

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Факультет
машиностроения и транспорта
(наименование)

Кафедра
Сварочное, литейное производство
и материаловедение
(наименование)

Направление подготовки

15.03.01 «Машиностроение»
(код и наименование)

Профиль

«Оборудование и технология сварочного
производства»
(наименование)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему

«Разработка технологии сборки и сварки емкостного
водонагревателя объемом 63 л из стали СТ.3»

Студент

15.06.18
(подпись, дата)

Журавлев Михаил Валериевич
(фио полностью)

Научный руководитель
к.т.н., доцент

15.06.18
(подпись, дата)

Семушкин А.В.
(фамилия, инициалы)

Нормоконтролёр
к.т.н., доцент

15.06.18
(подпись, дата)

Хорин А.В.
(фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от 04.06.18 № 11)

Заведующий кафедрой

18.06.2018
(подпись, дата)

Логинов О.Н.
(фамилия, инициалы)

Работа защищена с отметкой хорошо (протокол заседания ГЭК от 18.06.2018 № 3)

Секретарь ГЭК
к.т.н., доцент

18.06.2018
(подпись, дата)

Гуськов М.С.
(фамилия, инициалы)

Пенза 2018

ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФАКУЛЬТЕТ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ТРАНСПОРТА
КАФЕДРА «СВАРОЧНОЕ, ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

«Утверждаю»

Заведующий кафедрой СЛПиМ
к.т.н., доцент О.Н. Логинов
подпись

« 08 » 12 2017 г.

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу

Студента гр. 14МО1 Факультета машиностроения и транспорта Политехнического института ПГУ, очной формы обучения по направлению подготовки 15.03.01 «Машиностроение»

Журавлев Михаил Валериевич.

Научный руководитель работы: к.т.н., доцент Семушкин А.В.

Время выполнения ВКР: с 8.12.2017 г. по 01.07.2018 г.

Место преддипломной практики: кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение» ПГУ.

Тема работы: Разработка технологии сборки и сварки емкостного водонагревателя объемом 63л из стали Ст.3.

Тема утверждена приказом ректора ПГУ № 384А/О от 27 апреля 2018 г.

Техническое задание на работу:

- анализ объекта производства;
- разработка технологии сборки и сварки;
- разработка режимов сварки;
- разработка контроля качества сварных швов.

Объём и содержание основной части работы

Пояснительная записка (перечень вопросов, подлежащих разработке, расчетов, обоснований, описаний):

- введение с обоснованием актуальности темы исследования, установления объекта и предмета, постановкой цели и задач исследования;
- выбор основного и сварочного материала;
- выбор средств технологического оснащения;
- расчет параметров режима сварки;
- контроль качества сварных соединений;
- заключение – выводы и обоснования по теме работы и полученным результатам.

Графическая часть бакалаврской работы (перечень и содержание плакатов)

- | | |
|---|--------|
| - общий вид емкостного водонагревателя | 1л А1; |
| - технологические параметры режимов сварки | 1л А1; |
| - схема сборки и сварки емкостного водонагревателя | 1л А1; |
| - контроль сварных соединений и КСС | 1л А1; |
| - средства технологического оснащения | 1л А1; |
| - расчет обечайки на прочность в программе «ПАССАТ» | 1л А1; |

Рекомендуемая литература:

1 Проектирование сварных конструкций. Расчет сварных соединений
[Текст]: учебное пособие / А.Е. Розен [и др.]. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2010.
– 132 с.

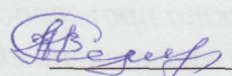
2. Инженерно – технологические основы подготовки сварочного производства [Текст]: учебное пособие / А.Е. Розен [и др.]. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2010. – 276 с.

3. Правила проектирования, изготовления и приемки сосудов и аппаратов стальных сварных [Текст]: ПБ 03-584-03. - Введ. 2003-10-06. - М.:ПАО ОБТ, 2009. - II, 104 с.: ил.

Дата выдачи задания: 08.12.2017 г.

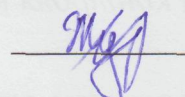
Руководитель ВКР:

к.т.н., доцент

 А.В. Семушкин

Задание к исполнению принял студент

гр. 14МО1

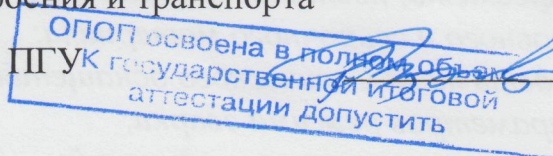
 М.В. Журавлев

08 декабря 2017 г.

Выпускную квалификационную работу к защите допустить

Декан факультета машиностроения и транспорта

Политехнического института ПГУК



С.Ю. Киреев

Аннотация

Выпускная квалификационная работа содержит 75 с., 20 рис., 18 табл., 32 использованных источника, 3 прил. Графическая часть из 6 листов формата А1.

ОБЕЧАЙКА, ДНИЩЕ, СТАЛЬ, СВАРКА, ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ, КАТЕТ, СОЕДИНЕНИЕ, ФЛЮС, КАЧЕСТВО

Объектом разработки является сварная конструкция емкостного водонагревателя из стали Ст.3.

Предметом исследования является процесс сборки и сварки емкостного водонагревателя из стали Ст.3.

Цель работы: разработка технологии сборки и сварки емкостного водонагревателя из стали Ст.3 в соответствии с НТД.

Задачами выпускной квалификационной работы являются:

- а) анализ объекта производства;
- б) проектирование сварной конструкции изделия;
- в) разработка технологии сборки и сварки изделия с выбором материалов, оборудования и средств технологического оснащения.

В данной работе была разработана усовершенствованная технология сборки и сварки емкостного водонагревателя путем замены ручной дуговой сварки покрытыми электродами на механизированную сварку плавящейся проволокой в среде защитного газа, а также применения современного оборудования.

					ПГУ ВКР 15 03 01 14МО106 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дата	Разработка технологии сборки и сварки емкостного	Лит.	Лист	Листов
Разраб.	Журавлёв						2	75
Провед.	Семвишкин							
Н. Контр.	Хорин Д.В.					Каф «СППиМ»		
Утверд.	Логинюв							

Содержание

Введение	4
1 Анализ объекта производства	5
1.1 Литературно – патентный обзор.....	5
1.2 Служебное назначение и описание конструкции изделия.....	9
1.3 Технические требования к емкости водонагревателя.....	11
2 Проектирование и расчет элементов конструкции изделия.....	13
2.1 Выбор материала изделия.....	13
2.2 Оценка свариваемости основных материалов конструкции.....	14
2.3 Расчет внутреннего давления – расчетного и пробного.....	16
2.4 Коэффициенты прочности сварных швов.....	19
2.5 Расчёт толщины стенки корпуса ёмкостного водонагревателя.....	20
2.6 Расчёт сварных соединений на прочность.....	26
3 Разработка технологии сборки и сварки изделия.....	33
3.1 Разработка схемы технологического процесса изготовления.....	33
3.2 Заготовительные операции.....	34
3.3 Выбор и обоснование способов сборки и сварки изделия.....	40
3.4 Выбор сварочных материалов.....	48
3.5 Расчет параметров режимов сварки.....	50
3.6 Выбор сварочного оборудования.....	60
4 Контроль качества сварных соединений.....	66
4.1 Визуально измерительный контроль.....	66
4.2 Гидравлические испытания.....	67
4.3 Механические испытания.....	68
4.4 Ультразвуковой контроль.....	68
Заключение.....	71
Список используемых источников.....	72
Приложение А	76
Приложение Б.....	89
Приложение В.....	93

Введение

В выпускной квалификационной работе разработан технологический процесс сборки и сварки элементов емкостного водонагревателя.

Данная конструкция представляет собой емкостной аппарат, который выпускается в условиях серийного производства.

Основной целью данной работы является проектирование, сборка и сварка данной конструкции. При этом необходимо решить следующие задачи:

- Анализ объекта производства. Служебное назначение, описание конструкции и технические требования.
- Выбор материала для ёмкости водонагревателя.
- Выбор оборудования для сборки и сварки изделия.
- Расчёт геометрических размеров ёмкости.
- Провести раскрой материала, формообразование.
- Сборка и сварка обечайки.
- Сборка и сварки днища со штуцером.
- Сборка и сварка обечайки с днищами.
- Контроль качества изделия.

Для выполнения поставленных задач, были разработаны технические решения, а также предложены специальные виды оборудования, повышающие качество и производительность выпускаемой продукции, а также методы контроля.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дата		Л

1 Анализ объекта производства

1.1 Литературно - патентный обзор

Патентное исследование проводится с целью поиска новых, более прогрессивных конструкций, анализа уровня технического развития, патентной чистоты, конкурентоспособности. Это исследование проводится на основе патентов и другой информации.

В данной выпускной квалификационной работе рассматривается технологический процесс сборки и сварки в заводских условиях элементов емкостного водонагревателя.

Исследование проводится в несколько этапов:

- Формулируется цель патентного обзора.
- Составляется регламент, по которому будет проведён поиск.
- Обосновывается индекс международной патентной классификации (МПК).
- Анализируется информация, полученная в результате поиска.
- Обобщаются результаты, разрабатываются рекомендации.
- Составляется отчёт.

Изготовление данной конструкции относится к серийному производству. Этот тип производства требует максимальной автоматизации всех процессов, с целью повышения производительности, а также улучшения качества выпускаемой продукции. При применении новейшего оборудования, которое оснащается ЧПУ, влияние человеческого фактора сводится к минимуму. Задача человека в данном случае является только контроль и задание необходимых параметров.

Следовательно, целью данного патентного исследования является исследование совершенствования технического уровня и тенденции развития оборудования для сборки и сварки ёмкости водонагревателя.

Регламент поиска состоит из определения вида поиска, его глубины или ретроспективности (количества лет), также в регламент поиска указывается пе-

речень стран ограничивающие объём поиска, выбираются источники информации, по которым будет вестись поиск аналогов объекта, а также индекс МПК.

При проведении патентного исследования пользуются патентной, научно технической информацией, техническими журналами. Правильность выбора источников информации обеспечит качество и достоверность патентных исследований.

Дата составления регламента: 02.04.2018.

Объект поиска: стенды для автоматической сварки продольного стыка обечайки.

Начало поиска: 07.05.2018.

Завершение поиска: 28.05.2018.

Страны поиска: Россия.

Ретроспективность: 20 лет.

Основные элементы регламента приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Регламент поиска

Предмет поиска	Индекс МПК	Широта поиска	Глубина поиска	Источники информации
1	2	3	4	5
Стенд для сборки и сварки продольного стыка обечайки	B23K37/04	Россия	20 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
Полу автоматическая установка для сборки и сварки цилиндрической обечайки с днищем	<i>B23K37/04</i>	Россия	20 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС
Установка для сварки кольцевых стыков оболочек	<i>B23K31/02</i> <i>B23K37/053</i> <i>B23K101/12</i>	Россия	20 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС

По результатам поиска были найдены разделы, в которых находятся необходимые нам оборудование:

- *B23K37/04* – стенд для сборки и сварки продольного стыка обечайки.
- *B23K37/04* – полуавтоматическая установка для сборки и сварки цилиндрической обечайки с днищем.
- *B23K31/02* – установка для сварки кольцевых стыков оболочек.

Для проведения дальнейшего анализа были отобраны описания изобретений, представляющих собой полуавтоматические установки применяемых для сборки емкостных аппаратов. Результаты проведенного поиска отображены в таблице 2.

Проанализировав полученную информацию, можно сделать вывод, что технология сборки и сварки емкостного оборудования включают современные оборудование и методы для повышения уровня автоматизации, что положительно влияет на производительность и качество продукции.

Проведя литературно – патентный обзор, было установлено что несмотря на высокий уровень современной техники, происходит его дальнейшее развитие и усовершенствование.

Таблица 2 – Результаты поиска патентной информации

Предмет поиска (объект исследования, его составные части)	Страна выдачи вид и номер охранного документа. Классификационный индекс МПК	Заявитель (патентообладатель), страна, номер заявки, дата приоритета, дата публикации	Название изобретения (полной модели, образца)
Технология сборки и сварки цилиндрической обечайки	СССР, <i>SU1030132A</i> , <i>B23K37/04</i>	Ганин Ю. П., Казин М. А., Лапшин Г. А., Ткаченко А. Н., СССР, 3330940/25-27, Приоритеты 14.08.1981г 23.07.1983г	Стенд для сборки и сварки продольного стыка обечайки [1]
Технология сборки емкостного оборудования	СССР, <i>SU1454630 A1</i> , <i>B23K37/04</i>	Иванов А. И., Марченко В. Б., Гавва В. Н., Задорожный В. А., Домио А. А., Коцюбинский В. В., СССР, 4290100/31-27, Приоритеты 27.07.1987г 30.01.1989г	Полу автоматическая установка для сборки и сварки цилиндрической обечайки с днищем [2]
Технология сборки емкостного оборудования	Россия, <i>RU2374053 C2</i> , <i>B23K31/02</i> <i>B23K37/053</i> <i>B23K101/12</i>	Двуреченский А. Г., Варавин И. И., Россия, 2007121422/02, Приоритеты 07.06.2007г 27.11.2009г	Установка для сварки кольцевых стыков оболочек [3]

1.2 Служебное назначение и описание конструкции изделия

Проектируемая конструкция представляет собой ёмкостной водонагреватель, представленная на рисунке 1. Данная конструкция состоит из следующих основных частей:

- двух эллиптических днищ;
- цилиндрической части (обечайка);
- двух штуцеров;
- место крепления нагревательного элемента;
- двух опор для установки по месту назначения.

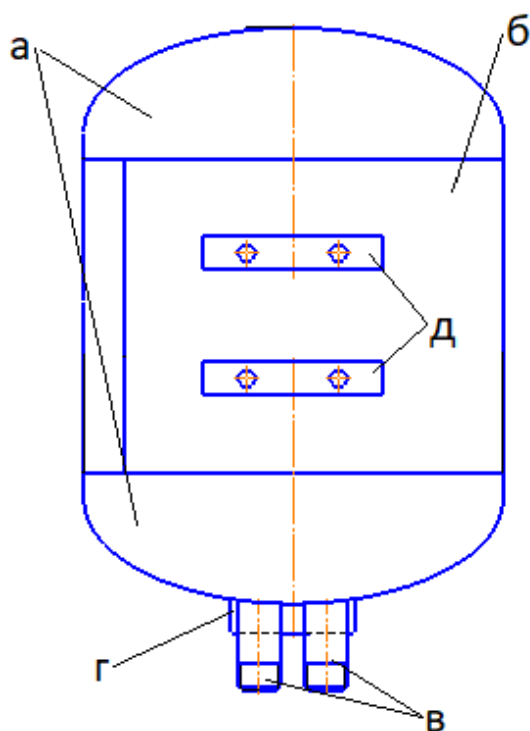


Рисунок 1 – Ёмкостной водонагреватель: а – эллиптические днища; б – обечайка; в – штуцеры для подвода и отвода воды; г – место крепления нагревательного элемента; д – опоры емкости

Данное изделие предназначено для хранения и подогрева воды. Для подвода холодной и отвода горячей воды, в конструкции предусмотрены два штуцера, а также имеется место для установки нагревательного элемента, который производит нагрев жидкости.

По заданным условиям на проектирование, конструкция устанавливается в помещении, где рабочая температура находится в пределах от плюс 20 до плюс 30 °С.

Ёмкостной водонагреватель имеет объем 63 литра, температура нагрева воды от плюс 20 до плюс 80 °С, рабочее давление в корпусе сосуда равно атмосферному, следовательно, при расчётах принимаем его $P_{\text{раб}} = 0,1$ МПа.

Из исходных данных следует, что внутренний диаметр сосуда $D_{\text{в}} = 400$ мм, высота цилиндрической части ёмкости $l = 300$ мм. Полная высота корпуса равна сумме высоты цилиндрической обечайки плюс высота двух эллиптических днищ.

Днища являются стандартными изделиями, следовательно, выбираются исходя из известных размеров обечайки. В ГОСТ 6533-78 [4] представлены все виды данного изделия. Днища поставляются готовыми, так как изготавливаются на другом заводе – изготовителе на соответствующем оборудовании. Схема днища с основными геометрическими параметрами представлена на рисунке 2.

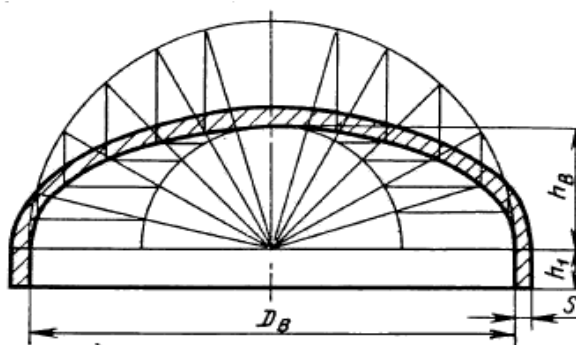


Рисунок 2 – Днище эллиптическое с основными геометрическими параметрами: $D_{\text{в}}$ – внутренний диаметр днища; $h_{\text{в}}$ – высота эллиптической части днища; h_1 – высота отбортовки; S – толщина днища

После выбора днища, записываем геометрические размеры в таблицу 3.

Таблица 3 – Размеры днища

Параметр	$D_{\text{в}}$, мм	h_1 , мм	$h_{\text{в}}$, мм	S , мм	V , дм ³	F , м ²
Значение	400,0	25,0	100,0	4,0; 5,0; 6,0; 8,0	11,5	0,2

Общую высоту емкостного водонагревателя находим по формуле [5]:

$$L = l + (h_1 + h_2) \cdot 2, \quad (1)$$

В соответствии с таблицей 3, принимаем необходимые значения и проводим расчет.

$$L = 300,0 + (25,0 + 100,0) \cdot 2,0 = 550,0 \text{ мм}$$

Схема и основные геометрические параметры представлены на рисунке 3.

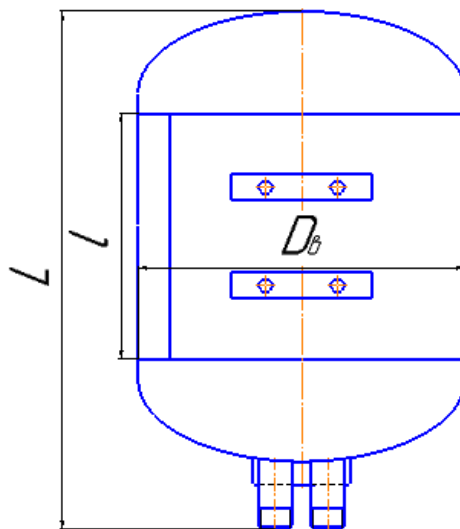


Рисунок 3 - Схема и основные параметры ёмкостного водонагревателя

Значения основных геометрических параметров указаны в таблице 4. На предприятие в готовом виде также поставляются штуцера, элементы крепления емкости.

Таблица 4 – Габаритные размеры емкостного водонагревателя

Параметр	V, м ³	L, мм	l, мм	D, мм
Значение	0,063	550,0	300,0	400,0

1.3 Технические требования к ёмкости водонагревателя

В соответствии с ГОСТ Р 52630-2012 [6], ПБ 03-584-03 [7], данная конструкция относится к ёмкостным аппаратам вертикального исполнения.

Данная конструкция относится к 4-му классу опасности по ГОСТ 12.1.007-76 [8], так как рабочей средой является вода, которая по степени воздействия на организм является малоопасным веществом. По ГОСТ 12.1.004-91 [9], изделие не является средой пожароопасной и по ГОСТ 30852.5-2002 [10] не является взрывоопасной средой.

Расчётный (назначенный) срок службы конструкции 10 лет. Число циклов нагружения за весь срок службы не должен превышать 1000 раз, при этом необходимо соблюдать требования ПБ 09-540-03 [11].

Снаружи на внешнюю оболочку ёмкости крепится табличка, на которой нанесены:

- заводской номер;
- год изготовления;
- собственная масса и масса с водой;
- клеймо ОТК;
- наименование предприятия изготовителя;
- срок службы.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дата		12

2 Проектирование и расчет элементов конструкции изделия

2.1 Выбор материала изделия

Прежде чем приступить к проектированию и расчету каких-либо элементов, необходимо выбрать, из какого материала будут изготовлены данные элементы. Материал для изготовления стальных конструкций выбирается исходя из ряда признаков. Сталь должна обладать необходимой прочностью, быть достаточно пластичной, хорошо свариваться и сопротивляться динамическим воздействиям без перехода в хрупкое состояние. При необходимости значительно снизить массу конструкции и повысить её коррозионную стойкость.

Подобранный материал должен обеспечить надёжность эксплуатации конструкции в течении расчётного срока службы с учётом заданных условий эксплуатации, характера и состава среды, а также влияния температур, действующих на аппарат.

Изделия, которые собираются в единую конструкцию путём сварки целесообразно изготавливать из материала, одинакового по химическому составу или очень схожего с основным материалом.

Выбор материала для изготовления проводится в соответствии с [6, 7]. В данных стандартах указаны характеристики материалов, а также их состав, условия эксплуатации.

Так как данная конструкция имеет небольшой объём, эксплуатируется при атмосферном давлении в диапазоне положительных температур, рабочая среда коррозионная, внешняя среда аппарата не является агрессивной, для данного изделия по [7] и по [6] подходят углеродистые стали обыкновенного качества.

Согласно ГОСТ 380-2005 [12], углеродистую сталь обыкновенного качества изготавливают следующих марок: Ст0, Ст1кп, Ст1пс, Ст1сп, Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст3Гсп, Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп, Ст5пс, Ст5сп, Ст5Гпс, Ст6пс, Ст6сп.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дата		12

При выборе марки стали нужно учитывать то, что основная часть ёмкости изготавливается из листового материала, поэтому необходимо руководствоваться производимым прокатом, который указан в ГОСТ 14637-89 [13].

Учитывая условия эксплуатации ёмкости, заданный срок службы, назначение и изготавливаемый прокат стали, принимаем в качестве основного материала конструкционную углеродистую сталь обыкновенного качества Ст3сп.

Данная сталь обладает необходимыми свойствами, имеет малые затраты на производство, а также хорошо поддается термической обработке. Химический состав, и механические свойства стали Ст3сп приведены в таблицах 5, 6.

Таблица 5 – Химический состав стали Ст3сп

Химический элемент	C	Si	Mn	Ni	S	P	N	Cu	As
Содержание, %	0,14... 0,22	0,15... 0,03	0,40... 0,65	до 0,30	до 0,05	до 0,04	до 0,30	до 0,30	до 0,08

Таблица 6 – Механические свойства стали Ст3сп при нормальных условиях

Параметр	Предел текучести, МПа	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение, %
Значение, не менее	245,0	490,0	26,0

2.2 Оценка свариваемости основных материалов конструкции

Так как данный емкостной водонагреватель изготавливается при помощи сварки, необходимо определить свариваемость выбранного материала.

В соответствии с ГОСТ 29273-92 [14], сталь считается поддающейся сварке до установленной степени, при данных процессах и для данной цели, когда сваркой достигается металлическая целостность при соответствующем технологическом процессе. При этом свариваемые детали должны отвечать техническим требованиям, как в отношении их собственных качеств, так и в отношении их влияния на конструкцию, которая образуется в результате сварки.

Для определения свариваемости материала, проводят механические испытания сварных швов в условиях, приближенных к условиям реальной эксплуатации изделия.

В ГОСТ 23870-79 [15] описаны методы оценки влияния сварки плавлением на основной металл. Этот стандарт регламентирует определение свариваемости сталей путём проведения механических испытаний на образцах. В результате испытаний устанавливают зависимости временного сопротивления ударной вязкости, относительного сужения после разрыва, относительного удлинения после разрыва, предела длительной прочности, твердости, величины зерна в зависимости от скорости охлаждения.

Свариваемость стали также может быть определена более простым и недорогим методом. Если нам известно содержание всех химических элементов в материале, то пользуясь эмпирической формулой в соответствии с ГОСТ 19281-2014 [16], можно вычислить углеродный эквивалент по формуле 2.

$$C_{\text{эКВ}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cu}{13} + \frac{V}{14} + \frac{P}{2}, \quad (2)$$

где $C_{\text{эКВ}}$ – углеродный эквивалент, %;

Mn, Si, Cr, Ni, Cu, V, P – содержание химических элементов, %.

Основным критерием свариваемости для углеродистых сталей является именно этот показатель, в соответствии с ним определяется группа свариваемости стали.

Существует четыре группы свариваемости стали:

а) первая – хорошая свариваемость;

- б) вторая – удовлетворительно свариваемость;
- в) третья – ограниченная свариваемость;
- г) четвёртая – плохо сваривающиеся стали.

В выпускной квалификационной работе, углеродистый эквивалент считаем по минимальным значениям химического состава стали, однако, считать углеродистый эквивалент следует по значениям химического состава, который указан в паспорте или стандарте на данный материал.

По формуле 2 рассчитываем углеродный эквивалент, подставляя значения из таблицы 5.

$$C_{\text{экв}} = 0,14 + \frac{0,4}{6,0} + \frac{0,15}{24,0} + \frac{0,15}{5,0} + \frac{0,15}{40,0} + \frac{0,02}{13,0} = 0,242 \%$$

После вычисления углеродного эквивалента, следует определить, к какой группе свариваемости относится данная сталь. Данные по свариваемости указаны в таблице 7.

Таблица 7 – Свариваемость стали

Диапазон значений $C_{\text{экв}}$	Свариваемость стали
$C_{\text{экв}} \leq 0,25$	хорошая
$0,25 \leq C_{\text{экв}} \leq 0,4$	удовлетворительная
$0,4 \leq C_{\text{экв}} \leq 0,5$	ограниченная
$0,5 \leq C_{\text{экв}}$	трудно свариваемая

Углеродный эквивалент для стали Ст3 находится ниже 0,25 %, следовательно, делаем вывод о том, что этот тип стали относится к хорошо свариваемым сталям.

2.3 Расчёт внутреннего давления - расчётного и пробного

В соответствии с ГОСТ 14249-89 [17], под расчетным давлением в рабочих условиях для элементов сосудов и аппаратов следует понимать давление, на которое проводится их расчет на прочность. Под пробным давлением в со-

суде или аппарате следует понимать давление, при котором должно проводиться испытание аппарата или сосуда.

При повышении давления в сосуде или аппарате во время действия предохранительных устройств более чем на 10%, по сравнению с рабочим, элементы аппарата должны рассчитываться на давление, равное 90% давления при полном открытии клапана или предохранительного устройства. Из исходных данных известно, что рабочее давление $P_{\text{раб}} = 0,1$ МПа. Зная все необходимые определения расчетного и пробного давления, приступаем к их расчету.

Определяем давление в сосуде при действии предохранительного клапана. Если выполняется условие $P_{\text{раб}} \leq 0,3$, то ведем расчет по формуле [5]:

$$P_{\text{к}} = P_{\text{раб}} + 0,05, \quad (3)$$

где $P_{\text{к}}$ – давление, при действии предохранительного клапана, МПа;

$P_{\text{раб}}$ – рабочее давление, МПа.

Если выполняется условие $0,3 < P_{\text{раб}} \leq 6,0$ МПа, то ведем расчет по формуле [5]:

$$P_{\text{к}} = 1,15 \cdot P_{\text{раб}} \quad (4)$$

Так как $P_{\text{раб}} < 0,3$ МПа, то давление в сосуде при действии предохранительного клапана определяется по формуле 3.

$$P_{\text{к}} = 0,1 + 0,05 = 0,15 \text{ МПа}$$

Давление без учёта гидростатического давления определяется по следующим условиям. Если $P_{\text{раб}} \leq 6,0$ МПа то ведем расчет по формуле [5]:

$$P_{\text{р}} = 0,9 \cdot P_{\text{к}} \quad (5)$$

где $P_{\text{р}}$ – давление, без учета гидростатического давления, МПа.

Если $P_{\text{раб}} > 6,0$ МПа, то используем формулу [5]:

$$P_{\text{р}} = P_{\text{раб}} \quad (6)$$

Так как $P_{\text{раб}} < 6,0$ МПа, давление без учёта гидростатического давления будет определяться по формуле 5.

$$P_{\text{р}} = 0,9 \cdot 0,15 = 0,135 \text{ МПа}$$

Согласно [17], если на элементы сосуда или аппарата действует гидростатическое давление, составляющее 5 % или более от рабочего давления, то расчётное давление повышают на величину гидростатического давления.

Гидростатическое давление среды, действующее на элементы сосуда, определяется по формуле [5]:

$$P_r = \rho_c \cdot q \cdot H_c \cdot 10^{-6}, \quad (7)$$

где ρ_c – плотность рабочей среды в аппарате, кг/м³;

q – ускорение свободного падения, м/с²;

H_c – высота среды в аппарате, м.

Принимаем $\rho_c = 1000,0$ кг/м³; $q = 9,81$ м/с²; $H_c = 0,9$ м.

Определяем значение гидростатического давления по формуле 7.

$$P_r = 1000,0 \cdot 9,81 \cdot 0,9 \cdot 10^{-6} = 0,0088 \text{ МПа}$$

Так как гидростатическое давление среды, $P_r = 0,0088 > 0,005$ МПа, составляет более 5 % от рабочего, то расчётное давление с учётом гидростатического давления среды определяется по формуле [5]:

$$P = P_p + P_r \quad (8)$$

$$P = 0,135 + 0,0088 = 0,14 \text{ МПа}$$

В сосудах или аппаратах, под пробным давлением следует понимать давление, при котором проводится испытание сосуда или аппарата. Определяется по формулам [5, 7]:

$$P_{пр} = 1,25 \cdot P \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}, \quad (9)$$

где $P_{пр}$ – пробное давление, МПа;

P – расчетное давление сосуда, МПа;

$[\sigma]_{20}$ – допускаемое напряжение для материала сосуда при температуре 20 °С, МПа;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение для материала сосуда при расчетной температуре, МПа.

Принимаем $[\sigma]_{20} = 154,0$ МПа; $[\sigma] = 150,0$ МПа.

Тогда, подставляя принятые значения, определяем пробное давление по формуле 9.

$$P_{\text{пр}} = 1,25 \cdot 0,14 \cdot \frac{154,0}{150,0} = 0,18 \text{ МПа}$$

2.4 Коэффициенты прочности сварных швов

Для того чтобы определить коэффициент прочности сварных соединений необходимо предварительно принять способ сварки изделия.

Способ сварки для сборки проектируемой конструкции выбирается на основании регламентируемых [6, 7], в которых написано о том, что сосуды, в зависимости от конструкции и размеров, могут быть изготовлены с применением всех видов промышленной сварки, за исключением газовой сварки. Применение такого типа сварки разрешается только для змеевиков и труб, следовательно, для выполнения сварочных операций принимаем такой способ сварки как электродуговая сварка плавящимся электродом.

В ГОСТ 2601-84 [18] написано, что дуговая сварка плавящимся электродом – это сварка плавлением, при котором нагрев осуществляется электрической дугой, выполняется электродом, который расплавляется при сварке и служит присадочным материалом.

Существует достаточно большое количество разновидностей дуговой сварки плавящимся электродом, в рамках выпускной квалификационной работы предварительно принимаем сварку плавящимся электродом в среде углекислого газа. Данный способ сварки показывает хорошие показатели качества, а также хорошие экономические показатели в сравнение с другими видами.

Для определения прочности сварных швов, необходима длина контролируемого участка сварных соединений. По [7], для данной ёмкости следует контролировать участки швов не менее 25 %.

Согласно [17], принимаем коэффициент прочности сварных швов. Для всех соединений, значение коэффициента прочности свариваемых швов при длине контролируемых швов от общей длины $\varphi_p = 0,9$ %.

						Лист
						10
Изм.	Лист	№ док-м.	Под-	Дата		

2.5 Расчёт толщины стенки корпуса ёмкостного водонагревателя

Рассчитаем толщину стенки эллиптического днища проектируемого аппарата согласно [17].

Расчетная толщина стенки днища, определяется по формуле [5]:

$$S_{1p} = \frac{P \cdot R}{2 \cdot \varphi_p \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot P}, \quad (10)$$

где S_{1p} – толщина стенки днища, мм;

P – расчетное внутреннее давление, МПа;

R – радиус кривизны в вершине днища, мм;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение для материала при расчетной температуре, МПа;

φ_p – коэффициент прочности продольных сварных швов.

Допускаемое напряжение $[\sigma]$ для стали Ст3сп находится по формуле [5]:

$$[\sigma] = [\sigma]_{20} + \frac{[\sigma]_{100} - [\sigma]_{20}}{t_2 - t_1} \cdot (t_2 - t_1), \quad (11)$$

где $[\sigma]_{20;100}$ – допускаемое напряжение при температуре 20 и 100 °С;

$t_{1,2}$ – принятые температуры.

Принимаем $t_1 = 20$ °С; $t_2 = 100$ °С; $[\sigma]_{20} = 154,0$ МПа; $[\sigma]_{100} = 149,0$ МПа.

Тогда для данной марки стали допускаемое напряжение определяем по формуле 11.

$$[\sigma] = 154,0 + \frac{149,0 - 154,0}{100 - 20} \cdot (80 - 20) = 150,0 \text{ МПа}$$

Радиус кривизны в вершине днища находится по формуле [5]:

$$R = \frac{D^2}{4 \cdot H_d}, \quad (12)$$

где R – радиус кривизны в вершине днища, мм;

D – диаметр нижней части днища, мм;

H_d – высота эллиптической части днища, мм.

Принимаем $H_d = 100,0$ мм.

Подставляем принятые значения и определяем радиус кривизны днища по формуле 12.

$$R = \frac{400,0^2}{4,0 \cdot 100,0} = 400,0 \text{ мм}$$

Имея необходимые данные, рассчитаем толщину стенки днища по формуле 10.

$$S_{1p} = \frac{0,14 \cdot 400,0}{2,0 \cdot 0,9 \cdot 150,0 - 0,5 \cdot 0,14} = 0,2 \text{ мм}$$

Исполнительную толщину стенки днища емкости определяем по формуле [5]:

$$S_1 \geq S_{1p} + C, \quad (13)$$

где S_1 – исполнительная толщина стенки днища, мм;

S_{1p} – расчётная толщина стенки, мм;

C – сумма прибавок к расчётной толщине стенок, мм.

Согласно [14] сумма прибавок определяется по формуле [5]:

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \quad (14)$$

где C_1 – прибавка для компенсации коррозии и эрозии, мм;

C_2 – прибавка для компенсации минусового допуска, мм;

C_3 – прибавка технологическая, мм.

В данной работе, технологическую прибавку C_3 не учитываем.

Прибавка для компенсации коррозии C_1 определяется по формуле [5]:

$$C_1 = \Pi \cdot \tau + C_э, \quad (15)$$

где Π – скорость проникновения коррозии, мм/год;

τ – срок службы аппарата, лет;

$C_э$ – прибавка для компенсации эрозии, мм.

В данной работе прибавка для компенсации эрозии $C_э$ не учитывается.

Принимаем $\Pi = 0,10$ мм/год. $\tau = 10$ лет.

Определяем прибавку C_1 по формуле 15.

$$C_1 = 0,1 \cdot 10 = 1,0 \text{ мм}$$

Прибавка для компенсации минусового допуска принимается по стандартам на прокат в зависимости от толщины листа, в данном случае ссылаемся на ГОСТ 19903-2015 [19].

Определяем исполнительную толщину стенки без компенсации минусового допуска по формуле [5]:

$$S_1 \geq S_{1p} + C_1 \quad (16)$$

$$S_1 \geq 0,2 + 1,0 = 1,2$$

В том случае, когда значение C_2 превышает 5 % от номинальной толщины листа согласно [17], прибавка для компенсации минусового допуска учитывается.

Далее следует расчет исполнительной толщины стенки. Чтобы произвести этот расчет, нужно предварительно принять толщину стенки днища.

Так как при расчётах учитывается только допускаемое напряжение стали и внутреннее расчётное давление в аппарате, то полученная исполнительная толщина может оказаться недостаточной. При выборе толщины стенки следует учесть, что к днищам проектируемой конструкции необходимо произвести крепление штуцеров при помощи сварки, что приводит к высокому уровню сварочных деформаций при недостаточной толщине стенки. При этом необходимо обеспечивать минимальную металлоёмкость конструкции. Для того чтобы избежать больших сварочных деформаций, принимаем толщину стенки днища $S_l = 4,0$ мм в соответствии с [4]. Таким образом, при известной толщине стенки прибавка $C_2 = 0,4$ мм.

Определяем исполнительную толщину стенки, с учётом прибавки на минусовой допуск по формуле [5]:

$$S_1 \geq S_{1p} + C_1 + C_2, \quad (17)$$

$$S_{1p} + C_1 + C_2 = 0,2 + 1,0 + 0,4 = 1,6 \text{ мм}$$

$$4,0 \text{ мм} \geq 1,6 \text{ мм}$$

Проверяем необходимость учёта прибавки для компенсации минусового допуска стального листа $S_l = 4,0$ мм.

Прибавка учитывается, так как $C_2 = 0,4 > 0,05 \cdot S = 0,2$ мм, и составляет более 5% от толщины листа.

Общая сумма прибавок определяется по формуле 14.

$$C = 1,0 + 0,4 = 1,4 \text{ мм}$$

Допускаемое давление для стенки днища рассчитывается по формуле [5]:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S_l - C)}{R + 0,5(S_l - C)} \quad (18)$$

где $[P]$ – допускаемое давление для стенки днища, МПа.

Зная все необходимые значения, подставляем в формулу 18.

$$[P] = \frac{2,0 \cdot 150,0 \cdot 0,9 \cdot (4,0 - 1,4)}{200,0 + 0,5 \cdot (4,0 - 1,4)} = 3,48 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$P = < [P]$$

Подставляем значения в условие:

$$0,1 \text{ МПа} \leq 3,48 \text{ МПа}$$

Условие выполняется.

Условие применения расчётных формул:

$$\frac{S - C}{D} \leq P$$

Подставляем значения в условие:

$$\frac{4,0 - 1,4}{400,0} = 0,006 \leq 0,1$$

Условие выполняется.

Так как условия прочности выполняются, оставляем принятую толщину стенки днища $S_l = 4,0$ мм.

Толщина стенки обечайки рассчитывается по [17]. Схема обечайки представлена на рисунке 4.

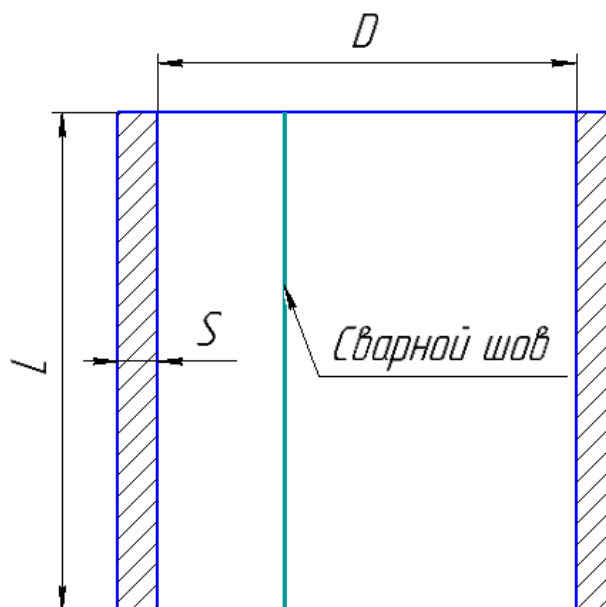


Рисунок 4 – Схема обечайки в разрезе

Расчетная толщина стенки обечайки S_p , определяется по формуле [5]:

$$S_p = \frac{P \cdot D}{2,0 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - P}, \quad (19)$$

где S_p – расчетная толщина стенки обечайки, мм.

Подставляем известные значения в формулу 19.

$$S_p = \frac{0,14 \cdot 400,0}{2,0 \cdot 150,0 \cdot 0,9 - 0,14} = 0,2$$

Также как и при расчёте днища, вычисляем исполнительную толщину S_2 стенки обечайки по формуле [5]:

$$S_2 \geq S_p + C, \quad (20)$$

где S_2 – исполнительная толщина стенки обечайки, мм.

Определяем прибавку для компенсации коррозии по формуле 15.

$$C_1 = 0,2 \cdot 2 = 0,4 \text{ мм}$$

Вычисляем исполнительную толщину без прибавки для компенсации минусового допуска по формуле 20.

$$S_2 \geq 0,2 + 0,4 = 0,6 \text{ мм}$$

Также как и в случае с днищем, исполнительной толщины стенки может быть недостаточно.

При выборе толщины стенки обечайки необходимо учесть, что к ней будут привариваться опорные элементы и если толщины стенки будет недостаточно, то при установке может произойти деформация, также необходимо учесть ранее выбранную толщину стенки днищ, имеющийся сортамент сортового или фасонного проката, чтобы обеспечить максимально малую металлоёмкость конструкции. Следовательно, для выполнения всех перечисленных требований толщину стенки принимаем $S = 4$ мм.

При известной толщине стенки согласно [19] прибавка $C_2 = 0,4$ мм.

Определяем исполнительную толщину стенки S_2 с учётом прибавки на минусовой допуск по формуле [5]:

$$S_2 \geq S_p + C_1 + C_2, \quad (21)$$

$$S_2 \geq 0,2 + 0,4 + 0,4 = 1,0 \text{ мм}$$

Проверяем необходимость учёта прибавки для компенсации минусового допуска стального листа $S = 4,0$ мм.

Прибавка учитывается, так как $0,4 > 0,05 \cdot S = 0,2$ мм и составляет более 5% от толщины листа.

Общая сумма прибавок определяется по формуле 14.

$$C = 0,4 + 0,4 = 0,8 \text{ мм}$$

Для принятого значения S обечайки рассчитаем допускаемое внутреннее избыточное давление по формуле [5]:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S - C)}{D + (S - C)} \quad (22)$$

Подставляем ранее полученные значения в формулу 22.

$$[P] = \frac{2,0 \cdot 150,0 \cdot 0,9 \cdot (4,0 - 0,8)}{400,0 + (4,0 - 0,8)} = 0,95 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$P = < [P]$$

Подставляем значения в условие:

$$0,1 \text{ МПа} \leq 0,95 \text{ МПа}$$

Условие выполняется.

Условие применения расчётных формул:

$$\frac{S-C}{D} \leq P$$

$$\frac{4,0-0,8}{400,0} = 0,008 \leq 0,1 \text{ МПа}$$

Условие выполняется.

Так как оба условия выполняются, оставляем заданную толщину стенки $S = 4,0$ мм.

2.6 Расчёт сварных соединений на прочность

Ёмкостной водонагреватель состоит из 8 сварных соединений:

- а) 3 стыковых соединения (2 кольцевых соединения, при помощи которых к обечайки крепятся эллиптические днища и 1 продольный шов обечайки);
- б) 3 угловых соединения;
- в) 2 тавровых соединения, при помощи которых крепятся опорные элементы.

Проанализировав представленные в ГОСТ 14771-76 [20] соединения, можно утверждать, что при известной толщине стенки $S = 4,0$ мм для продольного шва обечайки целесообразно применять соединение без разделки кромок, это позволит сократить время подготовки изделия под сварку, а также сократить количество операций, следовательно, уменьшив себестоимость. Для соединения обечайки с днищами при равной толщине, следует применять соединение без разделки кромок. По [20] для продольного шва обечайки, а также соединения обечайки с днищами, принимаем тип сварного соединения С2, изображенный на рисунке 5.

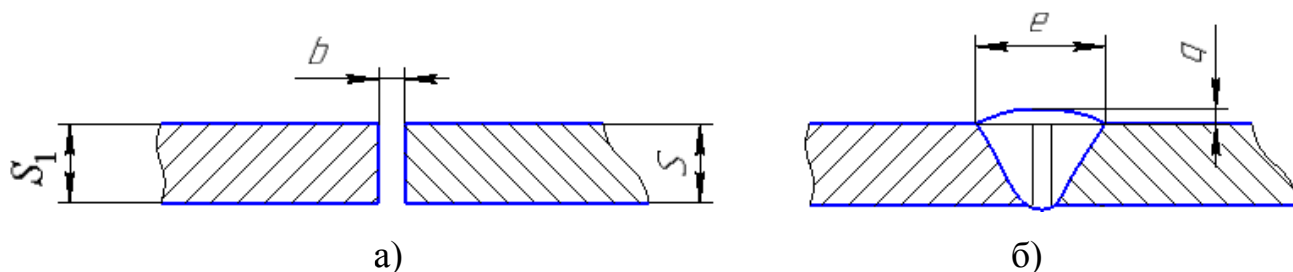


Рисунок 5 – Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения типа С2: а) – эскиз соединения; б) – эскиз шва

Конструктивные параметры кромок и сварных швов принимаются согласно выполненному ранее расчёту и в соответствии с [20].

Сварной шов типа С2 УП имеет следующие конструктивные параметры: $S = 4,0$ мм; $S_1 = 4,0$ мм; $b = 0 \pm 1,5$ мм; $e = 10,0 \pm 1,0$ мм; $q = 1,0 \pm 0,5$ мм.

В соответствии с РД 26-18-8-89 [21], принимаем угловое соединение типа У7 для приварки штуцеров к днищу ёмкости. Данный тип шва обеспечит полное проплавление сварного соединения при условии односторонней сварки с учетом рекомендаций нормативной документации. Конструктивные элементы соединения типа У7 представлены на рисунке 6.

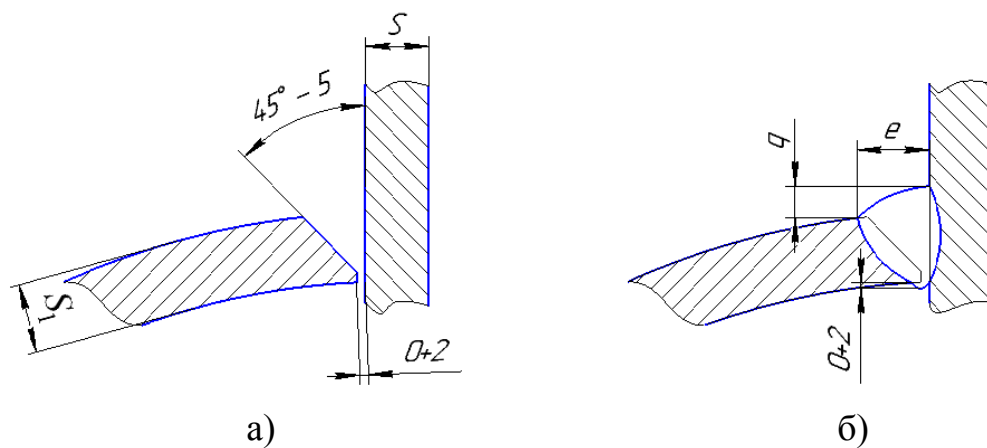


Рисунок 6 – Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения У7: а) – эскиз соединения; б) – эскиз шва

Согласно [21], параметры шва типа У7 следующие: $S = 4,0$ мм; $S_1 = 4,0$ мм; $g = 4,0 \pm 2,0$ мм; $e = 16,0 \pm 1,0$ мм; $\alpha = 45^\circ$.

По допускаемым напряжениям проводим расчёт сварных соединений на прочность.

Для продольного шва обечайки используем соединение С2, расчёт на прочность которого ведётся по формуле [5]:

$$\sigma_{\text{ш}} = \frac{N}{F_{\text{ш}}} \leq \frac{m \cdot R_{\text{н}}}{n \cdot \gamma_{\text{м}}}, \quad (23)$$

где N – растягивающая сила;

$F_{\text{ш}}$ – площадь поперечного сечения шва;

m – коэффициент условий работы

$\gamma_{\text{м}}$ – коэффициент безопасности по материалу;

n – коэффициент перегрузки;

$R_{\text{н}}$ – нормативное сопротивление материала.

Принимаем $m=0,9$; $\gamma_{\text{м}}=1,1$; $n=1,0$; $R_{\text{н}}=245,0$ МПа, согласно РД 22-16-2005 [22].

Растягивающая сила N будет определяться по формуле [5]:

$$N = P_{\text{пр}} \cdot \Pi, \quad (24)$$

где Π – расчетная площадь поверхности, на которую действует избыточное давление внутри обечайки, мм².

Площадь её внутренней поверхности Π находится по правилам геометрии, так как обечайка имеет цилиндрическую форму, производим расчет по формуле [5]:

$$\Pi = 2,0 \cdot \pi \cdot R \cdot h_{\text{об}}, \quad (25)$$

где π – постоянное число, равное $\pi = 3,14$;

R – радиус обечайки, равный $R = 200,0$ мм;

$h_{\text{об}}$ – высота обечайки, равная $h_{\text{об}} = 300,0$ мм.

Имея необходимые значения,ставляем в формулу 25.

$$\Pi = 2,0 \cdot 3,14 \cdot 200,0 \cdot 300,0 = 376800 \text{ мм}^2$$

Вычисляем растягивающую силу N по формуле 24.

$$N = 0,18 \cdot 376800 = 67,8 \text{ кН}$$

Обладая всеми необходимыми данными, определим прочность сварного шва по формуле 23.

$$\sigma_{\text{ш}} = \frac{67,8 \cdot 10^3}{4,0 \cdot 300,0} = 56,5$$

Так как выполняется условие $\sigma_{\text{ш}} = 56,5 \leq 200,5 \text{ Н/мм}^2$, делаем вывод о том, что шов работоспособен.

Проводим проверку прочности сварного кольцевого соединения С2 по формуле [5]:

$$\sigma = \frac{N}{F} \leq [\sigma], \quad (26)$$

где σ – напряжение в сварном соединении, МПа;

N – продольная нагрузка, растягивающая шов, кН;

F – площадь поперечного сечения шва;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение при растяжении, МПа.

Так как в конструкции применяются эллиптические днища, для расчёта шва С2 необходима площадь их внутреннего сечения, которая определяется по правилам геометрии формула [5]:

$$П = \frac{1,0}{2,0} \pi ab, \quad (28)$$

где a – длина большой полуоси, мм;

b – длина малой полуоси, мм.

Принимаем $a = 400,0 \text{ мм}$; $b = 125,0 \text{ мм}$.

Определяем расчетную площадь поверхности $П$ по формуле 28.

$$П = \frac{1,0}{2,0} 3,14 \cdot 400,0 \cdot 125,0 = 78500,0 \text{ мм}^2$$

Так как по всей поверхности днища изделия давление распределяется равномерно, то растягивающее усилие будет определяться по формуле 24.

$$N = 0,18 \cdot 78500,0 = 14130,0 \text{ Н} \approx 14,0 \text{ кН}$$

						Лист
						20
Изм.	Лист	№ док-м.	Под-	Дата		

Длина рассчитываемого сварного шва $L_{ш}$ находится как длина окружности свариваемых деталей по наружной поверхности с вычитанием технологической составляющей $\Delta = 10,0$ мм, так как шов выполняется без вводных технологических планок, формула [5]:

$$L_{ш} = \pi \cdot D - \Delta \quad (29)$$

где $L_{ш}$ – длина рассчитываемого шва, мм.

Имея все необходимые значения, поставляем в формулу 29.

$$L_{ш} = 3,14 \cdot 400,0 - 10,0 = 1271,0 \text{ мм}$$

Тогда,

$$\sigma = \frac{14,0 \cdot 10^3}{4,0 \cdot 1271,0} = 2,75 \text{ МПа}$$

Так как $2,75 \text{ МПа} \leq 150 \text{ МПа}$, делаем заключение о том, что шов работоспособен.

Расчет углового соединения У7 проводим по формуле [5]:

$$\tau = \frac{N}{F} \leq [\tau] \quad (30)$$

где τ – напряжение среза в угловом сварном соединении, МПа;

$[\tau]$ – допускаемое напряжение при срезе, МПа.

Рассчитаем площадь поперечного сечения F для угловых швов по формуле [5]:

$$F = \beta \cdot h_{ш} \cdot L_{шт}, \quad (31)$$

где β – коэффициент определения расчетной толщины углового шва;

$h_{ш}$ – толщина шва, принимаемая равной катету вписанного в шов равнобедренного прямоугольного треугольника, мм;

$L_{шт}$ – длина сварного шва штуцера, мм.

Принимаем $\beta = 0,7$.

Для рассматриваемого сварного соединения величина $h_{ш}$ будет определяться по формуле [5]:

$$h_{ш} = \sqrt{e^2 + q^2}, \quad (32)$$

где параметры сварного шва e и g приняты как среднее арифметическое от их предельных значений.

Принимаем $e = 6,0$ мм; $g = 2,0$ мм.

Подставляем принятые значения в формулу 32.

$$h_{ш} = \sqrt{e^2 + g^2} = \sqrt{6,0^2 + 2,0^2} = 6,32 \approx 6,0 \text{ мм}$$

Для штуцера длина сварного шва $L_{шт}$ определяется по формуле [5]:

$$L_{шт} = \pi \cdot d_{ш} - \Delta, \quad (33)$$

где $d_{ш}$ – внутренний диаметр штуцера, равный $d_{ш} = 40,0$ мм.

Δ – технологическая составляющая, равная $\Delta = 10,0$ мм

Подставляем полученные значения в формулу 33.

$$L_{шт} = 3,14 \cdot 40,0 - 10,0 = 115,6 \text{ мм} \approx 116,0 \text{ мм}$$

Рассчитаем площадь поперечного сечения F для угловых швов по формуле 31.

$$F = 0,7 \cdot 6,0 \cdot 116,0 = 487,2$$

Допускаемое напряжение при срезе $[\tau]$ рассчитываются по формуле [5]:

$$[\tau] = 0,5 \cdot [\sigma], \quad (34)$$

Подставляем значения в формулу 34.

$$[\tau] = 0,5 \cdot 150,0 = 75,0 \text{ МПа}$$

Определяем площадь поверхности Π для штуцера по формуле [5]:

$$\Pi = \pi \frac{d_{ш}^2}{4}, \quad (35)$$

Подставляем значения в формулу 35.

$$\Pi = 3,14 \cdot \frac{40,0^2}{4}, = 1256,0 \text{ мм}^2$$

Тогда,

$$N = 0,18 \cdot 1256,0 = 226,08 \text{ Н} \approx 0,23 \text{ кН}$$

Обладая необходимыми данными, определяем напряжение среза углового сварного соединения по формуле 30.

$$\tau = \frac{0,23 \cdot 10^3}{487,2} = 46,4$$

Условие $46,4 \text{ МПа} \leq 75,0 \text{ МПа}$ выполняется, следовательно, сварной шов работоспособен.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дата		22

3 Разработка технологии сборки и сварки изделия

3.1 Разработка схемы технологического процесса изготовления

Согласно ГОСТ 3.1109-82 [23] под технологическим процессом в машиностроении понимают часть производственного процесса, которая содержит целенаправленные действия по изменению и определению состояния предмета труда. Данный процесс может быть отнесен к изделию, его составной части или к методам обработки, сборки или формообразования. К предметам труда относятся заготовки и изделия. Главная цель разработки технологического процесса – составление такого способа изготовления изделия, который является наиболее рациональным в экономическом и в техническом планах при правильном и полноценном использовании всех возможностей оборудования и оснастки на наиболее производительных режимах, при минимальных затратах времени, рабочей силы и вспомогательных материалов.

Технологический процесс, включает в себя целый ряд операций, которые выполняются в строго определенной последовательности. В [23], сказано что, технологической операцией является законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте.

Обеспечение технологичности конструкции изделия регламентируется ГОСТ 14.201-83 [24], данный стандарт устанавливает основные положения, систему показателей, последовательность и содержание работ по обеспечению технологичности.

Технологический процесс производства состоит из следующих этапов:

- а) Заготовительные операции (резка, правка).
- б) Подготовка поверхности.
- в) Сборка.
- г) Механическая доработка.
- д) Контрольные испытания.
- е) Покраска.

ж) Упаковка.

з) Отгрузка.

3.2 Заготовительные операции

Заготовительные операции – один из этапов технологического процесса изготовления сварных конструкций, в котором используются детали, полученные из заготовок листового проката, профилей, труб, а также отливок и поковок.

К основным операциям заготовительного процесса относят:

а) Составление схемы раскроя.

б) Предварительная правка.

в) Очистка и подготовка поверхности.

г) Разметка.

д) Окончательная правка.

е) Обработка кромок.

ж) Образование отверстий.

з) Гибка (вальцовка).

и) Штамповка.

й) Маркировка.

к) Контроль качества.

Основной задачей составления схемы раскроя является то, чтобы свести к минимуму количество оставшегося металла после операции раскроя.

Для того чтобы выбрать листовой прокат для изготовления обечайки, необходимо обратиться к [19], в котором указан размерный ряд.

Все виды листового проката имеют свое обозначение. Условное обозначение проката изображено в виде схемы на рисунке 7.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дата		21

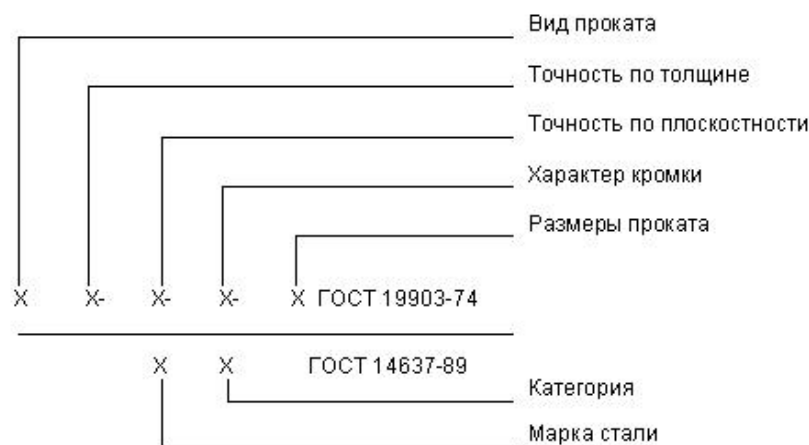


Рисунок 7 – Схема условного обозначения проката

Из выше приведенной схемы можно видеть, что прокат выбирается по нескольким критериям.

По видам прокат подразделяется:

- а) Листы.
- б) Рулоны.

По точности изготовления по толщине:

- а) Повышенной точности (А).
- б) Обычной точности (Б).

По точности изготовления по плоскости:

- а) Особо высокой (ПО).
- б) Высокой (ПВ).
- в) Улучшенной (ПУ).
- г) Нормальной (ПН).

По характеру кромки:

- а) С не обрезной кромкой (НО).
- б) С обрезной кромкой (О).

Для того чтобы максимально использовать выбранную нами заготовку, необходимо рассчитать коэффициент использования материала. Также это позволит нам узнать количество отходов, что является не маловажным фактором при выборе листового проката. Коэффициент использования материала $K_{и.м}$ определяем по формуле [5]:

$$K_{и.м} = \frac{M_{\phi}}{M_3} \cdot 100\%, \quad (36)$$

где $K_{и.м}$ – коэффициент использования материала, мм;

M_{ϕ} – площадь фактического листа, мм;

M_3 – площадь заданного листа, мм.

Площадью фактического листа M_{ϕ} является площади развёртки листа обечайки, для того чтобы её узнать необходимо определить длину листа обечайки $l_{об}$, которая определяется по формуле [5]:

$$l_{об} = \pi \cdot (D_{в} + s), \quad (37)$$

где $l_{об}$ – длина обечайки, мм;

$D_{в}$ – внутренний диаметр;

s – толщина стали.

Подставляем значения в формулу 37.

$$l_{об} = 3,14 \cdot (400,0 + 4,0) = 1268,56 \text{ мм}$$

Принимаем $l_{об} = 1269,0$ мм.

Площадью заданного листа M_3 является площадь листа, выбранного из [19]. Коэффициент использования материала $K_{и.м}$ должен быть не менее 70 %. Выбираем лист размером 1400×2000×4 мм. Схема раскроя данного листа представлена на рисунке 8.

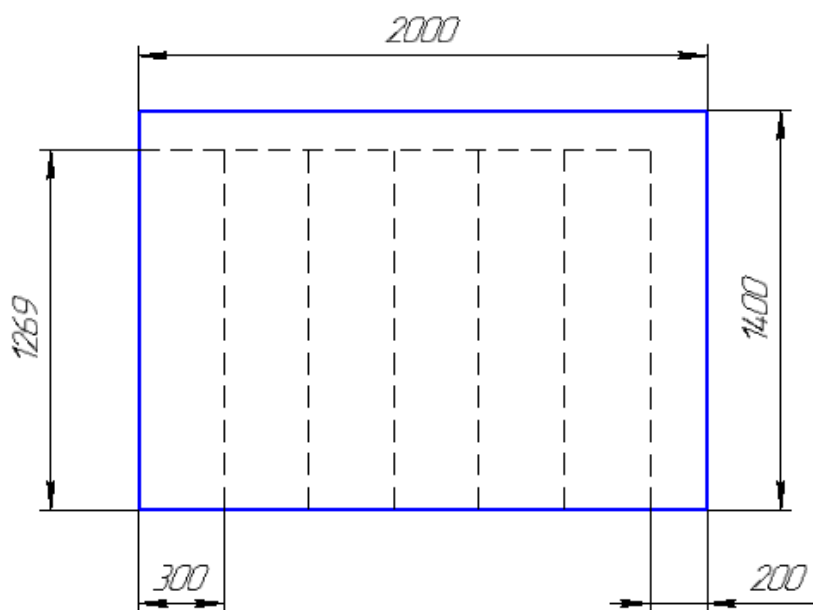


Рисунок 8 – Схема раскроя листа

Тогда,

$$K_{и.м} = \frac{1269,0 \cdot 1800,0}{1400,0 \cdot 2000,0} \cdot 100 = 82,1\%,$$

82,1% > 70% – условия выполняются.

После того, как был посчитан коэффициент использования материала, необходимо принять выбранный прокат. В рамках выпускной квалификационной работы, прокат:

$$\text{Лист} \frac{\text{Б – ПН – 0 – 4 ГОСТ 19903 – 74}}{\text{Ст3сп – св ГОСТ 14637 – 89}}$$

Следующим шагом, будет получение обечайки, путем раскроя выбранного проката с помощью механической резки или термической резки.

Для проведения этой операции необходимо соответствующие оборудование, поэтому выбираем установку для раскроя металла с числовым программным управлением «Старт 15–30» рисунок 9.



Рисунок 9 – Машина плазменной резки «Старт 15-30»

Данная модель станка плазменной резки с ЧПУ относится к современному оборудованию с числовым программным управлением. Станок «Старт 15-30» предназначен для выполнения автоматизированной резки металла плазменным факелом, который обеспечивает высокую точность реза, высокий коэффициент использования материала, а также высокую производительность. Благодаря небольшой массе станка при оптимальных размерах устанавливаемой заготовки, применению новейших электронных и компьютерных технологий при

относительно низких капиталовложениях в оборудование, станок плазменной резки с ЧПУ «Старт 15-30» находит самое широкое применение в различных производствах.

Данный станок применяется как для кроя металлических листов, так и для вырезания плоских металлических деталей сложной формы. Станок используется для плазменной резки черных, легированных и цветных металлов.

Станок комплектуется источниками плазмы *Hypertherm Powermax* зарекомендовавшие себя как надежные высокотехнологические установки для механизированной плазменной резки. *Hypertherm Powermax 1650* является наиболее универсальным плазменным аппаратом и способен легко резать металл толщиной до 50,0 мм.

Основные технические характеристики машины «Старт 15-30» указаны в таблице 8.

Таблица 8 – Основные технические характеристики машины плазменной резки «Старт 15-30»

Параметр	Значение
1	2
Напряжение питания Ф / В / Гц	3,0; 220,0; 50,0
Скорость резки, мм/мин	400,0... 4000,0
Точность резки, мм	±0,5
Диапазон толщин разрезаемого листа, мм	0,5...40,0
Давление режущего газа, МПа мин/макс	0,7 / 1,0
Расход сжатого воздуха, л/мин	480,0
Количество суппортов, шт	1
Максимальная масса станка, кг	600,0

Продолжение таблицы 8

1	2
Управление высотой резака над листом	Ручное и автоматическое
Габаритные размеры машины со стойкой управления (Д×Ш×В), мм	6800,0×2140,0×1500,0
Разделочный стол для листа (Ш×Д), мм	1500,0×3000,0

Также, данный станок будет использоваться, для того чтобы провести вырезку отверстий под штуцеры подвода холодной и отвода горячей воды, и вырезку отверстия под крепление нагревательного элемента.

Следующим этапом будет придание формы обечайки. Для этого следует использовать специальную листогибочную машину – вальцы. Листогибочные вальцы предназначены для гибки листового проката, изготовления из плоского листа заготовок кольцеобразной (конусообразной) и дугообразной формы заготовок. Станки применяются как в процессе подготовки производства, так и для получения уже готовых изделий, в том числе и конических обечаек.

На вальцах кроме простого режима прокатки предусмотрен режим подгиба краев листа. Край листа зажимается между двумя валками, после лист третьим валком оборачивается вокруг из удерживающих валков.

Четырехвалковые вальцы позволяют, при достаточной мощности, осуществлять вальцовку за один проход, включая подгибку обоих кромок. При этом не требуется предварительная подгибка обоих краев, а подгибка проходит в автоматическом режиме и не требует перезаправки листа. Лист формуется сразу без дополнительной подгонки краев готового изделия. Такие установки представляют собой станину с расположенными на ней рабочими органами – валками. Количество валков может варьироваться от 3 до 15, в зависимости от предназначения станка. В данной выпускной квалификационной работе, для выпол-

нения операции вальцовки принимаем четырёхвалковый станок *Ostas 4R OHS* рисунок 10.



Рисунок 10 – Четырёхвалковый вальцовочный станок *Ostas 4R OHS*

Основные технические характеристики указаны в таблице 9.

Таблица 9 – Технические характеристики четырёхвалкового вальцовочного станка *Ostas 4R OHS*

Параметр	Значение
Тип привода	Электрический
Толщина металла, мм	4,0
Рабочая длина, мм	2570,0
Минимальный диаметр заготовки, мм	250,0
Диаметр валов, мм	140,0
Потребляемая мощность, кВт	2,2
Габаритные размеры (Д×Ш×В), мм	4200,0×1100,0×1100,0
Вес станка, кг	3350,0

3.3 Выбор и обоснование способов сборки и сварки изделия

Следующим этапом после придания нужной формы и подготовки поверхности детали, необходимо передать детали на сборочную площадку, где они будут собраны в единую конструкцию.

Так как конструкция собирается при помощи сварки, применяем сварку плавящимся электродом в среде углекислого газа. Для использования этого метода, необходимо руководствоваться [20], в котором указаны основные типы соединений, конструктивные элементы и размеры сварных соединений. Схема сварки плавящимся электродом в среде углекислого газа показана на рисунке 11.

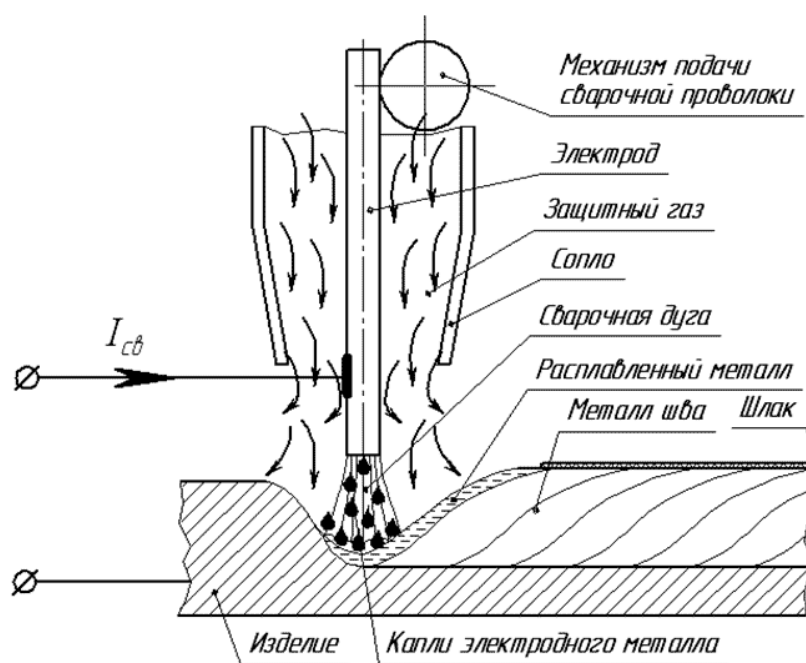


Рисунок 11 – Сварка в среде углекислого газа

Главным критерием выбора именно этого способа сварки является то, что он недорогой, а также имеет высокую производительность и качество. При всех достоинствах этого метода, есть также такие недостатки, это невозможность производить сварку при сильном ветре, так как защитный газ сносит с зоны сварки. Это негативно влияет на качество сварного соединения. Еще одним недостатком является то, что сварка в углекислом газе даёт сильное разбрызгива-

ние металла на токах от 200 до 400 А., а это требует дальнейшей механической обработки шва.

Для сборки изделия применяется специальное оборудование и оснастка. При этом сборка должна проходить в таком порядке, который будет самым оптимальным по всем показателям. Чтобы составить оптимальный порядок, необходимо учитывать несколько факторов. Во-первых, этот процесс должен быть безопасен, а также удобен. Во-вторых, должна быть высокая производительность процесса. В-третьих, иметь высокие показатели экономичности.

В исходных данных указано, что ёмкость относится к серийному производству. Это говорит о том, что данное изделие выпускается в большом количестве, поэтому для уменьшения времени на производство одной единицы, необходимо применять параллельный метод сборки. Суть этого метода заключается в том, что каждая операция выполняется на отдельном участке.

Для того чтобы изготовить ёмкость, необходимо провести следующие операции:

- а) Выполнить продольный шов обечайки.
- б) Приварить два штуцера нижнему днищу обечайки.
- в) Приварить место крепления нагревательного элемента к нижнему днищу.
- г) Приварить нижнее и верхнее днища к обечайке.
- д) Приварить опорные лапы к корпусу.

С целью повышения качества продукции, а также увеличения производительности, необходимо использовать специальные сварочные комплексы и стенды для сборки. Применение таких типов оборудования уменьшает стоимость производства емкости, а также минимизирует человеческий фактор, человек присутствует только для контроля процесса и установки и фиксации изделия на оборудовании.

Для максимальной производительности данного оборудования, необходимо правильно спланировать его размещение. Правильность размещения позволяет свести к нулю время простоя одной из детали на определенном участке

сборки, поэтому необходимо руководствоваться ГОСТ 26056-84 [25], в котором указаны ссылки на необходимые нормативные документы для организации автоматизированного процесса производства.

После того, как провели организацию процесса, переходим к самой сборке изделия.

Производим сборку в несколько этапов.

Этап первый. Проводим сварку продольного шва обечайки на первом участке. Параллельно с этим, проводим приварку к нижнему днищу, двух штуцеров и элемента крепления нагревательного элемента. Это необходимо для того, чтобы все детали поступили в одно время на следующую площадку.

Этап второй. После того, как обечайка и днища готовы к сборке они транспортируются на участок, где производится сварка между собой.

Этап третий. Когда корпус собран его отправляют на участок, где к нему привариваются элементы крепления.

Все три этапа сборки проводятся на специальных стендах. Чтобы произвести сварку продольного стыка обечайки потребуется стенд для автоматической сборки и сварки продольных стыков. Существует большое количество этих станков. Основное отличие друг от друга это максимальные размеры заготовки. В данной выпускной квалификационной работе, будем использовать стенд *AWL Force 2050 T*, изображенный на рисунке 12.

Улучшенная механическая конструкция в совокупности с высокими допусками обеспечивают повышенную точность. Сварная конструкция расположена на подкладном цилиндре и прижимается независимыми клавишными рычагами с помощью пневмоцилиндров. Улучшенный теплоотвод позволяет сваривать самые тонкие материалы с минимальными напряжениями после сварочных работ. Несомненным плюсом данного станка является то, что не требуется проводить дополнительные прихватки, что повышает производительность. Также, для уменьшения влияния человеческого фактора, данный станок комплектуется ЧПУ, что также влияет в лучшую сторону на качество изготавли-

ваемой обечайки. Данная установка может работать как в автоматическом так и в ручном режиме.



Рисунок 12 – Стенд для сварки продольных швов, а – сварочный автомат; б – автоматическая сварочная головка; в – колонна; г – прижимная центровочная планка

Основные технические характеристики приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Технические характеристики стенда *AWL Force 2050 T*

Параметр	Значение
Диапазон толщин свариваемого материала, мм	0,8...10,0
Диаметр изделия, мм	150,0...1000,0
Длина изделия, мм	50,0...2020,0
Диапазон скорости сварки, см / мин	10,0...300,0
Методы сварки	<i>MIG / TIG / PLAZMA</i>
Источник питания, В	380,0

Следующим шагом будет выбор оборудования для приварки штуцеров к нижнему днищу обечайки. Выбираем автоматическую установку для приварки патрубков *CW-5* компании *BUGO – S* рисунок 13.



Рисунок 13 – Установка *CW – 5*

Данное оборудование разработано для однопроводной или многопроводной приварки патрубков к трубам и резервуарам. Используется для *MIG* – сварки, а также возможно использование сварки порошковой проволокой. Установка имеет подающий механизм, привод вращения, устройство вертикального и горизонтального автоматического перемещения сварочной горелки, а также крестообразный суппорт, что позволяет проводить позиционирование в горизонтальном и вертикальном положении. Имеется держатель кассеты для проволоки на 14 кг. На пульте дистанционного управления имеется цифровой индикатор скорости вращения, регуляторы скорости подачи проволоки, продувки защитным газом до и после сварки. Основные технические характеристики указаны в таблице 11.

						Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дата		

Таблица 11 – Технические характеристики установки *CW – 5*

Параметр	Значение
Тип сварки	<i>MIG / MAG</i>
Внешний диаметр патрубка, мм	25,0...300,0
Максимальный вертикальный ход сварочной головки при сварке, мм	125,0
Диаметр сварочной проволоки, мм	0,8...1,6
Скорость сварки, мм / мин	7,5...3300,0
Сварочный ток, А	300,0

Перед тем как приступить к сборке обечайки с днищами, необходимо провести калибровку обечайки. Это необходимо для того чтобы устранить отклонения от заданной формы, которые образовались в результате сварки продольного шва обечайки. Для этого будем использовать, описанный в пункте 3.2 вальцовочный станок *Ostas 4R OHS*. Данный станок позволяет проводить данную операцию. Для того чтобы провести калибровку, необходимо освободить верхний валец. Это делается при помощи пульта управления, происходит откидывание посадочного места вальца. Это необходимо для того чтобы поместить валец во внутренне пространство обечайки. После этой операции, посадочное место возвращается на место. Далее происходит центрирование и последующая калибровка. Демонтаж обечайки проводится в той же последовательности что и ее установка. После калибровки, обечайка отправляется на другой этап.

После того, как была произведена сварки обечайки и днища со штуцерами, необходимо собрать эти элементы в единую конструкцию. Для этого используем специальный комплекс, предназначенный для сворки и сварки резервуаров. Данная установка показана на рисунке 14.

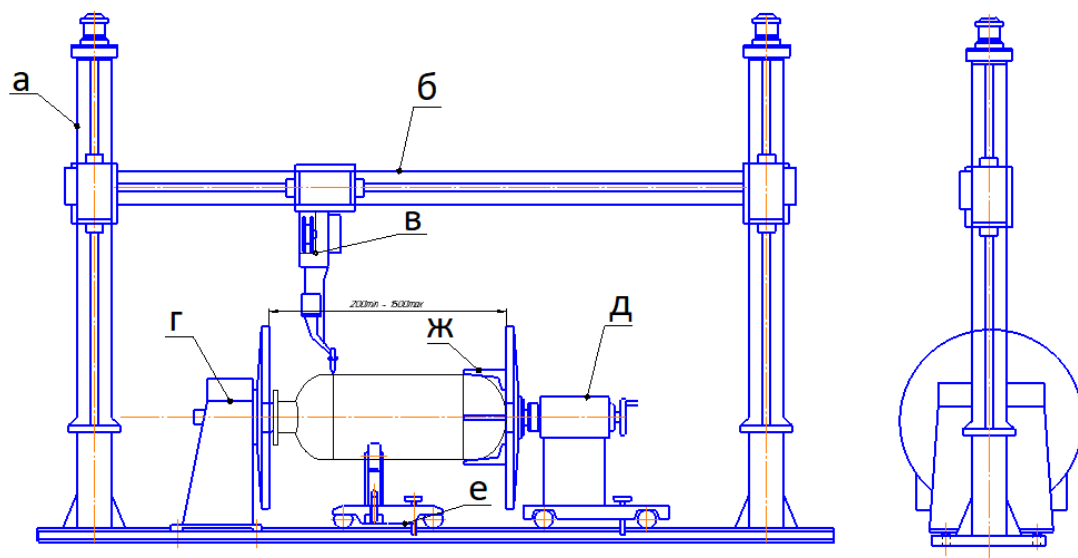


Рисунок 14 – Сварочный комплекс для сборки сосудов и тел вращения: а – двух колонн, для перемещения балки в вертикальной плоскости; б – балка, по которой происходит перемещение сварочной головки; в – автоматическая сварочная головка; г – неподвижный позиционер; д – позиционер, закрепленный на подвижной платформе; е – подвижный роликовый стенд; ж – пневматическое зажимное устройство

Комплексы данного типа оснащаются блоками управления ЧПУ что приводит к высокому уровню производства. Такой тип оборудования является универсальным, что позволяет сваривать на нем изделия разных диаметров. Также, есть возможность сварки продольных швов, однако требуются специальные зажимные устройства. Несомненным плюсом является то, что есть возможность смены типа сварки, путем замены сварочного оборудования. Это позволяет производить сварку разных металлов.

Сборка проходит следующим образом, перед тем как установить детали на стенд, необходимо приварить на прихватки элементы крепления ёмкости, чтобы в дальнейшем выполнить сплошной провар на стенде. Далее на роликовый стенд устанавливается обечайка, при помощи зажимных устройств закрепляются днища на позиционерах, обеспечивается соосность деталей. Далее происходит поджатие деталей друг к другу, после чего сварочная головка опускается к месту стыка и выполняет несколько прихваток на всей длине сварочного

шва. Это необходимо для того, чтобы избежать сварочных деформаций, когда будет совершен сплошной провар шва. После сварки кольцевых швов, следует сварка элементов крепления сплошным проваром.

После того как была произведена сборка и сварка всей ёмкости, её отправляют на контроль качества. После операции контроля, ёмкость подвергается эмалированию. Это необходимо для того чтобы увеличить срок службы изделия за счет образования стекловидного покрытия. Данную операцию проводят в 2 этапа, методом окунания ёмкости в специальный шликер с последующей сушкой и обжигом. На первом этапе металлическую поверхность подвергают грунтовке, а на втором этапе сам процесс эмалирования. Перед тем как проводить этот процесс, необходимо обезжирить всю поверхность конструкции, провести крацовку, а также заклеить специальным скотчем места, где находятся резьбовые соединения (штуцеры). В этом виде ёмкость поставляется на место эмалирования. Там проводят закрепление на оборудовании, после чего проводится окунание ёмкости в специальный состав. После того как было произведено окунание, необходимо провести сушку в течении от 30 до 40 минут и потом отправить изделие на обжиг, для придания покрытию необходимых физико – механических свойств. После проведения всех необходимых операций, ёмкость отправляется на контроль качества полученного покрытия.

3.4 Выбор сварочных материалов

Все сварочные материалы должны соответствовать техническим условиям или стандартам. В ГОСТ 53689-2009 [26] указаны все технические условия поставки сварочного материала, а также размеры, маркировки и допуски. При использовании механизированного способа сварки, в качестве сварочных материалов являются сварочная проволока и защитный газ. При выборе сварочных материалов должны учитываться состав и структура выбранного материала

Перед использованием сварочные материалы должны пройти проверку на соответствие их государственным и отраслевым стандартам.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дата		

Чтобы избежать брака, сварочная проволока должна храниться в условиях, исключающих ее загрязнение и окисление. Если условия хранения были не выполнены, то перед тем, как её применять, необходимо провести очистку от окислов и другого вида загрязнения.

Выбирать марку сварочной проволоки необходимо в зависимости от марки свариваемого материала, чтобы обеспечить свойства металла шва на уровне свойств свариваемой стали.

Чтобы правильно выбрать марку электродной проволоки, необходимо обратиться к ГОСТ 2246-70 [27], в котором указаны все виды сварочной проволоки.

Зная, что СтЗсп относится к углеродистым сталям, необходимо использовать сварочную проволоку для сварки углеродистых сталей. Для этого целесообразно применять такие проволоки как Св-12ГС, Св-08ГС, Св-10ГН, Св-08Г2С.

Для выполнения сварочных работ в данной выпускной квалификационной работе применяем проволоку Св-08Г2С, диаметром 1,2 мм, которая обеспечивает равную прочность сварного шва и основного металла, а также высокую пластичность. Химический состав проволоки Св-08Г2С указан в таблице 12.

Таблица 12 – Химический состав проволоки Св-08Г2С

Параметр	C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P
Значение, %	0,05...0,11	0,70...0,95	1,80...2,10	не более 0,20	не более 0,25	не более 0,02	не более 0,03

Так как сварочная проволока не имеет защитной среды при сварке, необходимо применять защитный газ. В качестве этого газа применяется углекислый газ (CO₂). Данный тип защиты должен изготавливаться в соответствии с ГОСТ 8050-85 [28]. Углекислый газ не имеет запаха, он тяжелее воздуха, поэтому скапливается в нижней части помещения, ямах. При работе с этим газом,

необходимо иметь устройства вытяжки или хорошо проветриваемое помещение. При больших концентрациях углекислого газа, следует использовать средства защиты дыхательных путей.

Объемная доля двуокиси углерода высшего сорта (CO_2), %, должна составлять не менее 99,8 %, объемная доля двуокиси углерода первого сорта (CO_2), %, не менее 99,5%. Массовая доля воды двуокиси углерода высшего и первого сорта отсутствует.

3.5 Расчёт параметров режимов сварки

Основные типы, конструктивные элементы и размеры сварных соединений для сварки плавящимся электродом в среде углекислого газа регламентируются [20].

Полученные в результате этого расчета параметры, будут применены как для сварки продольного шва обечайки, так и для сварки обечайки с днищами. Это обосновывается тем, что у этих деталей одинаковая толщина $S = 4$ мм, а также одинаковое положение при сварке – нижнее.

Рассчитаем необходимые параметры режима сварки продольного стыка обечайки рисунок 15.

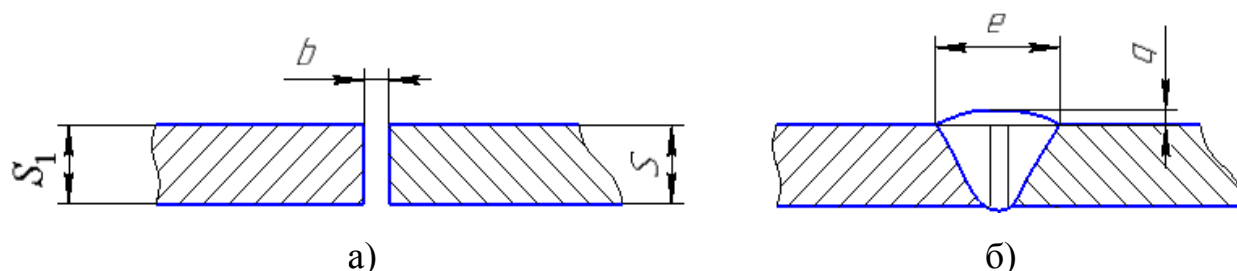


Рисунок 15 – Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей сварного соединения типа C2: а) – эскиз соединения; б) – эскиз шва

Сварной шов типа C2 УП имеет следующие конструктивные параметры: $S = 4,0$ мм; $S_1 = 4,0$ мм; $b = 0 \pm 1,0$ мм; $e = 10,0 \pm 2,0$ мм; $q = 1,0 \pm 1,0$ мм.

Величина сварочного тока определяется в зависимости от диаметра электродной проволоки согласно рекомендациям таблицы 13.

Таблица 13 – Допускаемая величина сварочного тока.

Параметр	Значение				
$d_{эл}$, мм	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0
$I_{св}$, А	50,0...130,0	70,0...90,0	100,0...200,0	150,0...400,0	200,0...500,0
Расстояние от изделия	5,0...15,0	6,0...18,0	8,0...18,0	15,0...25,0	15,0...25,0

Выбираем сварочную проволоку диаметром 1,2 мм. При расчётах принимаем величину сварочного тока $I_{св} = 180,0$ А.

Определим скорость сварки $V_{св}$. Для проволоки $d_{эл} = 1,2$ мм скорость сварки $V_{св}$ определяется по формуле [29]:

$$V_{св} = \frac{(2,0...5,0) \cdot 10^3}{I_{св}}, \quad (38)$$

где $V_{св}$ – скорость сварки, м/ч.

Подставляем принятые значения в формулу 38.

$$V_{св} = \frac{(2,0...5,0) \cdot 10^3}{180,0} = 11,1...27,8 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{св} = 20,0$ м/ч = 0,56 см/с.

Напряжение дуги U_d рассчитывается по формуле [29]:

$$U_d = 20,0 + \frac{50,0 \cdot 10^{-3}}{d_{эл}^{0,5}} \cdot I_{св} \pm 1,0, \quad (39)$$

где U_d – напряжение дуги, В.

Подставляем принятые значения в формулу 39.

$$U_{\text{д}} = 20,0 + \frac{50,0 \cdot 10^{-3}}{1,2^{0,5}} \cdot 180,0 = 27,5 \pm 1\text{В}$$

Напряжение рекомендуется брать ближе к нижнему пределу диапазона значений. Следовательно, принимаем напряжение дуги $U_{\text{д}} = 28,0 \text{ В}$.

Определяем скорость подачи проволоки $V_{\text{пп}}$ по формуле [29]:

$$V_{\text{пп}} = \frac{4,0 \cdot \alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{св}}}{\pi \cdot d^2 \cdot \gamma}, \quad (40)$$

где $V_{\text{пп}}$ – скорость подачи проволоки, м/ч.

γ – плотность стали, равная $\gamma = 7,8 \text{ г/мм}^3$;

$\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент наплавки, г/А·ч,

Определяем коэффициент наплавки по формуле [29]:

$$\alpha_{\text{н}} = \alpha_{\text{р}} \left(1,0 - \frac{\psi}{100,0} \right), \quad (41)$$

где ψ – потери электродного металла, %;

$\alpha_{\text{р}}$ – коэффициент расплавления электродной проволоки, г/А·ч.

Принимаем $\psi = 10\%$.

Определяем коэффициент расплавления по формуле [29]:

$$\alpha_{\text{р}} = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{I_{\text{св}}}{d_{\text{эл}}} \right) \cdot 10^{-4} \text{ г/А} \cdot \text{ч}, \quad (42)$$

Подставляем значения в формулу 42.

$$\alpha_{\text{р}} = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{180,0}{1,2} \right) \cdot 10^{-4} = 41,3 \cdot 10^{-4} \text{ г/А} \cdot \text{ч} = 14,86 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$$

Находим коэффициент наплавки электродной проволоки $\alpha_{\text{н}}$ по формуле 41.

$$\alpha_{\text{н}} = 14,86 \cdot \left(1,0 - \frac{10,0}{100,0} \right) = 13,37 \text{ мм}^2$$

Таким образом, скорость подачи электродной проволоки определяем по формуле 40.

$$V_{\text{пп}} = \frac{4,0 \cdot 13,37 \cdot 180,0}{3,14 \cdot 1,2^2 \cdot 7,8} = 272,86 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{\text{пп}} = 273,0 \text{ м/ч}$.

Определим площадь поперечного сечения наплавленного металла при установленной скорости перемещения дуги по формуле [29]:

$$F_{\text{нм}} = \frac{\alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{св}}}{3600,0 \cdot \gamma \cdot V_{\text{св}}}, \quad (43)$$

где $F_{\text{нм}}$ – площадь наплавленного металла, мм^2 .

Подставляем ранее полученные значения в формулу 43.

$$F_{\text{нм}} = \frac{13,37 \cdot 180,0}{3600,0 \cdot 7,8 \cdot 0,56} = 0,153 \text{ см}^2 = 15,3 \text{ мм}^2$$

Определяем коэффициент формы провара $\psi_{\text{пр}}$ по формуле [29]:

$$\psi_{\text{пр}} = K' \cdot (19,0 - 0,01 \cdot I_{\text{св}}) \cdot \frac{d_{\text{эл}} \cdot U_{\text{д}}}{I_{\text{св}}}, \quad (44)$$

где $\psi_{\text{пр}}$ – коэффициент провара.

K' – коэффициент, зависящий от рода тока.

Принимаем $K' = 0,92$.

Подставляем принятые значения в формулу 44.

$$\psi_{\text{пр}} = 0,92 \cdot (19,0 - 0,01 \cdot 180) \cdot \frac{1,2 \cdot 28,0}{180,0} = 3,0$$

При $\psi_{\text{пр}} < 0,8$ швы будут получаться узкими, склонными к образованию горячих трещин. При $\psi_{\text{пр}} > 4,0$ швы будут получаться слишком широкие, недостаточная глубина провара, тепло дуги используется не рационально, увеличиваются сварочные деформации. Необходимо стремиться к оптимальным значениям формы провара $\psi_{\text{пр}} = 1,3 - 4,0$.

Определим величину погонной энергии $q_{\text{п}}$ по формуле [29]:

$$q_{\text{п}} = \frac{I_{\text{св}} \cdot U_{\text{д}} \cdot \eta}{V_{\text{св}}}, \quad (45)$$

где $q_{\text{п}}$ – погонная энергия, Дж/см;

η – эффективный КПД дуги сварки находящийся в диапазоне от 0,8 до 0,95.

Принимаем $\eta = 0,85$.

Подставляем значения в формулу 45.

$$q_{\Pi} = \frac{180,0 \cdot 28,0 \cdot 0,85}{0,56} = 7650,0 \text{ Дж/см}$$

Определим фактическую глубину провара h по формуле [29]:

$$h = 8,06 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{q_{\Pi}}{\psi_{\text{пр}}}}, \quad (46)$$

где h – фактическая глубина проплавления, мм.

Подставляем полученные значения в формулу 46.

$$h = 8,06 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{7650,0}{3,0}} = 0,401 \text{ см} = 4,0 \text{ мм}$$

Определяем ширину шва b по формуле [29]:

$$b = \psi_{\text{пр}} \cdot \square, \quad (47)$$

где b – ширина шва, мм.

Подставляем числовые значения в формулу 47.

$$b = 3,0 \cdot 4,0 = 12,0 \text{ мм}$$

Принимаем $b = 12,0$ мм.

Обладая всеми необходимыми данными, определим высоту валика c по формуле [29]:

$$c = \frac{F_{\text{НМ}}}{0,73 \cdot b}, \quad (48)$$

где c – высота валика, мм.

$$c = \frac{15,3}{0,73 \cdot 12,0} = 1,74 \text{ мм}$$

Принимаем $c = 2,0$ мм.

Определим высоту шва H по формуле [29]:

$$H = h + c, \quad (49)$$

где H – высота шва, мм.

$$H = 4,0 + 2,0 = 6,0 \text{ мм}$$

						Лист
						51
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дата		

Определим расстояние от сварочной горелки до изделия по формуле [29]:

$$l_{эл} = (8,0 \dots 10,0) \cdot d_{эл}; \quad (50)$$

где $l_{эд}$ – расстояние от сварочной горелки до изделия, мм.

$$l_{эл} = (8,0 \dots 10,0) \cdot 1,2 = 9,6 \dots 12,0 \text{ мм}$$

После расчета режима, запишем все полученные значения в таблицу 14.

Таблица 14 – Параметры режима сварки шва С2

Параметр	$d_{эл}$, мм	$V_{св}$, см/с	U_{δ} , В	$V_{пп}$, м/ч	$F_{нм}$, мм ²	$l_{эд}$, мм	$J_{св}$, А
Значение	1,2	0,56	28,0	273,0	15,3	9,6...12,0	180,0

Рассчитаем необходимые параметры режимов сварки для соединения штуцеров с днищами. Данные параметры применяются для приварки всех имеющихся штуцеров к днищу. Для их соединения был принят тип сварного соединения У7 по [21] рисунок 16.

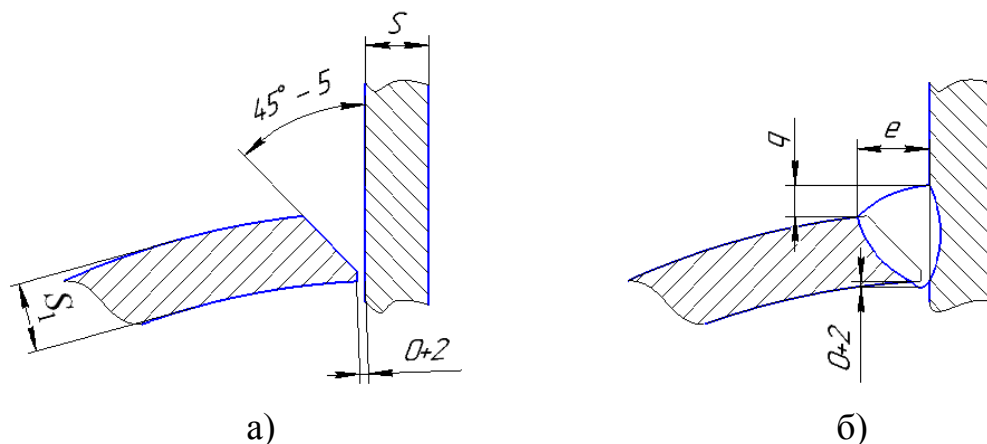


Рисунок 16 – Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и сварного соединения У7: а) – эскиз соединения; б) – эскиз шва

Сварной шов типа У7 УП имеет следующие конструктивные параметры: $S = 4,0$ мм; $S_1 = 4,0$ мм; $b = 0 \pm 2,0$ мм; $c = 0,5 \pm 0,5$ мм; $e = 12,0 \pm 1,0$ мм.

Величина сварочного тока определяется в зависимости от диаметра электродной проволоки согласно рекомендациям таблицы 13.

Выбираем сварочную проволоку диаметром 1,2 мм. При расчётах принимаем величину сварочного тока $I_{\text{св}} = 160,0$ А.

Определим скорость сварки $V_{\text{св}}$. Для проволоки $d_{\text{эл}} = 1,2$ мм скорость сварки $V_{\text{св}}$ определяется по формуле 38.

$$V_{\text{св}} = \frac{(2,0 \dots 5,0) \cdot 10^3}{160,0} = 12,5 \dots 31,2 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{\text{св}} = 18,0 \text{ м/ч} = 0,50 \text{ см/с}$.

Напряжение дуги $U_{\text{д}}$ рассчитывается по формуле 39.

$$U_{\text{д}} = 20,0 + \frac{50,0 \cdot 10^{-3}}{1,2^{0,5}} \cdot 160,0 = 27,2 \pm 1 \text{ В}$$

Напряжение рекомендуется принимать ближе к нижнему пределу диапазона значений.

Принимаем напряжение дуги $U_{\text{д}} = 26,0$ В.

Коэффициент расплавления электродной проволоки $\alpha_{\text{р}}$, определяется по формуле 42.

$$\alpha_{\text{р}} = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{160,0}{1,2} \right) \cdot 10^{-4} = 37,63 \cdot 10^{-4} \text{ г/А} \cdot \text{ч} = 13,5 \text{ г/А} \cdot \text{с}$$

Тогда коэффициент наплавки электродной проволоки $\alpha_{\text{н}}$ будет определяться по формуле 41.

$$\alpha_{\text{н}} = 13,5 \cdot \left(1,0 - \frac{10,0}{100,0} \right) = 12,15 \text{ мм}^2$$

Таким образом, скорость подачи электродной проволоки вычисляем по формуле 40.

$$V_{\text{пп}} = \frac{4,0 \cdot 12,15 \cdot 160,0}{3,14 \cdot 1,2^2 \cdot 7,8} = 220,47 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{\text{пп}} = 221,0 \text{ м/ч}$.

Определим площадь поперечного сечения наплавленного металла при установленной скорости перемещения дуги по формуле 51.

$$F_{\text{НМ}} = (s - c) \cdot b + \frac{(s - c)^2}{2} \cdot \text{tg} \alpha + 0,5 \cdot [(s - c) \cdot \text{tg} \alpha + b] \cdot k, \quad (51)$$

где $k = 1,0$ мм.

$$F_{\text{НМ}} = (4,0 - 1,0) \cdot 2,0 + \frac{(4,0 - 1,0)^2}{2,0} \cdot \text{tg}45 + \\ + 0,5 \cdot [(4,0 - 1,0) \cdot \text{tg}45 + 2,0] \cdot 1,0 = 20,5 \text{ мм}^2$$

Определяем коэффициент формы провара $\psi_{\text{пр}}$ по формуле 44.

$$\psi_{\text{пр}} = 0,92 \cdot (19,0 - 0,01 \cdot 160,0) \cdot \frac{1,2 \cdot 28,0}{160,0} = 3,12$$

Определим величину погонной энергии $q_{\text{п}}$ по формуле 45.

$$q_{\text{п}} = \frac{160,0 \cdot 26,0 \cdot 0,95}{0,50} = 7904,0 \text{ Дж/см}$$

Определим фактическую глубину провара h по формуле 46.

$$h = 8,06 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{7904,0}{3,12}} = 0,405 \text{ см} = 4,0 \text{ мм}$$

Определяем ширину шва e по формуле [29]

$$e = \psi_{\text{пр}} \cdot \square \quad (52)$$

где e – ширина шва, мм.

$$e = 3,12 \cdot 4,0 = 12,48 \text{ мм}$$

Принимаем $b = 12,0$ мм.

Обладая всеми необходимыми данными, определим высоту валика c по формуле 48.

$$c = \frac{20,5}{0,73 \cdot 12,0} = 2,34 \text{ мм}$$

Принимаем $c = 3,0$ мм.

Определим высоту шва H по формуле 49.

$$H = 4,0 + 3,0 = 7,0 \text{ мм}$$

Определим расстояние от сварочной горелки до изделия по формуле 50.

$$l_{\text{эл}} = (8,0 \dots 10,0) \cdot 1,2 = 9,6 \dots 12,0 \text{ мм}$$

После расчета режима, запишем все полученные значения в таблицу 15

						Лист
						57
Изм.	Лист	№ док-м.	Под-	Дата		

Таблица 15 – Параметры режима сварки соединения У7

Параметр	$d_{эл}$, мм	$V_{св}$, см/с	U_{∂} , В	V_{nn} , м/ч	F_{HM} , мм ²	$l_{\partial\partial}$, мм	I_{CB} , А
Значение	1,2	0,50	26,0	221,0	20,5	9,6...12, 0	160,0

Рассчитаем необходимые параметры режимов сварки для соединения креплений с обечайкой. Для их соединения был принят тип сварного соединения Т6 по [20] рисунок 17.

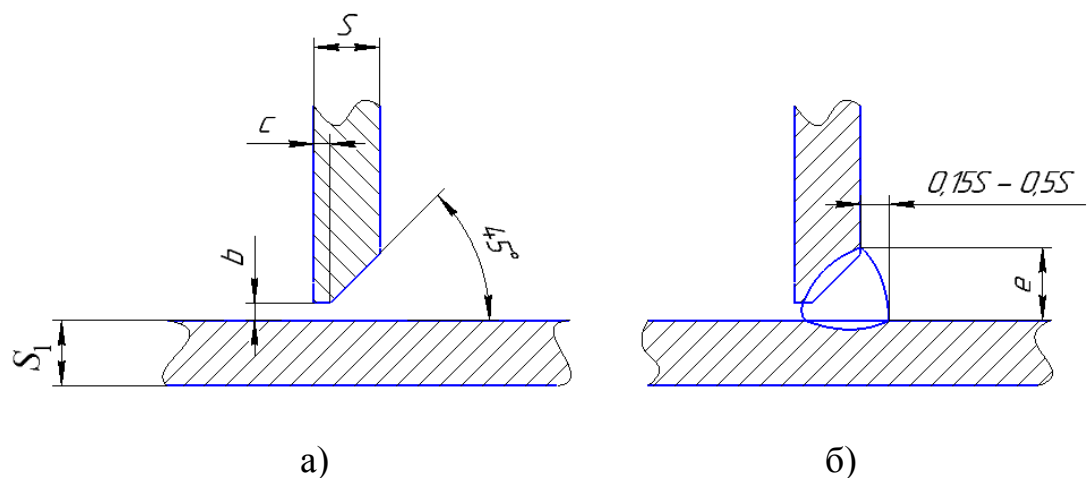


Рисунок 17 – Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения типа Т6: а) – эскиз соединения; б) – эскиз шва

Сварной шов типа Т6 УП имеет следующие конструктивные параметры: $S = 4,0$ мм; $S_1 = 4,0$ мм; $b = 0 \pm 1,0$ мм; $c = 1,0 \pm 1,0$ мм; $e = 6,0 \pm 2,0$ мм.

Величина сварочного тока определяется в зависимости от диаметра электродной проволоки согласно рекомендациям таблицы 13.

Выбираем сварочную проволоку диаметром 1,2 мм. При расчётах принимаем величину сварочного тока $I_{CB} = 160,0$ А.

Определим скорость сварки $V_{св}$. Для проволоки $d_{эл} = 1,2$ мм скорость сварки $V_{св}$ определяется по формуле 38.

$$V_{\text{св}} = \frac{(2,0 \dots 5,0) \cdot 10^3}{160,0} = 12,5 \dots 31,2 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{\text{св}} = 18,0 \text{ м/ч} = 0,50 \text{ см/с}$.

Напряжение дуги $U_{\text{д}}$ рассчитывается по формуле 39.

$$U_{\text{д}} = 20,0 + \frac{50,0 \cdot 10^{-3}}{1,2^{0,5}} \cdot 160,0 = 27,2 \pm 1 \text{ В}$$

Напряжение рекомендуется принимать ближе к нижнему пределу диапазона значений. Принимаем напряжение дуги $U_{\text{д}} = 26,0 \text{ В}$.

Коэффициент расплавления электродной проволоки $\alpha_{\text{р}}$, определяется по формуле 42.

$$\alpha_{\text{р}} = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{160,0}{1,2} \right) \cdot 10^{-4} = 37,63 \cdot 10^{-4} \text{ г/А} \cdot \text{ч} = 13,5 \text{ г/А} \cdot \text{с}$$

Тогда коэффициент наплавки электродной проволоки $\alpha_{\text{н}}$ будет определяться по формуле 41.

$$\alpha_{\text{н}} = 13,5 \cdot \left(1,0 - \frac{10,0}{100,0} \right) = 12,15 \text{ мм}^2$$

Таким образом, скорость подачи электродной проволоки $V_{\text{пп}}$ определяем по формуле 40.

$$V_{\text{пп}} = \frac{4,0 \cdot 12,15 \cdot 160,0}{3,14 \cdot 1,2^2 \cdot 7,8} = 220,47 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{\text{пп}} = 221,0 \text{ м/ч}$.

Определим площадь поперечного сечения наплавленного металла при установленной скорости перемещения дуги по формуле 51.

$$F_{\text{нм}} = (4,0 - 2,0) \cdot 1,0 + \frac{(4,0 - 2,0)^2}{2,0} \cdot \text{tg}45 + \\ + 0,5 \cdot [(4,0 - 2,0) \cdot \text{tg}45 + 1,0] \cdot 2,0 = 10,0 \text{ мм}^2$$

Определяем коэффициент формы провара $\psi_{\text{пр}}$ по формуле 44.

$$\psi_{\text{пр}} = 0,92 \cdot (19,0 - 0,01 \cdot 160,0) \cdot \frac{1,2 \cdot 28,0}{160,0} = 3,12$$

Определим величину погонной энергии q_{Π} по формуле 45.

$$q_{\Pi} = \frac{160,0 \cdot 26,0 \cdot 0,9}{0,50} = 7896,0 \text{ Дж/см}$$

Определим фактическую глубину провара h по формуле 46.

$$h = 8,06 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{7896,0}{3,12}} = 0,401 \text{ см} = 4,0 \text{ мм}$$

Определяем ширину шва e по формуле 52.

$$e = 3,12 \cdot 4,0 = 12,48 \text{ мм}$$

Принимаем $b = 12,0 \text{ мм}$.

Обладая всеми необходимыми данными, определим высоту валика c по формуле 48.

$$c = \frac{20,5}{0,73 \cdot 12,0} = 2,34 \text{ мм}$$

Принимаем $c = 3,0 \text{ мм}$.

Определим высоту шва H по формуле 49.

$$H = 4,0 + 3,0 = 7,0 \text{ мм}$$

Определим расстояние от сварочной горелки до изделия по формуле 50

$$l_{эл} = (8,0 \dots 10,0) \cdot 1,2 = 9,6 \dots 12,0 \text{ мм}$$

После расчета режима, запишем все полученные значения в таблицу 16.

Таблица 16 – Параметры режима сварки шва Т6

Параметр	$d_{эл}$, мм	$V_{св}$, см/с	U_{ϕ} , В	$V_{шт}$, м/ч	$F_{нм}$, мм ²	$l_{э\phi}$, мм	$I_{св}$, А
Значение	1,2	0,50	26,0	221,0	10,0	9,6...12, 0	160,0

3.6 Выбор сварочного оборудования

Для сборки и сварки ёмкости водонагревателя, мы использовали специальное оборудование и стенды, которые представляют собой набор вспомогательных компонентов. Одним из этих компонентов является сварочное оборудо-

дование.

Для того чтобы произвести сварку продольного стыка обечайки на стенде, необходимо выбрать наиболее подходящий сварочный полуавтомат с возможностью взаимодействия с ЧПУ. Это позволит повысить точность и качество сварного соединения. Для данной установки принимаем сварочный полуавтомат *CEBORA EVO 350 TC SYN*, изображенный на рисунке 18.



Рисунок 18 – Сварочный полуавтомат *CEBORA EVO 350 TC SYN*

Данный аппарат предназначен для сварки плавящейся электродной проволокой в среде защитных газов. Позволяет сваривать детали из обычной и нержавеющей стали, а также меди, латуни, алюминия. Технические характеристики данного сварочного автомата приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Технические характеристики *CEBORA EVO 350 TC SYN*

Параметр	Значение
1	1
Диапазон регулировки выходного тока, А	35,0...400,0

Продолжение таблицы 17

1	2
ПН, %	60,0
Диаметр сварочной проволоки, мм	0,6...1,4
Напряжение питания, В	380,0
Габариты, мм	54,0×92,0×80,0
Вес, кг	95,0

Применение числового программного управления позволяет очень точно контролировать и выполнять следующие задачи:

- а) полностью автоматический режим;
- б) ручной режим сварки подходит для штучного производства;
- в) непрерывная сварка;
- г) интервальный режим;
- д) режим точечной сварки;
- е) точечный с интервалами;
- ж) режим со смещением начала сварки;
- з) установка предварительной подачи поддувочного газа;
- и) установка места старта сварки;
- к) установка задержки движения горелки для разогрева основного металла;
- л) установка длины сварки;
- м) программирование сварочного источника:

Для работы станда сборки и сварки обечайки с днищами также необходим сварочный полуавтомат. Так как этот станд может сваривать изделия в несколько раз больше, чем ёмкость, проектируемая в данной работе, то целесообразно применять более мощные сварочные полуавтоматы. Для данного станда, принимаем аппарат *CEA ECHO 6000 CV* рисунок 19.



Рисунок 19 – Сварочный полуавтомат *CEA ECHO 6000 CV*

Данный сварочный полуавтомат предназначен для промышленного применения, производственных работ различного уровня сложности. Серия аппаратов *ECHO*, благодаря модульному принципу построения, обеспечивает широкие возможности применения аппарата в любой области, позволяет сваривать нержавеющую, оцинкованную и низколегированную сталь. Источник питания 6000 CV используется с широким ассортиментом механизмов подачи проволоки и соединительными кабелями различной длины, а также имеет возможность дистанционного управления всеми сварочными параметрами напрямую с подающего устройства. Это позволяет намного увеличить производительность, а также качество продукции. При этом уменьшается влияние человеческого фактора, следовательно, количество дефектов при производстве данной ёмкости. Также, данный аппарат имеет ряд преимуществ:

- а) электронная регулировка напряжения;
- б) возможность регулировки напряжения напрямую с механизмов подачи проволоки;
- в) возможность работы с любым видом защитного газа;
- г) автоматический горячий старт для улучшения зажигания дуги;

д) установка двух значений индуктивности, для улучшения образования сварочной ванны.

Технические характеристики данного аппарата указаны в таблице 18.

Таблица 18 – Технические характеристики автомата *CEA ECHO 6000 CV*

Параметр	Значение
Тип сварки	<i>MIG / MAG</i>
Ток, А	40,0...600,0
ПН, %	90,0
Диаметр сварочной проволоки, мм	0,8...2,0
Напряжение питания, В	220,0 / 380,0
Габариты, мм	106,0×60,0×78,0
Вес, кг	146,0

Данный аппарат может комплектоваться несколькими видами подающих механизмов:

- а) подающие механизмы *WF – DF – DTR*;
- б) подающий механизм *MINI 4*;
- в) механизм подачи проволоки *SWF*.

В данной выпускной квалификационной работе, применяем падающий механизм типа *DF – 5*, изображенный на рисунке 20.

Для выполнения прихваток элементов крепления ёмкости, используем ручной режим сварочного автомата *CEBORA EVO 350 TC SYN*, технические характеристики которого указаны в таблице 17. Данный аппарат позволяет проводить сварку как в ручном, так и в автоматическом режиме.



Рисунок 20 – Подающий механизм *DF – 5*: а – регулировка плавного старта; б – подача газа / заправка проволоки; в – регулировка сварочного тока; г – регулировка напряжения; д – цифровой амперметр / вольтметр; е – регулировка *Burn Back*; ж – переключение между режимами работы; з – евроразъём для сварочной горелки

4 Контроль качества сварных соединений

Задачей контроля является установление таких показателей, определяющих качество, как прочность, всестороннее соответствие материала нормативам, заданным размерам, обработке, а также самое главное – отсутствию дефектов.

Качество сварных конструкций в большой степени зависит от правильности выполнения процесса сварочных работ.

Высокое качество сварных конструкций может быть обеспечено только при условии строгого соблюдения пооперационного контроля, при этом контрольные операции разделяются на три этапа:

- а) предварительный контроль перед сваркой, включающий проверку исходных материалов, применяемых для изготовления изделия, проверку сварочного оборудования, оснастки, инструментов, квалификации сварщиков и другие;
- б) контроль в процессе производства с целью проверки правильности заготовки, сборки, соблюдения технологических режимов, размеров и качества сварных швов;
- в) контроль готовой продукции.

4.1 Визуально измерительный контроль

После того как были закончены операции сборки и сварки, изделие отправляется на контроль качества. Самым первым этапом контроля является визуально измерительный контроль. Он выполняется невооруженным глазом человека или с помощью увеличительной лупы, с кратностью в 20 раз. Этот контроль проводится для всех видов конструкции, относится к группе неразрушающих методов контроля. Данный способ позволяет обнаружить дефекты, находящиеся на поверхности сварного соединения, различные несплошности, отклонения размеров и формы от заданных значений, а также поверхностное

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дата		66

окисление сварного соединения. Для данной ёмкости в соответствии [6], визуально измерительный контроль выполняется 100% от длины шва.

4.2 Гидравлические испытания

Гидравлическому испытанию изделие подвергается после его изготовления и после того как был проведён визуально измерительный контроль согласно [6, 7].

Данный вид контроля позволяет проверить ёмкость на герметичность.

Для проведения гидроиспытания, принимаем *ISM* – тестор фирмы *S.E.R.V.* Данная установка позволяет проводить гидроиспытания ёмкостей различного диаметра и длины.

Порядок проведения гидроиспытания:

- наполнить проверочную ванну водой до необходимого уровня;
- включить силовой шкаф;
- включить установку;
- включить систему проверки на герметичность;
- провести настройку для требуемого диаметра, расположения штуцеров;
- установить ёмкость в приспособление и закрепить;
- поднять проверочную ванну и запустить вращение приспособления.

После этого в ёмкости создается необходимое давление. Далее она погружается в ванну. Проводится просмотр сварных швов – 100% в течение одной или более минут.

При обнаружении дефекта или течи, обозначить место мелом, после чего отправить изделие на ремонт.

Проверка проводится в присутствии работника ОТК, контроль проводить согласно РД 24.200.11-90 [30].

4.3 Механические испытания

Контроль качества сварного соединения в целом и его отдельных участков, а также наплавленного металла методами механических испытаний осуществляется в соответствии с действующей нормативно-технической документацией и «Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением», утвержденными Госгортехнадзором СССР.

Контроль качества сварного соединения, а также наплавленного металла методами механических испытаний или измерением твердости осуществляется в объеме, указанном в нормативно-технической документации на контролируемое изделие.

Механические испытания проводятся с целью определения качества изделия и сварочных материалов, показателей свариваемости металлов и сплавов, пригодности способов и режимов сварки при установлении квалификации сварщиков. Конкретная цель испытаний указывается в технических условиях на контролируемое изделие.

Механические испытания применяем для сварного соединения С2. Контрольные образцы изготавливаются в соответствии с ГОСТ 6996-66 [31].

4.4 Ультразвуковой контроль

Для обнаружения скрытых внутренних дефектов сварных швов применяем 30 % УЗК в соответствии с ГОСТ 14782-86 [32]. Метод основан на способности ультразвуковых волн проникать в металл на большую глубину и отражаться от находящихся в нем дефектных участков. При УЗК импульсным методом определяются размеры и характер дефектов. Метод достаточно информативен и безопасен. Ультразвуковой контроль в 4 – 5 раз экономичнее и производительней радиографии.

Приборы данного типа позволяют вычислять реальные координаты дефекта: глубину залегания, расстояния вдоль поверхности ввода и по ходу луча,

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дата		62

запоминание минимальной толщины, индикация количества отражений при контроле многократно отраженным лучом. Проводить измерение расстояния по переднему фронту или максимуму эхосигнала. В качестве дополнительных функций прибор оснащается программами построения АРД - кривых, ВРЧ, В-скан, которые позволяют документировать результаты посредством интерфейсной программы.

Основные методы технологического процесса ультразвукового контроля соединений следующие:

- а) подготовка к контролю;
- б) поиск дефектов;
- в) измерение дефектов – их размеров, формы расположения;
- г) оценка качества проконтролированного соединения.

Подготовка ультразвукового контроля в основном должна включать следующие этапы:

- выбор основных параметров контроля и параметров сканирования и имеющийся НТД на контроле;
- настройку дефектоскопа по контрольным образцам на заданные параметры;
- очистку поверхности сканирования от брызг металла, грязи, отслаивающейся окалины и т.п.;
- нанесение контролирующего смазочного материала на искатели и поверхности сканирования.

Очистка поверхности, по которой перемещают искатель, очень важна в отношении выявляемости дефектов и достоверности контроля, а также для сохранения искателей. В технологических картах на сварку следует предусматривать время и средства на очистку зон сканирования вблизи контролирующего шва. Ширина этих зон должна быть согласно НТД.

Контролирующие среды предназначены для обеспечения акустического контроля контакта искатель – изделие. Используют жидкие смазочные материалы (масла), смазочные материалы (минеральные масла, глицерин, воду)

и вязкие на основе солидола, тавота. Поиск дефектов. Задача поиска обнаружение, обычно путем сканирования, дефектов с эквивалентной площадью S_e большей чем заданная продольная чувствительность S_n . Используют две схемы сканирования: поперечно-продольную и продольно-поперечную.

Порядок контроля УЗД:

1. Застропить емкость и установить на роликовую опору.
2. Проверить подготовку сварного шва и околошовную зону перед проведением контроля УЗД. Поверхность не должна иметь вмятин, неровностей, забоин, отслаивающейся и вдавленной окалины. Шероховатость поверхности не более 6,3.
3. Нанести на контролируемую поверхность контактную жидкость – глицерин.
4. Провести УЗД.
5. Застропить емкость, переместить на участок сварки.
6. Смыть контактную среду в течении от 0,5 до 1 часа теплым содовым раствором.

После проведения 30% УЗК контроля, оформляют результаты контроля.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дата		70

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе были решены следующие задачи:

- 1) Проведён анализ объекта производства.
- 2) Осуществлен выбор материала для ёмкости водонагревателя
- 3) Произведен выбор оборудования для сборки и сварки изделия
- 4) Сделан расчёт геометрических размеров ёмкости
- 5) Выполнен раскрой материала, формообразование.
- 6) Проведена сборка и сварка ёмкости водонагревателя
- 7) Контроль качества изделия.

Для решения этих задач, было выбрано специальное оборудование, которое позволяет повысить качество продукции, увеличить производительность при минимальных затратах. Также был изменен способ сварки изделия для повышения автоматизации производства, а именно, заменен ручной метод сварки, на механизированный способ сварки в среде защитных газов. Это позволило значительно повысить качество и производительность данной продукции. Для данного способа сварки, были проведены расчеты режимов сварки. При помощи этих расчетов были получены оптимальные значения, при которых будет максимальная эффективность данной сварки. Также был разработан контроль качества сварных соединений, который включает в себя несколько видов контроля, что позволяет избежать брака. В контроле были применены как механические испытания, так и гидравлические. Для повышения срока службы данного емкостного водонагревателя, был применен процесс эмалирования.

Помимо ручного расчета, была применена программа «ПАССАТ». Эта программа позволила провести расчет ёмкостного водонагревателя в автоматическом режиме.

Последним этапом данной работы было разработка чертежей, а именно, чертеж общего вида, последовательность сборки и сварки изделия, режимы сварки и контроль качества сварных соединений. Все чертежи разработаны в соответствии с правилами ЕСКД.

Список используемых источников

1. **Стенд для сборки и сварки продольного стыка обечайки** [Текст]: пат. 1030132 СССР: МПК В23К37/04; заявитель и патентообладатель Ганин Ю.П., Казин М.А., Лапшин Г.А., Ткаченко А.Н. - № 3330940/25-27; заявл. 14.08.1981; опубл. 23.07.1983, ил.
2. **Полуавтоматическая установка для сборки и сварки обечайки с днищем** [Текст]: пат. 1192935 СССР: МПК В23К37/04; заявитель и патентообладатель Иванов А.И., Марченко В.Б., Гавва В.Н., Задорожный В.А., Домио А.А., Коцюбинский В.В. - №4290100/31-27; заявл. 27.07.1987; опубл. 30.01.1989, ил.
3. **Установка для сварки кольцевых стыков оболочек** [Текст]: пат. 2374053 Рос. Федерация: МПК В23К37/053; заявитель и патентообладатель Двуреченский А.Г., Варавин И.И. - № 2007121422/02; заявл. 07.06.2007; опубл. 27.11.2009, ил.
4. **Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов** [Текст]: ГОСТ 6533-78. - Введ. 1990-01-01. - М.: Изд-во стандартов, 1989. - II, 37 с.: ил.
5. **Инженерно – технологические основы подготовки сварочного производства** [Текст]: учебное пособие / А.Е. Розен [и др.]. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2010. – 276 с.
6. **Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия** [Текст]: ГОСТ Р 52630-2012. - Введ. 2013-04-01. - М.: Изд-во стандартов, 2018. - I, 80 с.: ил.
7. **Правила проектирования, изготовления и приемки сосудов и аппаратов стальных сварных** [Текст]: ПБ 03-584-03. - Введ. 2003-10-06. - М.:ПИО ОБТ, 2009. - II, 104 с.: ил.
8. **Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности** [Текст]: ГОСТ 12.1.007-76. - Введ. 1977-01-01. - М.: Изд-во стандартов, 2011. - II, 5 с.: ил.

9. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования [Текст]: ГОСТ 12.1.004-91. - Введ. 1992-06-30. - М.: Изд-во стандартов, 2018. - II, 64 с.: ил.

10. Электрооборудование взрывозащищенное [Текст]: ГОСТ 30852.5-2002. - Введ. 2014-02-15. - М.: Изд-во стандартов, 2018. - IV, 23 с.: ил.

11. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных производств [Текст]: ПБ 09-540-03. - Введ. 2003-01-01. - М.: ПИО ОБТ, 2006. - II, 43 с.: ил.

12. Сталь углеродистая обыкновенная. Марки [Текст]: ГОСТ 380-2005. - Введ. 2008-06-30. - М.: Стандартиформ, 2018. - II, 8 с.: ил.

13. Прокат толстолистовой из углеродистой стали обыкновенного качества. Технические условия [Текст]: ГОСТ 14637-89. - Введ. 1991-01-01. - М.: Стандартиформ, 2018. - II, 9 с.: ил.

14. Свариваемость. Определение [Текст]: ГОСТ 29273-92. - Введ. 1993-01-01. - М.: ИНК Издательство стандартов, 2018. - I, 2 с.: ил.

15. Свариваемость сталей. Метод оценки влияния сварки плавлением на основной металл [Текст]: ГОСТ 23870-79. - Введ. 1981-01-01. - М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 2018. - II, 10 с.: ил.

16. Прокат повышенной прочности. Общие технические условия [Текст]: ГОСТ 19281-2014. - Введ. 2015-01-01. - М.: Стандартиформ, 2018. - I, 46 с.: ил.

17. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность [Текст]: ГОСТ 14249-89. - Введ. 1990-01-01. - М.: Издательство стандартов, 2018. - II, 53 с.: ил.

18. Сварка металлов. Термины и определения основных понятий [Текст]: ГОСТ 2501-84. - Введ. 1985-06-30. - М.: Издательство стандартов, 2018. - III, 55 с.: ил.

19. Прокат листовой горячекатаный. Сортамент [Текст]: ГОСТ 19903-2015. - Введ. 2016-09-01. - М.: Стандартиформ, 2018. - II, 9 с.: ил.

20. **Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры** [Текст]: ГОСТ 14771-76. - Введ. 1977-06-30. - М.: Стандартиформ, 2018. - IV, 37 с.: ил.

21. **Сварные соединения приварки люков, штуцеров и муфт. Основные типы, конструктивные типы и размеры** [Текст]: РД 26-18-8-89. - Введ. 1990-01-01. - М.: ЦКБН, 2018. - IV, 37 с.: ил.

22. **Машины грузоподъемные. Выбор материалов для изготовления, ремонта и реконструкции сварных стальных конструкций** [Текст]: РД 22-16-2005. - Введ. 2010-06-12. - М.: «СКТБ БК», 2010. - IV, 91 с.: ил.

23. **Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий** [Текст]: ГОСТ 3.1109-82. - Введ. 1983-01-01. - М.: Стандартиформ, 2012. - II, 14 с.: ил.

24. **Обеспечение технологичности конструкции изделий. Общие требования** [Текст]: ГОСТ 14.201-83. - Введ. 1984-01-01. - М.: Стандартиформ, 2018. - II, 8 с.: ил.

25. **Роботы промышленные для дуговой сварки. Общие технические условия** [Текст]: ГОСТ 26056-84. - Введ. 1986-01-01. - М.: Госстандарт России, 2018. - I, 10 с.: ил.

26. **Материалы сварочные. Технические условия поставки присадочных материалов. Виды продукта, размеры, допуски и маркировка** [Текст]: ГОСТ 53689-2009. - Введ. 2011-01-01. - М.: Стандартиформ, 2018. - IV, 8 с.: ил.

27. **Проволока стальная сварочная. Технические условия** [Текст]: ГОСТ 2246-70. - Введ. 1973-01-01. - М.: Издательство стандартов, 2018. - V, 17 с.: ил.

28. **Двуокись углерода газообразная и жидкая. Технические условия** [Текст]: ГОСТ 8050-85. - Введ. 1987-01-01. - М.: Стандартиформ, 2018. - III, 23 с.: ил.

29. **Проектирование сварных конструкций. Расчет сварных соединений** [Текст]: учебное пособие / А.Е. Розен [и др.]. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2010. – 132 с.

30. Сосуды и аппараты, работающие под давлением. Правила и нормы безопасности при проведении гидравлических испытаний на прочность и герметичность [Текст]: РД 24.200.11-90. - Введ. 1990-07-01. - М.: Стандартинформ, 2018. - III, 49 с.: ил.

31. Сварные соединения. Методы определения механических свойств [Текст]: ГОСТ 6996-66. - Введ. 1967-01-01. - М.: Издательство стандартов, 1993. - IV, 83 с.: ил.

32. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые [Текст]: ГОСТ 14782-86. - Введ. 1988-07-01. - М.: Стандартинформ, 2003. - IV, 26 с.: ил.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дата		75

Приложение А

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дата		76

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ

ИЗДЕЛИЯ № 1

Таблица 1 – Характеристики процесса

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ Р 52630-2012
2	Способ сварки	УП
3	Основной материал (марки)	Ст3сп
4	Основной материал (группа)	1 (M01)
5	Сварочные материалы	Св-08Г2С
6	Толщина свариваемых деталей	4,0
7	Диаметр деталей в зоне сварки	-
8	Тип шва	СТ
9	Тип соединения	Стыковое, С2 ГОСТ 14771-76
10	Вид шва соединения	дс,бп
11	Форма подготовки кромок	Без разделки кромок
12	Положение при сварке	Н1
13	Вид покрытия электродов (для РД)	Нет
14	Режимы подогрева	Подогрев отсутствует
15	Режимы термообработки	Нет
16	Дополнительные параметры	Нет

Таблица 2 – Последовательность выполнения и форма сварного соединения

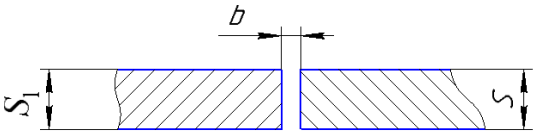
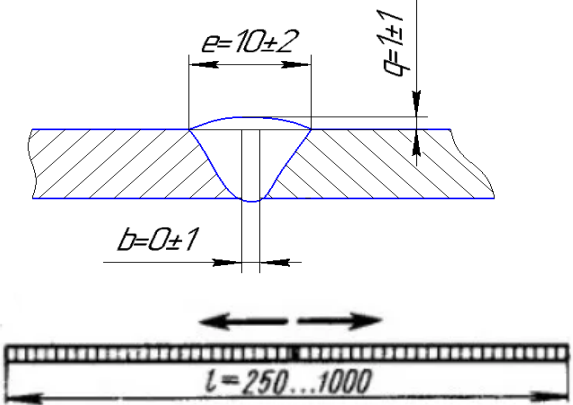
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва
	

Таблица 3 – Геометрические размеры сварных соединений и количество проходов (слоев) шва N

$S = S1$	N	b		e	q	
		Номин.	Пред. откл.	Номин.	Номин.	Пред. откл.
4,0	1	0	+1,0	10,0	1,0	+1 -1

Сварочное оборудование (тип): *CEBORA EVO 350 TC SYN*.

Метод подготовки и очистки: Зачистка механическим способом до металлического блеска участков металла на ширину не менее 20,0 мм с каждой стороны.

Требования к прихватке: нет.

Защита сварочной ванны/защита корня шва: CO2 ГОСТ 9087-81.

Неплавящийся электрод (тип, размер): нет.

Детали формирования корня шва: нет.

Таблица 4 – Параметры процесса сварки (наплавки)

Пара- ра- мет- ры	Диаметр электрода, мм	Род и поляр- ность тока	Свароч- ный ток, А	Напряже- ние дуги, В	Вылет элек- трода, мм	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи элек- тродной про- волоки м/ч
Зна- че- ния	1,2	по	180,0...18 5,0	27,0...28,0	9,0...1 2,0	20,0...21,0	273,0...275,0

Технологические требования к сварке:

- 1 Перед сваркой зачистить сварочную проволоку.
- 2 Подачу защитного газа начинать до зажигания дуги.
- 3 Сварку прохода начинать и завершать на кромке сварного соединения, выводя дугу на 15,0-20,0 мм от выполненного валика.
- 4 После выполнения сварки произвести зачистку соединения от брызг металла механическим способом.
- 5 Геометрические размеры собранного под сварку соединения и соединения после сварки должны соответствовать требованиям таблицы 3.

Таблица 5 – Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем кон- троля
Визуальный и измерительный	ГОСТ 3242-79	ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-576-03; ПБ 03-548-03	100 %
Ультразвуковой	ГОСТ 14782-86		30 %
Гидравлический	РД 24.200.11-90		100%
На растяжение	ГОСТ 6996-66, тип XIII		2 обр.
На статический изгиб	ГОСТ 6996-66		2 обр.

Разработал:

(подпись)

/Журавлёв М.В./

(фамилия, имя, отчество)

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ

ИЗДЕЛИЯ № 2

Таблица 1 – Характеристики процесса

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ Р 52630-2012
2	Способ сварки	УП
3	Основной материал (марки)	Ст3 сп
4	Основной материал (группа)	1 (M01)
5	Сварочные материалы	Св-08Г2С
6	Толщина свариваемых деталей	4,0 мм
7	Диаметр деталей в зоне сварки	400,0
8	Тип шва	СШ
9	Тип соединения	Стыковой С2 ГОСТ 14771-76
10	Вид шва соединения	дс,бп
11	Форма подготовки кромок	Без разделки кромок
12	Положение при сварке	Н1
13	Вид покрытия электродов (для РД)	Нет
14	Режимы подогрева	Подогрев отсутствует
15	Режимы термообработки	Нет
16	Дополнительные параметры	Нет

Сварочное оборудование (тип): *CEA ECHO 6000 CV*.

Метод подготовки и очистки: Зачистка механическим способом до металлического блеска участков на ширину не менее 20,0 мм с каждой стороны.

Требования к прихватке: нет.

Защита сварочной ванны/защита корня шва: CO2 ГОСТ 9087-81.

Неплавящийся электрод (тип, размер): нет

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дата		20

Таблица 2 – Последовательность выполнения и форма сварного соединения

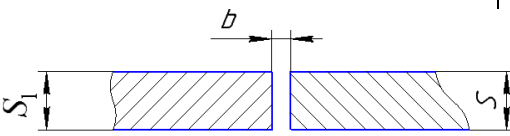
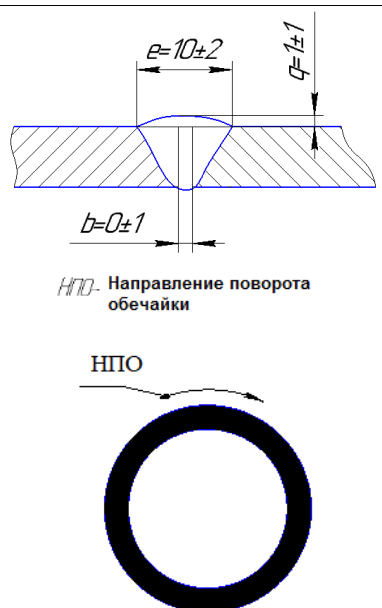
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва
	 <p>НПО- Направление поворота обечайки</p> <p>НПО</p>

Таблица 3 – Геометрические размеры сварных соединений и количество проходов (слоев) шва N

$S=S1$	N	b		e	g	
		Номин.	Пред. откл.	Номин.	Номин.	Пред. откл.
4,0	1	0	+1,0	10,0	1,0	+1,0 -1,0

Таблица 4 – Параметры процесса сварки (наплавки)

Параметры	Диаметр электродной проволоки, мм	Род и полярность тока	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Вылет электрода, мм	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи сварочной проволоки, м/ч
Значения	1,2	по	180,0...185,0	27,0...28,0	9,0...12,0	18,0...19,0	221,0...224,0

Технологические требования к сварке:

1. Перед сваркой зачистить сварочную проволоку
2. После выполнения сварки произвести зачистку соединения от брызг металла механическим способом.
3. Геометрические размеры собранного под сварку соединения и соединения после сварки должны соответствовать требованиям таблицы 3.

Таблица 5 – Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный и измерительный	ГОСТ 3242-79	ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-576-03; ПБ 03-548-03	100 %
Ультразвуковой	ГОСТ 14782-86		30 %
Гидравлический	РД 24.200.11-90		100%
На растяжение	ГОСТ 6996-66, тип XIII		2 обр.
На статический изгиб	ГОСТ 6996-66		2 обр.

Разработал:

(подпись)

/Журавлёв М.В./

(фамилия, имя, отчество)

						Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дата		

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ ИЗДЕЛИЯ № 3

Таблица 1 – Характеристики процесса

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ Р 52630-2012
2	Способ сварки	УП
3	Основной материал (марки)	Ст3 сп
4	Основной материал (группа)	M01
5	Сварочные материалы	Св-08Г2С
6	Толщина свариваемых деталей	4,0 мм
7	Диаметр деталей в зоне сварки	40,0 мм
8	Тип шва	УШ
9	Тип соединения	Угловое, У7 РД 26-18-8-89
10	Вид шва соединения	дс, бп
11	Форма подготовки кромок	С разделкой одной кромки с углом раскрытия 45 град.
12	Положение при сварке	Н
13	Вид покрытия электродов (для РД)	-
14	Режимы подогрева	-
15	Режимы термообработки	-
16	Дополнительные параметры	-

Сварочное оборудование (тип): СW - 5.

Метод подготовки и очистки: Зачистка механическим способом до металлического блеска металла от разделки на ширину не менее 20,0 мм.

Требования к прихватке: нет.

Защита сварочной ванны/защита корня шва: CO₂ ГОСТ 8050-85

Неплавящийся электрод (тип, размер): нет;

Детали формирования корня шва: нет.

Таблица 2 – Последовательность выполнения и форма сварного соединения.

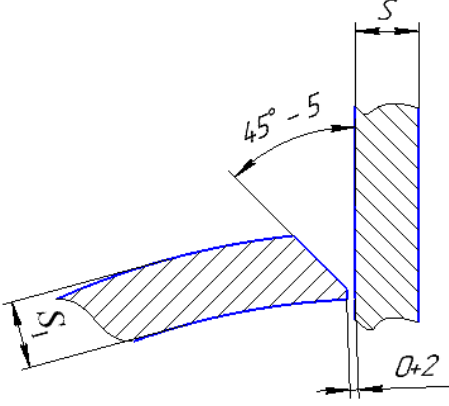
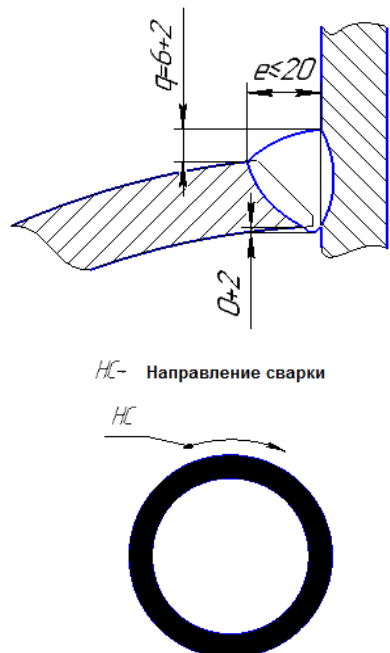
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва
	 <p>НС- Направление сварки</p>

Таблица 3 – параметры процесса сварки (наплавки)

Параметры	Диаметр электрода, мм	Род и полярность тока	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Вылет электрода, мм	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи электродной проволоки м/ч
Значения	1,2	по	160,0...165,0	26,0...27,0	9,0...12,0	18,0...20,0	221,0...225,0

Технологические требования к сварке:

1. Перед сваркой зачистить сварочную проволоку, продуть защитным газом газовые коммуникации. Подачу защитного газа начинать до зажигания дуги.
- 2 После выполнения сварки произвести зачистку соединения от брызг металла механическим способом.
3. Геометрические размеры собранного под сварку соединения и соединения после сварки должны соответствовать требованиям таблицы 2.

Таблица 4 – требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный и измерительный	ГОСТ 3242-79	ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03- 576-03; ПБ 03-548-03	100 %
Гидравлический	РД 24.200.11-90		100 %

Разработал:

/Журавлёв М.В./

(подпись)

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дата		25

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ

ИЗДЕЛИЯ № 4

Таблица 1 – Характеристики процесса

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	Гост Р 52630-2012
2	Способ сварки	УП
3	Основной материал (марки)	Ст3 сп
4	Основной материал (группа)	M01
5	Сварочные материалы	Св-08Г2С
6	Толщина свариваемых деталей	4,0 мм
7	Диаметр деталей в зоне сварки	-
8	Тип шва	ТШ
9	Тип соединения	Тавровое Т6 ГОСТ 14771-76
10	Вид шва соединения	дс, бп
11	Форма подготовки кромок	С разделкой одной кромки с углом раскрытия 45 град.
12	Положение при сварке	Н
13	Вид покрытия электродов (для РД)	-
14	Режимы подогрева	-
15	Режимы термообработки	-
16	Дополнительные параметры	-

Сварочное оборудование (тип): *CEA ECHO 6000 CV*.

Метод подготовки и очистки: Зачистка механическим способом до металлического блеска металла в месте сварки.

Требования к прихватке: 3 прихватки распределить равномерно по всей длине шва. Длина каждой прихватки – 10,0 мм; способ сварки прихватки: УП, $d = 1,2$ мм; Режимы: $I_{св} = 160,0 \dots 150,0$ А, $U_d = 27,0 \dots 26,0$ В.

Защита сварочной ванны/защита корня шва: CO₂ ГОСТ 8050-85

Газ/флюс: CO₂ ГОСТ 8050-85

Неплавящийся электрод (тип, размер): нет;

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дата		26

Детали формирования корня шва: нет.

Таблица 2 – Последовательность выполнения и форма сварного соединения

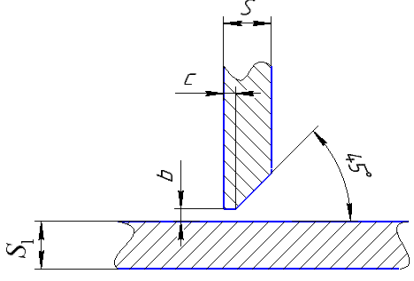
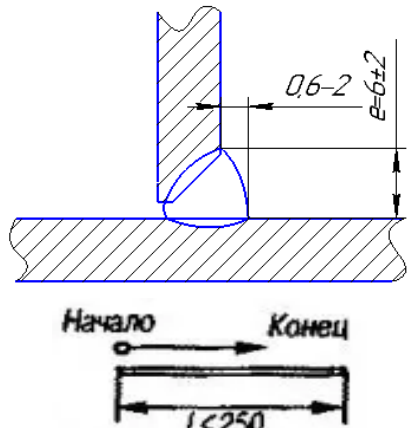
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва
	

Таблица 3 – параметры процесса сварки (наплавки)

Параметры	Диаметр электрода, мм	Род и полярность тока	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Вылет электрода, мм	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи электродной проволоки м/ч
Значения	1,2	по	160,0 ...170, 0	26,0... 27,0	9,0...12, 0	18,0...20,.	221,0...230,0

Таблица 4 – требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный и измерительный	ГОСТ 3242-79	ГОСТ Р 52630-2012, ПБ 03-576-03, ПБ 03-548-03	100 %
Капиллярный	ГОСТ 18442-80		100%

Технологические требования к сварке:

1. Перед сваркой зачистить сварочную проволоку, продуть защитным газом газовые коммуникации. Подачу защитного газа начинать до зажигания дуги.
2. После выполнения сварки произвести зачистку от брызг металла механическим способом.

3. Геометрические размеры собранного под сварку соединения и соединения после сварки должны соответствовать требованиям таблицы 2.

Разработал: _____

(подпись)

/Журавлёв М.В./

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дата		22

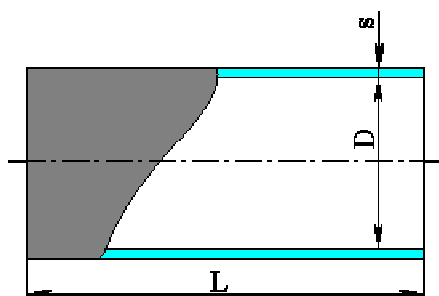
Приложение Б

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дата		20

Расчет опорных лап на прочность и устойчивость в программе «ПАССАТ 2.13»

В данной выпускной квалификационной работе был применен не только традиционный метод расчета, но и с помощью специализированной программы «ПАССАТ». Программа предназначена для расчета прочности и устойчивости сосудов, аппаратов и их элементов с целью оценки несущей способности в рабочих условиях, а также в условиях испытаний и монтажа. В данной программе был проведен расчет на прочность днища ёмкости водонагревателя.

Обечайка цилиндрическая



Исходные данные

Материал:	Ст3
Внутр. диаметр, D:	400 мм
Толщина стенки, s:	4 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, s_1 :	0,4 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, s_2 :	0,4 мм
Прибавка технологическая, s_3 :	0 мм
Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, s :	0,8 мм
Длина обечайки, L:	300 мм
Коэффициенты прочности сварных швов:	
Продольный шов:	
$\varphi_p = 0,9$	
Окружной шов :	
$\varphi_t = 0,9$	

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётная температура, T:	80 °C
Расчётное внутреннее избыточное давление, p:	0,1382 МПа
Расчётный изгибающий момент, M:	0 Н м

					Лист an
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дата	

Расчётное поперечное усилие, Q: 0 Н

Расчётное осевое растягивающее усилие, F: 325,6 Н

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала Ст3 при температуре T = 80 °С (рабочие условия):

$[\sigma] = 135,5$ МПа

Модуль продольной упругости для материала Ст3 при температуре T = 80 °С :

E = $1,93 \cdot 10^5$ МПа

Гладкая обечайка, нагруженная внутренним избыточным давлением (п. 5.3.1)

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0,1382 \cdot 400) / (2 \cdot 135,5 \cdot 0,9 - 0,1382) + 0,8 = 1,027 \text{ мм}$$

1,027 мм ≤ 4 мм

Заключение: **Условие работоспособности выполнено**

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 135,5 \cdot 0,9 \cdot (4 - 0,8) / (400 + 4 - 0,8) = 1,936 \text{ МПа}$$

1,936 МПа ≥ 0,1382 МПа

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Минимальное расстояние между “одиночными” штуцерами:

$$b_0 = 2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} = 2 \cdot (400 \cdot (4 - 0,8))^{1/2} = 71,55 \text{ мм}$$

Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием (п. 5.3.3)

Допускаемое осевое растягивающее усилие :

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,142 \cdot (400 + 4 - 0,8) \cdot (4 - 0,8) \cdot 135,5 \cdot 0,9 = 4,943 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$4,943 \cdot 10^5 \text{ Н} \geq 325,6 \text{ Н}$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности: $\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{np}} \leq 1,0$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{np}} = (325,6 + 0,1382 \cdot 3,142 \cdot 400^2 / 4) / 4,943 \cdot 10^5 + 0 / 0 = 0,03579 \leq 1$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Расчет давления испытаний по ГОСТ Р 52630-2012

Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением:

$$P_{np} = 1,25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} = 1,25 \cdot 0,135 \cdot 140 / 135,5 = 0,1744 \text{ МПа}$$

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, T:

20 °С

					Лист
Изм.	Лист	№ док-м.	Под-	Дата	
					01

Расчётное внутреннее избыточное давление (с учётом гидростатического), p: 0,184 МПа

Расчётный изгибающий момент, M: 0 Н м

Расчётное поперечное усилие, Q: 0 Н

Расчётное осевое растягивающее усилие, F: 325,6 Н

По ГОСТ Р 52857.1-2007 расчёт на прочность при испытаниях допускается не проводить, если выполнено условие:

$$P_{\text{исп}} < 1,35 \cdot P_{\text{расч}} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}$$

$$1,35 \cdot P_{\text{расч}} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 0,1382 \cdot 140 / 135,5 = 0,1928 \text{ МПа} \geq 0,184 \text{ МПа}$$

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала Ст3 при температуре T = 20 °С (условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 210 / 1,1 = 190,9 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала Ст3 при температуре T = 20 °С :

$$E^{20} = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Гладкая обечайка, нагруженная внутренним избыточным давлением (п. 5.3.1)

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0,184 \cdot 400) / (2 \cdot 190,9 \cdot 0,9 - 0,184) + 0,8 = 1,014 \text{ мм}$$

$$1,014 \text{ мм} \leq 4 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие работоспособности выполнено**

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 190,9 \cdot 0,9 \cdot (4 - 0,8) / (400 + 4 - 0,8) = 2,727 \text{ МПа}$$

$$2,727 \text{ МПа} \geq 0,184 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Минимальное расстояние между “одиночными” штуцерами:

$$b_0 = 2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} = 2 \cdot (400 \cdot (4 - 0,8))^{1/2} = 71,55 \text{ мм}$$

Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием (п. 5.3.3)

Допускаемое осевое растягивающее усилие :

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,142 \cdot (400 + 4 - 0,8) \cdot (4 - 0,8) \cdot 190,9 \cdot 0,9 = 6,964 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$6,964 \cdot 10^5 \text{ Н} \geq 325,6 \text{ Н}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

$$\text{Проверка условия прочности: } \frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{кр}}} \leq 1,0$$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{кр}}} = (325,6 + 0,184 \cdot 3,142 \cdot 400^2 / 4) / 6,964 \cdot 10^5 + 0 / 0 = 0,03366 \leq 1$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

					Лист
Изм.	Лист	№ док-м.	Под-	Дата	

Приложение В

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дата		02