего времени оборудования, ч;

K_n – коэффициент выполнения нормы, $K_n = 1,05 \dots 1,10$.

При этом

$$\Phi_d^o = (8D_n + 7D_c) n K_n, \quad (27)$$

где D_n, D_c – количество рабочих дней в году с полной продолжительностью и

сокращенных праздничных дней;

n – количество рабочих смен в сутки;

K_n – коэффициент, учитывающий время пребывания оборудования в ремонте, $K_n = 0,92 \dots 0,96$.

Далее определяется количество рабочих на участке.

Численность основных рабочих, занятых непосредственно выполнением технологических операций, рассчитывается по формуле

$$C_{oi} = \frac{T_{Gi}}{\Phi_{\partial}^p K_{\epsilon}}, \quad (28)$$

где T_{Gi} – годовая трудоемкость на i -й операции, нормо-ч;

Φ_{∂}^p – годовой действительный фонд рабочего времени одного рабочего, ч;

K_{ϵ} – коэффициент выполнения норм выработки, $K_{\epsilon} = 1,1 \dots 1,15$.

При этом

$$T_{Gi} = \frac{t_{um.i} A}{60}, \quad (29)$$

где $t_{um.i}$ – норма времени по i -й операции, мин;

A – программа выпуска, шт.

Годовой фонд времени работы рабочего определяется по формуле

$$\Phi_{\partial}^o = (8D_n + 7D_c) K_{нев}, \quad (30)$$

где $K_{нев}$ – коэффициент невыхода по уважительным причинам, $K_{нев} = 0,88$.

Расчет численности основных рабочих сводится в таблицу 5. Принято численность основных рабочих определять с учетом совмещения профессий. При этом суммарное расчетное число и суммарное принятое число рабочих должны быть равны.

Численность вспомогательных рабочих принимается в размере: для единичного производства – 10 %...15 %, для серийного – 15 %...20 % от численности основных рабочих. Производится распределение их по профессиям на основании норм обслуживания (таблица 6).

Численность служащих принимается в процентном отношении от общего числа рабочих (7 %...8 %). Рассчитав численность служащих, распределяют их по профессиям в соответствии с нормами.

Таблица 5 – Численность основных рабочих

Операция по узлу	Годовая трудоемкость, ч	Количество станков на операции, шт.	Численность основных рабочих, чел.	
			расчетная	принятая
...				
Всего				

Таблица 6 – Расчет численности вспомогательных рабочих

Наименование профессии	Разряд рабочего	Норма обслуживания, ед.	Численность вспомогательных рабочих, чел.	
			расчетная	принятая
...				
Итого по участку				

При выборе подъемно-транспортных средств необходимо определиться, чем изделие будет укладываться на приспособление, чем будет перемещаться на другое приспособление, каким образом будут доставляться на участок мелкие детали и т. д. Обычно на участке должен быть мостовой кран, который, кроме технологических операций, выполняет работы по монтажу и демонтажу оборудования. Для передачи конструкции с одного рабочего места на другое на участке может быть предусмотрен консольный кран или другой тип подъемно-транспортного оборудования.

При разработке плана участка необходимо в обязательном порядке соблюдать следующие правила:

- участок должен размещаться в типовой секции промышленного здания с расстояниями между колоннами 12 м и пролетом 18 или 24 м;

- принятое по результатам расчета количество оборудования, сборочно-сварочных стендов и других рабочих мест располагают на участке по ходу технологического процесса, исключая любые возвратные перемещения заготовок, узлов, изделий;

- на проектируемом участке, кроме оборудования, следует предусмотреть места для исправления дефектов и складирования заготовок и узлов, а также обеспечить наличие зон обслуживания (проходов) и проездов;

- при выполнении работ по кантовке крупных сварных заготовок на соответствующем рабочем месте должно быть предусмотрено пространство, достаточное для осуществления этой операции;

- с целью максимальной экономии рабочих площадей рекомендуется использовать двухрядное или четырехрядное размещение оборудования в пролете цеха с одним или двумя обслуживающими проездами соответственно;

- величину проездов и проходов назначают по нормам технологического проектирования в пределах от 1 до 2 м;

- складские места могут быть размещены двояким образом: либо со стороны проезда, либо вдоль пролета между двумя последовательно расположенными рабочими местами;

- размеры в плане для серийно выпускаемого оборудования принимают по паспортным данным; для специализированной оснастки – по данным проектирования сборочно-сварочного приспособления. При отсутствии проекта эти размеры принимаются исходя из соответствующих размеров сварного узла с учетом припусков величиной 0,2...0,3 м на каждую сторону;

- при размещении оборудования на проектируемом участке необходимо стремиться к сокращению общей производственной площади участка. Для этого

выполняют несколько вариантов планировки и выбирают оптимальный. Кроме того, тщательно продумываются вопросы организации работ при минимально возможном количестве складских мест;

– на плане проектируемого участка схематично показывают рабочих, обслуживающих рабочие места, в виде круга диаметром 0,5 м в соответствующем масштабе;

– разрез цеха выполняют исходя из принятой ширины пролета.

Высоту цеха определяют с учётом высоты размещаемого оборудования, габаритов мостового крана в пролете.

Глава 6 «Охрана труда».

Должны быть выполнены конкретные расчеты, касающиеся спроектированного участка, например, расчет заземления, освещения, вентиляции и др., изложен перечень вредных факторов, влияющих на сварщика, методы защиты от них. При проведении расчетов необходимо пользоваться методическими указаниями кафедры «Безопасность жизнедеятельности».

Глава 7 «Энерго- и ресурсосбережение».

Излагаются решения, принятые в проекте по энерго- и ресурсосбережению. Экономия электроэнергии достигается за счет применения современных способов сварки плавлением и давлением и сварочного оборудования (например, инверторного типа), снижения объема зачистки металла от брызг, использования новых способов сварки и др. Экономия материальных ресурсов за счет уменьшения массы конструкции, снижения количества и катетов швов, применения гнутых профилей и др.

В записке должны быть приведены конкретные расчеты по экономии электроэнергии и материалов.

Глава 8 «Экономическая часть».

Выполняется по [9].

Заключение.

В заключении указывается конкретно, какие изменения, по сравнению с базовым вариантом, внесены в проект, что это дало с технической и экономической точки зрения. Приводится годовой экономический эффект от реализации технических решений.

Список литературы.

Приложения.

Приложение А. Карты технологического процесса.

Приложение Б. Спецификация чертежей.

Приложение В. Программы расчета на ЭВМ.

Графическая часть и расчетно-пояснительная записка проекта должны составлять единое целое и дополнять друг друга. Чертежи используются для

пояснения принятых в проекте решений по проектированию участка и разработке технологического процесса. Обычно графическая часть должна содержать следующие материалы.

1 Чертеж изделия с внесенными изменениями и обозначениями сварных швов (1 лист). Если изменения в конструкцию не вносились, чертеж изделия не выполняется.

2 Технологические чертежи (1–2 листа формата А1). Изображается в аксонометрии последовательность сборки и сварки конструкции с обозначением сварных швов.

3 Результаты анализа литературы и патентных исследований (1 лист).

4 Инструкции на предварительный технологический процесс сварки (pWPS) по СТБ ISO 15609-1–2009 или СТБ ISO 15609-5–2009 (1 лист).

5 Таблицы, содержащие геометрические характеристики сварных соединений с эскизами сварных швов и подготовки кромок под сварку (1 лист).

6 Карта визуально-измерительного контроля сварного соединения (1 лист).

7 Сертификат компетентности (удостоверение) сварщика (1 лист).

8 Чертежи сборочно-сварочной оснастки (1–3 листа).

9 Планировка цеха или участка с разрезом цеха (1 лист).

10 Сравнение базового и проектируемого вариантов (1 лист).

11 Результаты компьютерных расчетов и моделирования (1–2 листа).

12 Экономические показатели проекта (1 лист).

Всего выполняется 10–12 листов формата А1. Конкретный перечень чертежей согласовывается с руководителем ВКР.

4 Содержание исследовательского проекта

Исследовательские проекты выполняются по результатам научных исследований, проведенных студентом на кафедре или предприятии. Графическая часть проекта содержит методику проведения и результаты научных исследований в виде графиков, схем, фотографий, физических и математических моделей. Обязательно должно быть представлено не менее двух листов формата А1 машиностроительных чертежей, отражающих практическую реализацию проведенных исследований. Это могут быть чертежи сварной конструкции, нового сварочного оборудования, оснастки, узлы модернизированных установок и т. д. Точный перечень чертежей согласовывается с руководителем ВКР.

Расчетно-пояснительная записка обычно имеет следующую структуру.

Введение.

Описывается актуальность проблемы.

Глава 1 «Состояние исследуемого вопроса и анализ литературы».

1.1 *Промышленный объект исследований.* Описывается промышленный объект, характеристики которого будут улучшены в результате проведенных

исследований и их практической реализации. Приводятся его основные параметры, указывается, чем они не устраивают промышленность, что желательно было бы получить. Формулируется основная задача, которую необходимо решить в проекте.

1.2 *Анализ литературы по проблеме.* Делается анализ возможных путей решения поставленной задачи. Описываются литературные аналогии исследований, в том числе патенты, указываются достоинства и недостатки.

1.3 *Основные направления исследований.* Раскрывается выбранный студентом путь решения стоящей перед производством задачи, указываются его основные достоинства. Перечисляются задачи, которые необходимо решить, чтобы реализовать предложенный метод в промышленности.

1.4 *Резюме.* Делаются выводы по первой главе.

Глава 2 «Исследовательская часть».

2.1 *Теоретические исследования и (или) моделирование процесса, их результаты.*

2.2 *Методика проведения экспериментальных исследований. Оборудование и материалы.*

2.3 *Результаты экспериментальных исследований.*

2.4 *Выводы по второй главе.*

Глава 3 «Производственная апробация».

3.1 *Разработка технологического процесса.*

3.2 *Разработка оборудования и оснастки.*

3.3 *Испытание свойств улучшенного промышленного объекта.*

3.4 *Результаты производственной реализации.*

3.5 *Выводы.*

Глава 4 «Охрана труда».

Глава 5 «Метрология, стандартизация, сертификация».

Глава 6 «Энерго- и ресурсосбережение».

Глава 7 «Экономическая часть».

Заключение.

Список литературы.

Приложения.

5 Порядок оформления и защиты проекта ВКР

Выпускная квалификационная работа – цельная и законченная работа, в которой соединены инженерная, организационная и экономическая части разрабатываемой темы. Проект должен быть выполнен самостоятельно, он является квалификационной работой, по результатам которой студенту присваивается квалификация «инженер» по специальности «Оборудование и технология сварочного производства». Студент лично несет ответственность за все принятые в проекте решения.

Пояснительная записка выполняется на листах формата А4. Текст пишется чертежным шрифтом или набирается на компьютере и оформляется согласно ГОСТ 2.105–95. Первой страницей является титульный лист, на котором ставят свои подписи студент, руководитель проекта, консультанты по экономике, охране труда, САПР, нормоконтролю, а также заведующий кафедрой. Вторая страница – задание на ВКР, которое выдается руководителем и оформляется на специальном бланке. В задании должны быть заполнены все графы, а также стоять подписи студента и руководителя ВКР. Разделы «Содержание», «Экономика» и «Охрана труда» оформляются с большим штампом и должны быть подписаны соответствующими руководителями, остальные страницы имеют малый штамп. Объем пояснительной записки 60–80 страниц.

Карты технологических процессов, спецификации к чертежам, перечень элементов электрических схем, компьютерные распечатки выносятся в приложения.

Если выполняется комплексный проект, каждый соавтор пишет отдельную пояснительную записку, со своим отдельным заданием, подписанным руководителем. Чертежи также оформляются и подписываются каждым соавтором самостоятельно. Графическая часть выполняется карандашом, тушью или на компьютере на листах формата А1. Если одно приспособление изображено на нескольких листах, они должны быть под одним номером и названием. Если вид приспособления в масштабе больше формата А1, допускается объединение листов в больший формат под одну рамку и один штамп. Свариваемые узлы в приспособлениях обозначаются тонкими, не цветными линиями. В графе «Всего листов» указывается количество листов под одним названием.

Каждый лист графической части и пояснительной записки имеет идентификационный номер, в котором указаны наименование проекта, последние три цифры зачетной книжки автора проекта, год выпуска, номера листов (например, ДП 123.19.01.000.00).

Элементы на схеме электрической принципиальной изображают условными графическими обозначениями, установленными в стандартах: элементы и приборы, которые имеют не одно положение контактов, в положении, когда ток отсутствует; элементы и приборы, которые приводятся в действие механически, в нулевом или отключенном положении. Данные об элементах и приборах, представленных на схеме установки, записывают в перечень элементов.

Полностью оформленный, со всеми чертежами и переплетенной запиской, подписанный студентом и консультантами ВКР с отзывом руководителя за неделю до защиты представляется заведующему кафедрой для утверждения и направления на внешнюю рецензию. После получения рецензии студент считается допущенным к защите проекта, на которую он должен явиться в соответствии с графиком.

Защита проекта заслушивается Государственной экзаменационной комиссией (ГЭК) в составе председателя – работника промышленного предприятия или научного учреждения, специалистов по экономике, охране труда и четырех-пяти преподавателей кафедры.

Во время защиты студент делает устный доклад в течение 5...10 мин в той же последовательности, как изложен материал в записке. Для технологического проекта это: тема проекта, назначение и характеристика изделия, анализ базового варианта, разработанная маршрутная технология, способ сварки, режимы, материалы, оборудование, технологическая оснастка, изменения, внесенные в базовый вариант, экономические показатели.

После доклада студент отвечает на вопросы членов Государственной экзаменационной комиссии, которые могут быть заданы по материалам ВКР или касаться любой дисциплины, изучавшейся в университете. Оценка студенту выставляется по результатам голосования членов ГЭКа и объявляется после защиты всех студентов, проводимой в данный день.

Список литературы

- 1 **Белоконь, В. М.** Производство сварных конструкций : учеб. пособие / В. М. Белоконь. – Могилев : ММИ, 1998. – 139 с.
- 2 **Березиенко, В. П.** Технология сварки давлением: учеб. пособие / В. П. Березиенко, С. Ф. Мельников, С. М. Фурманов. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2009. – 256 с.: ил.
- 3 **Маслов, Б. Г.** Производство сварных конструкций : учебник / Б. Г. Маслов, А. П. Выборнов. – 7-е изд., стер. – М. : Академия, 2015. – 288 с.
- 4 **Горохов, В. А.** Проектирование механосборочных участков и цехов : учебник / В. А. Горохов, Н. В. Беляков, А. Г. Схиртладзе. – М. : ИНФРА-М ; Мн. : Новое знание, 2015. – 540 с.
- 5 **Куликов, В. П.** Технология сварки плавлением и термической резки : учебник / В. П. Куликов. – Мн. : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2016. – 463 с.
- 6 **Лупачёв, В. Г.** Безопасность труда при производстве сварочных работ : учеб. пособие / В. Г. Лупачёв. – Мн. : Выш. шк., 2008. – 192 с.
- 7 **Лупачёв, В. Г.** Ручная дуговая сварка : учебник / В. Г. Лупачёв. – Мн. : Выш. шк., 2007. – 416 с.
- 8 **Немогай, Н. В.** Управление качеством : учебник / Н. В. Немогай, Н. В. Бонцевич, В. В. Садовский. – Гомель : Центр исслед. ин-тов рынка, 2006. – 361 с.

9 Организационно-экономическая часть: метод. рекомендации к дипломному проектированию для студентов специальности 1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства» / Бел.-Рос. ун-т ; сост. И. Я. Курсова. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2015. – 31 с.

10 **Катаев, Р. Ф.** Технология конструкционных материалов: теория и технология контактной сварки : учеб. пособие / Р. Ф. Катаев, В. С. Милютин, М. Г. Близник ; под ред. М. П. Шалимова. – Екатеринбург : Юрайт ; Урал. ун-т, 2017. – 146 с.

11 **Гладков, Э. А.** Автоматизация сварочных процессов : учебник / Э. А. Гладков, В. Н. Бродягин, Р. А. Перковский. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 421 с.

12 **Гладков, Э. А.** Управление процессами и оборудованием при сварке / Э. А. Гладков. – М. : Академия, 2006. – 432 с.

13 **Милютин, В. С.** Источники питания и оборудование для электрической сварки плавлением : учебник / В. С. Милютин, Р. Ф. Катаев. – М. : Академия, 2010. – 368 с.

14 **Денисов, Л. С.** Контроль и управление качеством сварочных работ : учеб. пособие / Л. С. Денисов. – Мн. : Выш. шк., 2016. – 302 с.

Приложение А (справочное)

Инструкция на предварительный технологический процесс сварки по СТБ ISO 15609-1-2009								рWPS	№
Наименование предприятия / <i>Company</i>									
Адрес / <i>Address</i>									
Процесс сварки по СТБ ISO 4063 / <i>Welding process</i>									
Степень механизации / <i>Degree of mechanization</i>									
Типы сварного соединения и сварного шва / <i>Types of welded joint and weld</i>									
Подробные сведения о подготовке кромок / <i>Groove Details</i>									
Вид свариваемого образца / <i>View welded sample</i>									
Квалификация технологии / <i>Test weld</i>									
Тип и конструкция соединения (эскиз) <i>Type and Design of the Joint (sketch)</i>						Последовательность выполнения сварки/ <i>Sequence of Welding</i>			
Свар- ной шов Weld- ed seal	Про- цесс свар- ки Weld- ing pro- cess	Диа- метр прово- локи/ элек- трода, мм Size wire/ elect- rode, mm	Сила тока, А Current , А	Напря- жение на ду- ге, В Arc voltage, V	Род тока, поляр- ность Cur- rent type, polar	Скоро- сть сварки, м/ч Welding rate, m/h	Скоро- сть по- дачи прово- локи, м/ч Wire speed, m/h	Вылет элект- рода, мм Elect- rode exten- sion, mm	Погон- ная энергия, кДж/см Energy input range, KJ/cm
Способ подготовки и очистки / <i>Preparation and cleaning technique</i>									
Марка основного металла, обозначение НД по СТБ ISO/TR 15608 / <i>Grade of Base Metal (ND Des- ignation)</i>									
Толщина элементов соединения t1, t2, мм / <i>Thickness of the elements jointed t1, t2, mm</i>									
Наружный диаметр труб D1, D2, мм / <i>External Diameter of the Tubes D1, D2, inch</i>									
Положение при сварке по СТБ ISO 6947-2012 / <i>Welding Position</i>									

Рисунок А.1 – Инструкция на технологический процесс сварки

Температура предварительного подогрева, °С / <i>Preheat Temperature, °C</i>	
Температура промежуточных слоёв прохода, °С / <i>Interpass temperature, °C</i>	
Сварочные материалы (материал, диаметр, ГОСТ) / <i>Welding consumables</i>	
Режимы прокалки / <i>Dehumidification processes</i>	
Марка защитного газа или сварочного флюса, обозначение НД / <i>Grade of shielding gas or flux, ND designation</i> – защитный газ (флюс) / <i>shielding gas (flux)</i> – защита корня шва / <i>root shielding</i>	
Импульс / <i>Pulse</i>	
Поперечные / продольные колебания <i>Transverse / longitudinal oscillations</i>	
Расход газа / <i>Gas flow rate:</i> – защитный газ / <i>shielding gas</i> – защита корня шва / <i>root shielding</i>	
Диаметр вольфрамового электрода, мм / <i>Tungsten electrode diameter, mm</i>	
Сведения о разделке (корня) шва/подкладке / <i>Seal (root) preparation/backing</i>	
Максимальная ширина валика / <i>Max.width of pass</i>	
Послесварочная термообработка, способ, темпе- ратура, °С, время, час. / <i>Postweld heat treatment, process, temperature range, °C, time range, hours</i>	
Диапазон температур нагрева и охлаждения, °С / <i>Heating and cooling temp. range</i>	
Дополнительно:	
Подготовка свариваемых деталей к сборке и сварке:	
Требования к прихватке и сварке:	

Окончание рисунка А.1

Приложение Б (справочное)

СЕРТИФИКАТ КОМПЕТЕНТНОСТИ (УДОСТОВЕРЕНИЕ) СВАРЩИКА СТБ EN 287-1-2009

Обозначение сертификата компетентности (удостоверения) _____
 Наименование инструкции на технологический процесс сварки _____
 Клеймо: _____
 Дата выполнения сварки: _____
 Фамилия сварщика: _____ фото
 Вид удостоверения личности: _____
 Дата рождения: _____
 Место работы сварщика: _____
 Обозначение стандарта на испытание: _____

Теория: (зачтено или не сдавал):

Данные процесса сварки		Контрольное сварное соединение		Область распространения квалификации
Процесс (ы) сварки				
Форма соединения (пластина, труба, стержень)				
Тип шва				
Группа основного материала, класс арматуры				
Присадочный материал (обозначение)				
Защитный газ				
Сварочный материал				
Вспомогательный материал				
Толщина образца, мм				
Наружный диаметр трубы, стержня мм				
Положение при сварке				
Способ выполнения сварного шва				
Вид контроля сварного соединения		Проведен и зачтен	Не требуется	
Контроль внешним осмотром				
Радиография				
Магнитная дефектоскопия				
Капиллярная дефектоскопия				
Металлография				
Испытание на растяжение				
Испытание на изгиб, излом				
Испытание на срез				
Ультразвуковая дефектоскопия				
Представители органа по сертификации		Ф.И.О.	Подпись	
Протокол № _____ от _____ г. Удостоверение действительно до _____		Продление квалификации работодателем/координатором по сварке на следующие 6 мес.		
Продление аттестационного удостоверения		Дата	Подпись	Должность
Продлено по «__» _____ 20__ г. Протокол № _____ от «__» _____ 20__ г.				
Председатель _____ Члены комиссии: _____ М.П. _____				

Рисунок Б.1 – Сертификат компетентности сварщика

Условные обозначения (справочные данные)

a	номинальная толщина углового шва
BW	стыковой шов
D	наружный диаметр трубы
FW	угловой шов
P	пластина
t(δ ,s)	толщина пластины или стенки трубы
T	труба
z(k)	катет углового шва
Rb	арматурный стержень

1. Характеристики сварного шва

bs	Двухсторонняя сварка
lw,rw	Сварка левым способом, сварка правым способом
mb	Сварка с защитой сварочной ванны
ml	Многослойная сварка
nb	Сварка без защиты сварочной ванны
ss	Односторонняя сварка
sl	Однослойная сварка

2. Обозначение положений при сварке

Для пластин	PA (C1, U1-1)	нижнее стыковое и "в лодочку"
	PC (C3)	горизонтальное стыковое
	PF (C2-1, U2-1)	вертикальное снизу вверх стыковое, тавровое
	PE (C4)	потолочное стыковое
	PB (Y1-2)	нижнее тавровое
	PD (Y4-2)	потолочное тавровое
Для трубных элементов	PA (C1, U2-1)	нижнее стыковое и "в угол" (труба поворотная)
	PF (C5-1, U5-1)	вертикальное снизу вверх стыковое, тавровое - труба неповоротная
	PC (C3)	горизонтальное стыковое
	H-L045	наклонное под углом от 10 до 45 – труба неповоротная (сварка снизу вверх)
	PB (Y1-2-1)	нижнее "в угол"
	PD (Y4-2)	потолочное "в угол"

3. Обозначение процессов сварки

111	Дуговая сварка плавящимся покрытым электродом (SMAW)
114	Дуговая сварка порошковой проволокой без газовой защиты
121	Дуговая сварка под флюсом проволочным электродом (SAW)
131	Дуговая сварка в инертном газе плавящимся электродом (MIG)
135	Дуговая сварка в активном газе плавящимся электродом (MAG)
136	Дуговая сварка в активном газе порошковой проволокой
137	Дуговая сварка в инертном газе порошковой проволокой
141	Дуговая сварка в инертном газе вольфрамовым электродом (TIG)
15	Плазменная сварка
24	Стыковая сварка оплавлением
311	Ацетиленокислородная сварка

4. Группы основного металла ИСО/ТО 15608:2000

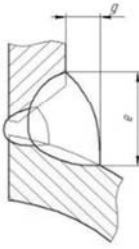
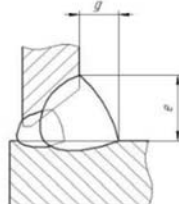
1	Ст.3, Сталь10, Сталь20. Стали с установленным минимальным пределом текучести $R_{eH} \leq 460 \text{ Н/мм}^2$
2	Термомеханически обработанные мелкозернистые стали $R_{eH} \geq 360 \text{ Н/мм}^2$
3	Улучшаемые закалкой и отпуском стали $R_{eH} \geq 360 \text{ Н/мм}^2$
4	Низколегированные ванадием стали Cr-Mo-(Ni) с содержанием Mo $\leq 0,7\%$ и V $\leq 0,1\%$
5	Стали Cr-Mo, свободные от ванадия с содержанием C $\leq 0,35\%$
6	Легированные ванадием стали Cr-Mo-(Ni), V $\leq 0,35\%$
7	Ферритные, мартенситные и дисперсионно закалённые нержавеющие стали C $\leq 0,35\%$ и $10,5\% < Cr < 30\%$

Окончание рисунка Б.1

Приложение В (справочное)

ТКВК №01 от 05.09.2014
Технологическая карта визуального и измерительного контроля

Этапик	ГЭВТО Белорусско-Российский университет
Адрес заказчика	212030 г.Минск, пр-кт Мира 43
Цель проведения контроля	Аттестация технологии сварки
Наименование объекта контроля	Челюсть соединения труб
Диаметр, мм	630
Толщина стенки (исходный), мм	4,0
Марка материала, мм	Сталь 09Г2С
Способ сварки по СТБ ISO 4063-2012 (положение сварки по СТБ ISO 6947-2012)	111 (РВ)
Подготовка кромок сварного соединения (ПНПА)	У19 (ГОСТ 16037-80)
Инструкция на технологический процесс сварки	ИПС №2

Оцениваемый параметр

1. Нормативные документы	
1.1. По методу контроля	ГОСТ 23479, СТБ 1133, СТБ ЕН 970-2003
1.2. По объему контроля и оценке качества	ГОСТ 16037-80, СТБ ISO 5817-2009, СТБ ISO 15614-1-2009
2. Объем контроля	
2.1. Визуального	100% контроль геометрии сварного шва и прилегающих поверхностей основного металла шириной не менее 20мм с обеих сторон сварного соединения с целью определения геометрии дефектов и формы шва. Наличие кляпы сварщика.
2.2. Измерительного	Измерение высоты и ширины выпуклости сварного шва. Измерение проводится через 1 метр длины но не менее чем в 3-х местах равномерно расположенных по длине шва. Измерение размеров в обнаруженных дефектах и координат их расположения. Измерение смещения кромок и перелома оси. Измерение расположения кляпы сварщика.
3. Подготовка объекта к контролю и условия контроля	
Зачистка поверхности сварного шва и прилегающих поверхностей основного металла механическим способом с обеих сторон от выпуклости шва. Зона зачистки не менее 20мм от места сопряжения валика шва с основным металлом. Шероховатость поверхности не хуже Ra12,5. Освещение комбинированное. Общая освещенность не менее 350лк. Местное освещение 1500лк. Контролируется геометрия валика, валика распространяться под углом не менее 30° с расстояния не более 600мм.	
5. Критерии оценки качества	
Контролируемые несоответствия и дефекты (СТБ ISO 6520-1-2009)	
Трещины всех видов (100)	Не допускаются
Поверхностная пористость (2017)	Не допускаются
Открытая раковина в кратере (2025)	Не допускаются
Непробор (402)	Не допускаются
Непрерывный подрез (5011)	Не допускаются
Прерывистый подрез (5012)	При толщине основного металла 1-3 мм (макс. 0,05) (макс. 1 мм)
Усадочная канавка (5013)	При 1-0,5-3 мм не допускаются. При 1-3 мм (макс. 0,05) (макс. 2 мм)
Наплыв (506)	Не допускаются
Порки (510)	Не допускаются
Воздухонепроницаемость сварки (517)	Не допускаются
Ерсы металла (602)	Не допускаются
Линейное смещение (507)	1x(0,05) (макс. 2 мм)
Ширина валика шва (507)	e=8,0-20 мм
Высота валика шва (507)	g=1,0-2,0 мм
Наличие и расположение кляпы сварщика	В соответствии с КВ
6. Определение результатов контроля	
Рабочий журнал по контролю, протокол проверки внешним осмотром и измерением геометрических параметров основного металла и сварного соединения	

4. Средства контроля и измерений, принадлежности		
Прибор измерительный	ПМ-002/1	Оттиск кляпы поборки в органах Государственной метрологической службы от 07.08.2014
Линейка измерительная	СТМ-3	Оттиск кляпы поборки в органах Государственной метрологической службы от 07.08.2014
Линейка измерительная	СТМ	Оттиск кляпы поборки в органах Государственной метрологической службы от 07.08.2014
Штангенциркуль	ШЦ-ИИ	Оттиск кляпы поборки в органах Государственной метрологической службы от 07.08.2014
Лупа измерительная	ЛМ-3-10*	Оттиск кляпы поборки в органах Государственной метрологической службы от 07.08.2014
Микрометр	МК 25-50	Оттиск кляпы поборки в органах Государственной метрологической службы от 07.08.2014
Микрометр	МК 125-150	Оттиск кляпы поборки в органах Государственной метрологической службы от 07.08.2014
Универсальный шаблон сварщика	ШШ-3	Оттиск кляпы поборки в органах Государственной метрологической службы от 07.08.2014
Челюсть	ТМТ-4	Оттиск кляпы поборки в органах Государственной метрологической службы от 07.08.2014
Линейка поперечная ленточная	ЛД	Оттиск кляпы поборки в органах Государственной метрологической службы от 07.08.2014
Шульцы	ТМТ-1	Оттиск кляпы поборки в органах Государственной метрологической службы от 07.08.2014
Шульцы	ТМТ-2	Оттиск кляпы поборки в органах Государственной метрологической службы от 07.08.2014
Шульцы	ТМТ-3	Оттиск кляпы поборки в органах Государственной метрологической службы от 07.08.2014

Карту разработал	студент	
Карту проверил	руководитель	

Исполнитель	Дата	Проверен	Дата

Рисунок В.1 – Технологическая карта контроля