

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Факультет

Кафедра

промышленных технологий,
электроэнергетики и транспорта
(наименование)

«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 корпуса резервуара для
хранения сжиженного газа из стали 09Г2С»

Студент

22.06.2026
(подпись, дата)

Ганькин Вадим Сергеевич
(ф.и.о. полностью)

Научный руководитель
к.т.н., доцент

22.06.2026
(подпись, дата)

Крюков Д.Б.
(фамилия, инициалы)

Нормоконтролёр
к.т.н., доцент

22.06.2026
(подпись, дата)

Хорин А.В.
(фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от 11.06.2026 № 1)

Заведующий кафедрой

23.06.2026
(подпись, дата)

Розен А.Е.
(фамилия, инициалы)

Работа защищена с отметкой удовлетворительно (протокол заседания ГЭК от 24.06.2026 № 3)

Секретарь ГЭК
к.т.н., доцент

24.06.2026
(подпись, дата)

Гуськов М.С.
(фамилия, инициалы)

Пенза 2026

ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

«Утверждаю»
Заведующий кафедрой СЛПИМ
д.т.н., профессор Розен А.Е.

подпись
«30» декабря 2025 г.

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу

Студента гр. 223МОС41 Политехнического института ПГУ, заочной формы обучения по направлению подготовки 15.03.01 «Машиностроение»

Ганькина Вадима Сергеевича.

Научный руководитель работы: к.т.н., доцент Крюков Д.Б.

Время выполнения ВКР: с 30.12.25 г. по 04.07.2026 г.

Место преддипломной практики: Базовая кафедра «Контроль и испытания материалов» ПГУ

Тема работы: Разработка технологии сборки и сварки корпуса резервуара для хранения сжиженного газа из стали 09Г2С

Тема утверждена приказом ректора ПГУ №1581/о от 30.12.25 г.

Техническое задание на работу (назначение изделия, технология сборки и сварки): Разработать технологию сборки и сварки корпуса резервуара

– рабочее давление 1,6 МПа;

– установка на открытом воздухе;

– температура рабочей среды от минус 45 до плюс 100 °С

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;
- литературно-патентный обзор с выявлением патентной и научно-технической информации, исследованием технического уровня и тенденций развития технологии сварки;
- анализ объекта производства с обоснованием выбора основного материала корпуса резервуара и корпусных элементов;
- конструкторская часть – проектные расчеты корпуса резервуара и корпусных элементов, расчеты на прочность сварных соединений;

- технологическая часть с расчетами режимов сварки, выбором сварочного оборудования и сварочных материалов, назначение методов контроля качества сварных соединений и выбор средств технологического оснащения;
- заключение – выводы и обоснования по теме работы и полученным результатам.

Графическая часть бакалаврской работы (перечень и содержание плакатов):

- Общий вид резервуара 1л А1;
- Детализация 1л А1;
- Схема сборки и сварки резервуара для хранения сжиженного газа 1л А1;
- Технологические параметры режимов сварки 1л А1;
- Средства технологического оснащения 1л А1;
- Методы контроля сварных швов и КСС 1л А1;
- Расчет на прочность и работоспособность элемента конструкции резервуара в программе ПАССАТ 1л А1;

Рекомендуемая литература:

1. Усатый С.Г. Проектирование сварных конструкций. Расчет сварных соединений [Текст]: учебное пособие / С.Г. Усатый, А.Е. Розен, С.Н. Чугунов, С.Г. Ракитин, А.В. Прыщак - Пенза: Изд-во Пензенского гос. ун-та, 2010. - 132 с.

2. Гордиевский В.Г. Инженерно-технологические основы подготовки сварочного производства [Текст]: учебное пособие / В.Г. Гордиевский, А.Е. Розен, С.Г. Усатый, С.С. Солдатова, А.О. Кривенков, А.В. Прыщак - Пенза: Изд-во Пензенского гос. ун-та, 2010. - 276 с.

Руководитель ВКР:

К.Т.Н., доцент

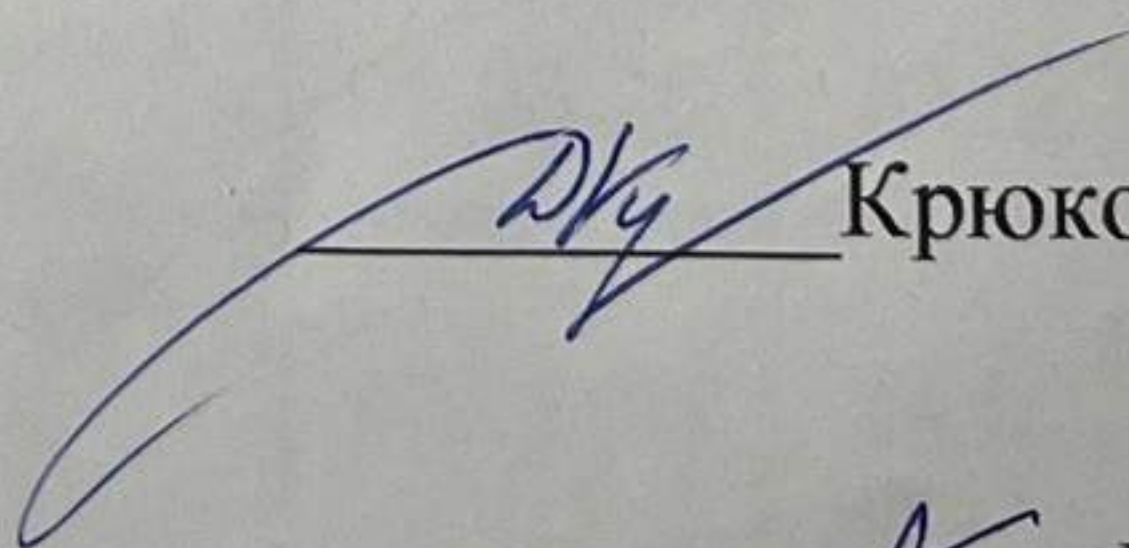
Задание к исполнению принял студент

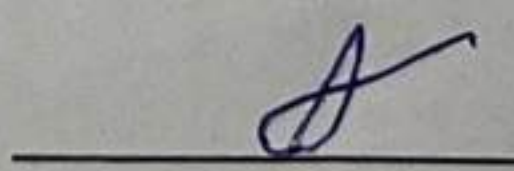
гр. 223МОС41

30 января 2025 г.

Выпускную квалификационную работу к защите допустить

/ Директор Политехнического института ПГУ

 Крюков Д.Б.

 Ганькин В.С.

 Г.В. Козлов

ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФАКУЛЬТЕТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ
И ТРАНСПОРТА
кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

«Утверждаю»
Руководитель ВКР
к.т.н., доцент Крюков Д.Б.

«30» декабря 2025 г.
подпись

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН
на выпускную квалификационную работу

Студенту гр. 223МОС41 Факультет промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта Политехнического института ПГУ, заочной формы обучения по направлению подготовки 15.03.01 «Машиностроение»

Ганькину Вадиму Сергеевичу

Тема работы: Разработка технологии сборки и сварки корпуса резервуара для хранения сжиженного газа из стали 09Г2С

Наименование этапа работы	Срок исполнения		Отметка о выполнении
	начало	окончание	
1.Получение задания, его уяснение, беседа с руководителем. Подготовка к выполнению ВКР.	30.12.25	15.02.26	Выполнено ДК
2. Подбор и изучение рекомендованной литературы.	16.02.26	28.02.26	Выполнено ДК
3.Изучение объекта исследования, постановка цели и задачи работы. Написание введения.	01.03.26	12.02.26	Выполнено ДК
4.Проведение литературно-патентного обзора. Выбор основных нормативно-технических документов.	13.02.26	19.02.26	Выполнено ДК
5. Проектирование и расчет элементов конструкции изделия. Оформление соответствующего раздела.	20.02.26	31.03.26	Выполнено ДК
6. Разработка технологии сборки и сварки изделия.Контроль качества сварных соединений. Оформление соответствующих разделов.	01.04.26	21.04.26	Выполнено ДК

7. Завершение оформления пояснительной записки, схем и рисунков.	22.04.26	26.05.26	Выполнено AK
8. Представление завершенной ВКР нормоконтролеру	27.05.26	04.06.26	Выполнено AK
9. Представление ВКР руководителю на просмотр и проверку на плагиат.	04.05.26	14.05.26	Выполнено AK
10. Предварительная защита ВКР	04.06.26	04.06.26	Выполнено AK
11. Полное завершение всех работ и представление зав. кафедрой на подпись пояснительной записки (совместно с графической частью, протоколом проверки на плагиат и отзывом руководителя)	15.06.26	19.06.26	Выполнено AK
12. Защита выпускной квалификационной работы	24.06.26	24.06.26	Выполнено AK

Прохождение каждого этапа подготовки ВКР подтверждается подписью руководителя.

Студент учебной группы 223МОС41 AK Ганькин В.С.

" 30 " сентября 2026 г.

И.О. ректора Пензенского государственного университета
С.М. Васину
от студента 4 курса ФПТЭиТ
заочной формы обучения

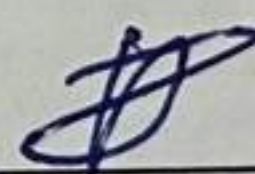
Ганькина Вадима Сергеевича
(фамилия, имя, отчество)

ЗАЯВЛЕНИЕ

Я, Ганькин Вадим Сергеевич, студент 4 курса заочной формы обучения направления подготовки 15.03.01 «Машиностроение», бакалаврская программа «Оборудование и технология сварочного производства», прошу провести проверку с использованием системы «Антиплагиат» выпускной квалификационной работы на тему: «*Разработка технологии сборки и сварки корпуса резервуара для хранения сжиженного газа из стали 09Г2С*», выполненной мной самостоятельно, на содержание элементов плагиата.

Все прямые заимствования из печатных и электронных источников, а также из защищенных ранее выпускных квалификационных работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки.

Я ознакомлен с действующим Стандартом университета «Выпускная квалификационная работа обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры», согласно которому обнаружение плагиата является основанием для недопуска ВКР к защите.


(подпись студента)

28 мая 2026 г.

(дата)

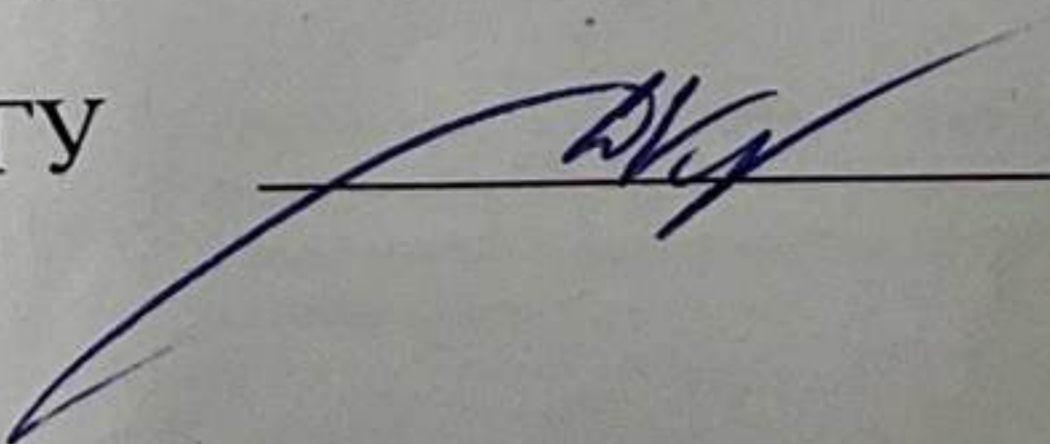
ВКР представлена на проверку:

28 мая 2026 г.

(дата)

Руководитель ВКР

к.т.н., доцент каф. "Сварочное, литейное
производство и материаловедение" ПГУ

 Крюков Д.Б.

Протокол

проверки на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ» выпускной квалификационной работы на тему «Разработка технологии сборки и сварки корпуса резервуара для хранения сжиженного газа из стали 09Г2С» студента 4 курса Ганькина Вадима Сергеевича направления подготовки 15.03.01 «Машиностроение», профиля подготовки «Оборудование и технология сварочного производства»

Руководитель ВКР: Крюков Дмитрий Борисович, к.т.н., доцент каф. «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

Результат проверки на плагиат бакалаврской работы Ганькина Вадима Сергеевича составляет 58,72 % оригинальности, что соответствует существующим требованиям стандарта СТО ПГУ 3.12-2018. Выпускная квалификационная работа может быть рекомендована к защите.



СПРАВКА

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Пензенский государственный
университет»

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Ганькин В.С.
Самоецитирование
рассчитано для: Ганькин В.С.
Название работы: ВКР Ганькин В.С.
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: Каф. "Сварочное, литейное производство и материаловедение" ПГУ

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТИРОВАЛСЯ: НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОРРЕКТИРОВКИ

СОВПАДЕНИЯ	39.42%	СОВПАДЕНИЯ	39.42%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	58.72%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	58.72%
ЦИТИРОВАНИЯ	1.86%	ЦИТИРОВАНИЯ	1.86%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%
ИИ-КОНТЕНТ	0%		

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 28.05.2025

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 28.05.2025 12:24

Структура
документа:
Модули поиска:

Проверенные разделы: основная часть с.2, 4, 10-84, 110-112, титульный лист с.1, содержание с.3, приложение с.91-110, 112, введение с.4-9, выводы с.84-86, 110
Переводные заимствования; Профессиональная лексика. АПК и биотех; Профессиональная лексика. Юриспруденция; Профессиональная лексика. Медицина; IEEE; Цитирование; Шаблоны фразы; Коллекция открытых публикаций международных издательства; PubMed; Патенты СССР, РФ, СНГ; Рувики; Коллекция НБУ; СМИ России и СНГ; Переводные заимствования IEEE; Публикации eLIBRARY; Кольцо вузов; Перефразирования по базе публикаций открытого доступа PubMed; ИПС Адилет; Сводная коллекция научных работ Беларуси; Медицина; Публикации РГБ; Интернет Плюс; Сводная коллекция ЭБС; Перефразирования по Коллекции открытых публикаций международных издательства; Перефразирования по коллекции IEEE; Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика; Публикации РГБ (переводы и перефразирован...

Работу проверил: Крюков Д. Б.

ФИО проверяющего

Дата подписи:

28.05.26.

Подпись проверяющего



Чтобы убедиться
в подлинности справки, используйте QR-код,
который содержит ссылку на отчет.

Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование
корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего.
Предоставленная информация не подлежит использованию
в коммерческих целях.

ФГБОУ ВО ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**ОТЗЫВ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ
РАБОТУ СТУДЕНТА**

Ганькина Вадима Сергеевича

Тема работы:

**"Разработка технологии сборки и сварки корпуса резервуара для
хранения сжиженного газа из стали 09Г2С"**

Выпускная квалификационная работа Ганькина В.С. состоит из расчетно-пояснительной записки и содержит 89 страниц, 15 рисунков, 17 таблиц, 32 использованных источника, 2 приложения и графической части, представленной на 7-ми листах формата А1. Выпускная квалификационная работа Ганькина В.С. выполнена в соответствии с заданием.

В соответствии с заданием на выпускную квалификационную работу в расчетно-пояснительной записке Ганькина В.С. представлены следующие разделы: аннотация, введение, патентный поиск, анализ объекта производства, назначение конструкции и технические требования, обоснование выбора основных материалов сварной конструкции, расчет и проектирование сварной конструкции, выбор способа сварки, обоснование выбора сварочных материалов, техника и технология сварки конструкции, выбор сварочного оборудования, расчет параметров режимов сварки и технологической оснастки. В графической части выпускной квалификационной работы представлены: чертеж общего вида изделия; чертежи деталей изделия, схема сборки и сварки изделия; технологические параметры режимов сварки, средства технологического оснащения, расчёт на прочность и работоспособность элемента конструкции корпуса сепаратора в программе «ПАССАТ», контроль качества сварных соединений.

Во время подготовки выпускной квалификационной работы Ганькин В.С. проводил свою работу в соответствии с календарным графиком. При

Аннотация

Выпускная квалификационная работа содержит 89 с., 15 рис., 17 табл., 32 использованных источников, 2 прил. Графическая часть из 7 листов формата А1.

ОБЕЧАЙКА, ДНИЩЕ, СТАЛЬ, СВАРКА, ШОВ, СВАРОЧНАЯ ПРОВОЛОКА, СОЕДИНЕНИЕ, ФЛЮС, КАЧЕСТВО, РЕЖИМЫ СВАРКИ, СВАРОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Объектом проектирования является корпус резервуара для хранения сжиженного газа из стали 09Г2С.

Предметом исследования является процесс сборки и сварки корпус резервуара для хранения сжиженного газа из стали 09Г2С.

Цель работы – разработка технологии сборки и сварки корпус резервуара для хранения сжиженного газа из стали 09Г2С в соответствии с НТД.

Задачи выпускной квалификационной работы:

- а) провести анализ объекта производства, определить назначение и технические требования конструкции;
- б) произвести выбор основных материалов сварочной конструкции;
- в) спроектировать сварную конструкцию;
- г) произвести выбор способов сварки;
- д) разработать технологию сборки и сварки изделия с выбором материалов;
- е) рассчитать режимы сварки с последующим выбором оборудования и средств технологического оснащения;
- ж) назначить методы контроля качества сварных соединений.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Ганькин В.С.				Разработка технологии сборки и сварки корпуса резервуара для хранения сжиженного газа из стали 09Г2С	Лит.	Лист
Провер.	Крюков Д.Б.						Листов
Реценз.							3
Н. Контр.	Хорин А.В.						89
Утверд.	Розен А.Е.					Каф.С/П и М гр.223МОС41	

Содержание

Введение.....	5
1 Анализ объекта производства. Назначение конструкции и технические требования	7
2 Патентный обзор	11
3 Обоснование выбора основных материалов сварной конструкции.....	16
4 Расчет и проектирование сварной конструкции	19
5 Выбор способа сварки	36
6 Обоснование выбора сварочных материалов.....	39
7 Техника и технология сборки и сварки изделия	43
8 Расчет параметров режимов сварки	53
9 Выбор сварочного оборудования и технологической оснастки	67
10 Контроль качества сварных соединений	76
Заключение	85
Список источников	87
Приложение А	91
Приложение Б	107
Приложение В.....	112

Введение

В современной энергетической и нефтехимической промышленности хранение и транспортировка сжиженных углеводородных газов (СУГ) являются критически важными процессами. Использование резервуаров высокого давления требует безупречной надежности конструкций, так как любые дефекты могут привести к техногенным катастрофам. [1].

Сталь марки 09Г2С широко применяется для изготовления сосудов, работающих под давлением, благодаря своей высокой прочности, хорошей свариваемости и способности сохранять механические свойства при низких температурах, что особенно важно для условий эксплуатации в различных климатических зонах России [2].

Объектом проектирования является корпус резервуара для хранения сжиженного газа, состоящий из таких основных элементов, как обечайка и днища, соединенных сварными швами.[3].

Цель работы — разработка оптимальной технологии изготовления сварного корпуса резервуара из низколегированной стали 09Г2С, обеспечивающей требуемую прочность, долговечность и безопасность эксплуатации объекта.

Для достижения поставленной цели в работе решены следующие задачи:

Проведен анализ назначения конструкции и технических требований, предъявляемых к сосудам под давлением.

Выполнен патентно-информационный обзор современных решений в области производства резервуарного оборудования.

Обоснован выбор основного материала (сталь 09Г2С) и произведен расчет конструктивных параметров элементов корпуса (обечайки и днищ).

Выбран и обоснован наиболее эффективный способ сварки (например, автоматическая сварка под флюсом или полуавтоматическая в среде защитных газов), а также подобраны соответствующие сварочные материалы.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Разработана подробная технология сборки и сварки изделия с расчетом оптимальных режимов, обеспечивающих качественное формирование шва и минимальные сварочные деформации.

Выбрано современное сварочное оборудование и технологическая оснастка для автоматизации производственного процесса.

Сформирована система контроля качества на всех этапах производства, включая неразрушающие методы контроля сварных соединений.

Практическая значимость работы заключается в разработке готового технологического процесса изготовления резервуара, который может быть внедрен на предприятиях тяжелого машиностроения, занимающихся производством оборудования для нефтегазового сектора.[4].

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 Анализ объекта производства. Назначение конструкции и технические требования

В рамках данной выпускной квалификационной работы рассматривается технология изготовления корпуса резервуара, предназначенного для работы со сжиженными углеводородными газами. Сосуд полезным объемом 5,25 м³ проектируется из низколегированной конструкционной стали марки 09Г2С. Основное функциональное назначение изделия заключается в обеспечении циклов приема, хранения и выдачи СУГ под номинальным давлением 1,6 МПа. Операции по заполнению и опорожнению емкости осуществляются через специализированный узел — патрубков (поз. 3).

Эксплуатационная надежность конструкции рассчитана на работу в условиях неотапливаемых помещений при существенных температурных колебаниях: от – 45 °С до +100 °С. С учетом специфики среды, степень заполнения внутреннего пространства ограничена 85%. Проектный ресурс изделия составляет 20 лет, что соответствует расчетному количеству циклов нагружения в пределах 1000 единиц.

Таблица 1.1 – Основные размеры корпуса резервуара

Параметр	Объём номинальный, м ³	Внутренний диаметр обечайки, мм	Высота конструкции, мм	Длина обечайки, мм
Значение	5,25	1600,0	3470,0	2000,0

Схематичное изображение и основные конструктивные особенности аппарата представлены на рисунке 1.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

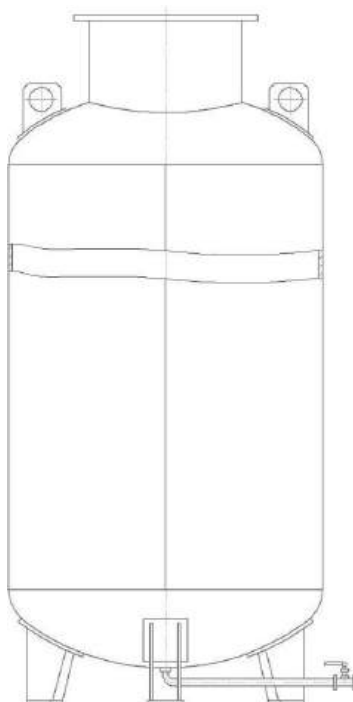


Рисунок 1 – Корпус резервуара для хранения сжиженного газа

Геометрия корпуса представляет собой вертикально ориентированный цилиндр (обечайку), торцы которого герметизированы эллиптическими днищами. Выбор данной конфигурации продиктован необходимостью обеспечения высокой жесткости и равнопрочности сосуда при эксплуатации под внутренним избыточным давлением.

Ключевые конструктивные узлы:

- Цилиндрическая обечайка: центральный сегмент аппарата, формирующий основной полезный объем. Изготавливается из листового проката, толщина которого рассчитана исходя из прочностных характеристик материала и проектного давления среды;
- Эллиптические днища: замыкающие элементы верхней и нижней частей корпуса. Применение эллиптической формы позволяет минимизировать концентрацию напряжений в зонах сопряжения и гарантирует полную эвакуацию содержимого при опорожнении;
- Опорная система: устойчивость вертикальной конструкции обеспечивается тремя точечными опорами (стойками), смонтированными на нижнем днище.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

Данное решение позволяет нивелировать погрешности фундаментного основания;

– Технологический патрубкок предназначен для выполнения операций по наливу/сливу СУГ, а также для интеграции контрольно-измерительной аппаратуры и обвязки трубопроводами;

– Ревизионный люк используется для осуществления дефектоскопии, внутреннего осмотра и ремонтных работ в верхней части сосуда предусмотрен лаз диаметром 700 мм;

– Транспортировочные проушины (скобы): специализированные такелажные элементы, интегрированные в конструкцию для безопасного перемещения, фиксации и монтажа резервуара на объекте, исключая деформацию корпуса при погрузочно-разгрузочных работах.

Проектирование и изготовление сосуда осуществляются в строгом соответствии с актуальной нормативно-технической базой, включая ФНП в области промышленной безопасности [1], а также межгосударственные стандарты ГОСТ 34347-2017 [2] и ГОСТ 31838-2012 [3].

Высокие прочностные характеристики корпуса достигаются за счет применения автоматической сварки под слоем флюса. Сварочные работы выполняются на высокотехнологичном оборудовании персоналом, прошедшим соответствующую аттестацию. Особенностью технологического цикла является повышенный регламент неразрушающего контроля: вместо нормативных 25% каждое изделие проходит тотальную (100%) ультразвуковую дефектоскопию (УЗК) всех сварных соединений.

Подготовка поверхности и антикоррозионная защита:

Перед нанесением защитных ЛКМ наружная поверхность резервуара проходит этап абразивоструйной (дробеструйной) обработки до требуемой степени чистоты. Непосредственно окрашивание производится в специализированных камерах, обеспечивающих стабильные условия сушки и адгезии.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

Завершающим этапом проверки безопасности являются гидравлические испытания на прочность и герметичность. Сосуд подвергается воздействию пробного избыточного давления величиной 2,29 МПа с выдержкой не менее получаса. Критерием успешного прохождения теста является полное отсутствие признаков разгерметизации, «плачущих» швов, течей или отпотевания как в зоне термического влияния сварки, так и в разъемных (фланцевых, резьбовых) соединениях.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2 Патентный обзор

Целью патентного поиска в данной работе является комплексная оценка текущего состояния технологий в сфере изготовления сварных емкостных конструкций. Проведенное исследование направлено на поиск эффективных конструкторских решений и прототипов, а также на изучение инновационного опыта передовых российских предприятий для определения векторов дальнейшей модернизации производства.

Процедура информационного поиска реализована в строгом соответствии с ГОСТ Р 15.011-96 [5] и включает следующие ключевые этапы:

- Определение стратегии поиска: Установление четких критериев отбора технических решений.
- Формирование поискового регламента: Определение глубины ретроспективного анализа (10–15 лет) и географии поиска (РФ, страны ЕС, США, Китай).
- Идентификация кодов МПК: Классификация объекта исследования по международной системе.
- Компаративный анализ: Сравнение найденных аналогов с проектируемой технологией.
- Синтез результатов: Формулирование выводов о технической новизне и целесообразности внедрения инноваций.
- Целью данного исследования является мониторинг передовых методов сборки и сварки корпусов теплообменного оборудования, обеспечивающих повышенную эксплуатационную надежность в химически активных средах.

Дата составления регламента – 15.04.2026.

Объект поиска – стенды для сварки обечаек.

Начало поиска – 15.12 2011

Завершение поиска – 28.05.2026.

Страны поиска – Россия.

В результате проведения поиска было выявлено некоторое количество объектов изобретений по направлению:

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

а) В23К37/04 – Устройство для сборки штуцеров с цилиндрическими изделиями [6].

б) В23Р19/10, В23К37/04 – Роликовый стенд для сборки под сварку обечаек цилиндрического корпуса друг с другом и обечайки цилиндрического корпуса с днищем [7].

в) В23Q3/06 – Вращатель цилиндрических изделий [8].

г) G01N 29/04 – Способ ультразвукового контроля изделий акустическими поверхностными волнами [9].

д) В23К37/00, В23С3/12. –Способ обработки сварных соединений и инструмент для его осуществления [10].

Для проведения дальнейшего анализа были отобраны описания изобретений, представляющих собой полуавтоматические установки применяемых для сборки емкостных аппаратов.

Результаты проведенного поиска отображены в таблице 2.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

Таблица 2 – Результаты поиска патентной информации

Предмет поиска (объект исследования, его составные части)	Страна выдачи и номер охранного документа. Классификационный индекс МПК	Заявитель (патенто- обладатель), страна, номер заявки, дата публикации	Название изобре- тения (полной модели, образца)
1	2	3	4
Технология сборки и сварки емкостного обо- рудования	Россия, Патент № 2005125517/02 B23K37/04	Открытое акционер- ное общество «Вол- гоградский научно- исследовательский и проектный институт технологии химиче- ского и нефтяного аппаратостроения» Номер заявки: 2005125517/02 22.07.2012 г	Устройство для сборки штуцеров с цилиндрическими изделиями [6]
Технология сборки и сварки емкостного обо- рудования	Россия, Патент № 2609600 С1 B23P19/10, B23K37/04	Публичное акцио- нерное общество «Татнефть» им. В. Д. Шашина Номер заявки: 2015131974 02.02.2017 г	Роликовый стенд для сборки под сварку обечаек ци- линдрического кор- пуса друг с другом и обечайки цилиндри- ческого корпуса с днищем [7]

Продолжение таблицы 2

Предмет поиска (объект исследования, его составные части)	Страна выдачи и номер охранного документа. Классификационный индекс МПК	Заявитель (патенто- обладатель), страна, номер заявки, дата публикации	Название изобретения (полной модели, об- разца)
1	2	3	4
Технология сборки и сварки емкостного обо- рудования	Россия, Патент №215674U1 B23K37/04	Константин Алек- сандрович Балоба- нов Номер заявки 2020129154 29.07.2022	Вращатель цилиндри- ческих изделий [8]
Технология сборки и сварки емкостного обо- рудования	Россия, Патент № 2451931 G01N 29/04	Открытое акционер- ное общество «Научно-производ- ственное объедине- ние „Центральный научно-исследова- тельский институт технологии машино- строения“». Номер заявки 2011107035/28A 27.05.2017	Способ ультразвуко- вого контроля изделий акустическими поверх- ностными волнами [9]

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

Продолжение таблицы 2

Предмет поиска (объект исследования, его составные части)	Страна выдачи и номер охранного документа. Классификационный индекс МПК	Заявитель (патенто- обладатель), страна, номер заявки, дата публикации	Название изобре- тения (полной модели, образца)
1	2	3	4
Технология сборки и сварки емкостного обо- рудования	Россия, Патент №2715011 С1 B23K37/00 B23C3/12.	Федеральное госу- дарственное бюджет- ное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Дон- ской государствен- ный технический университет» Номер заявки № 2018134289 22.12.2011	Способ обработки сварных соединений и инструмент для его осуществления [10]

Вывод: в ходе проведения патентного обзора было установлено, что современный уровень техники находится на высоком техническом уровне и развивается.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

3 Обоснование выбора основных материалов сварной конструкции

Выбор основного материала для изготовления корпуса резервуара производился в соответствии с требованиями актуальной нормативной документации: ГОСТ 34347-2017 «Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия» и ГОСТ 31838-2012 «Сосуды и аппараты, работающие под давлением. Газонефтехимическое оборудование. Общие технические требования».

При выборе марки стали учитывался комплекс эксплуатационных и технологических факторов:

Назначение и условия работы: Резервуар предназначен для хранения сжиженного углеводородного газа (СУГ) под избыточным давлением 1,6 МПа.

Температурный режим: Особое внимание уделено способности материала работать в экстремальном диапазоне температур — от минус 45 °С до плюс 100 °С. В условиях отрицательных температур ключевым требованием является сохранение ударной вязкости и сопротивление хладноломкости.

Коррозионная стойкость: Материал должен обеспечивать инертность к воздействию компонентов сжиженного газа и сохранять целостность структуры в течение всего срока службы.

Механические и технологические свойства: Требуется сочетание высокой прочности, пластичности и, что немаловажно для сварной конструкции, хорошей свариваемости без необходимости предварительного подогрева или последующей сложной термической обработки.

На основании анализа вышеуказанных факторов, в качестве основного материала выбрана низколегированная конструкционная сталь марки 09Г2С (по ГОСТ 19281-2014).

На основании требований ГОСТ 34347-2017, Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности для изготовления корпус резервуара выбираем сталь 09Г2С ГОСТ19281-2014 [11], так как разрабатываемый нами резервуар будет работать при температуре минус 45°С.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

Сталь марки 09Г2С относится к низколегированным конструкционным сталям.

Основные характеристики стали 09Г2С

- низкое содержание углерода (до 0,1%), обеспечивающее хорошую пластичность и ударную вязкость.
- легирование марганцем (около 2%) и кремнием (примерно 0,8%), способствующее повышению прочности и устойчивости к коррозии.
- хорошая обрабатываемость резанием и штампуемость.

Минимальной температурой применения (температура наиболее холодной пятидневки региона) является минус 45°C.

Таблица 3 – Химический состав в процентах стали 09Г2С

Элемент	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Fe
Содержание, %	до 0,12	0,5...0,8	1,3...1,7	до 0,3	до 0,025	до 0,035	до 0,3	96,0...97,0

Механические свойства стали 09Г2С представлены в таблице 4.

Выбранная сталь не имеет склонности к хрупкости в местах сварки деталей и узлов, а также сохраняет жесткость.

Таблица 4 – Механические свойства стали 09Г2С при T = 20°C

Параметр	Предел текучести, МПа	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение, %
Значение	265,0...345,0	430,0...640,0	19,0...21,0

Проверим склонность стали 09Г2С к образованию холодных трещин. Расчет произведем по формуле:

$$C_{\text{экв}} = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Si}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{10} \%, \quad (3.1)$$

где C, Mn, Cr, Mo, V, Cu, Ni- массовые доли в стали углерода, марганца, хрома, молибдена, ванадия, никеля и меди соответственно в процентах.

Медь, никель, хром, содержащиеся в сталях как примеси, при расчете не учитывают, если их суммарное содержание не превышает 0,20%.

Для стали 09Г2С эквивалент углерода будет равен:

$$C_{\text{экв}} = 0,12 + \frac{1,5}{20} + \frac{0,3}{15} + \frac{0,3}{10} = 0,245\%$$

Эквивалент углерода для стали 09Г2С находится в интервале до 0,25% , следовательно обладает хорошей свариваемостью.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
						18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4 Расчет и проектирование сварной конструкции

Проектируемый корпус резервуара представлен на рисунке 2.

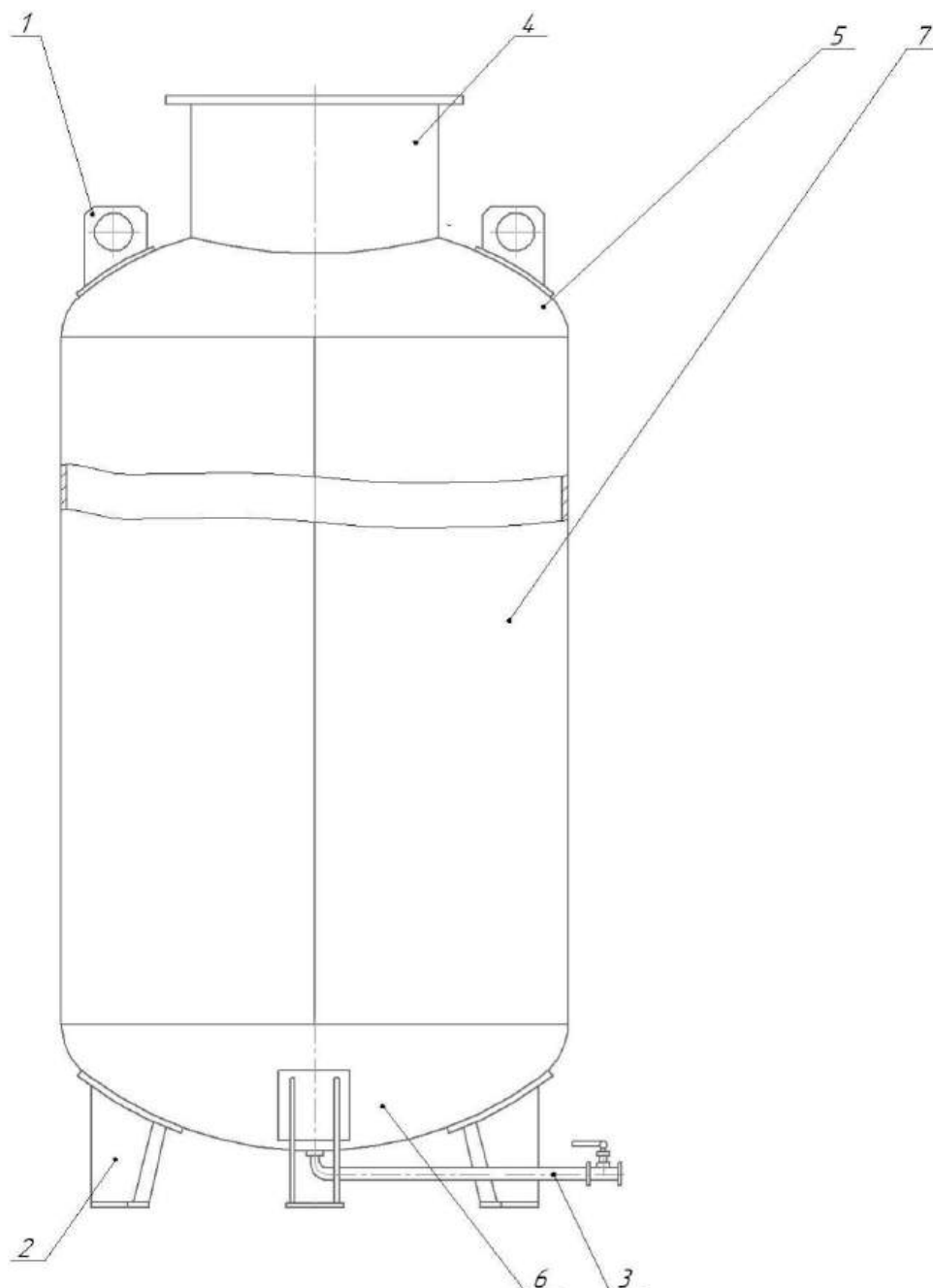


Рисунок 2 – Корпус резервуара: 1-скоба, 2-опора, 3-патрубок, 4-люк, 5- днище, 6-днище, 7-обечайка.

Давление в резервуаре при действии предохранительного клапана определяется по формуле [12]:

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

$$P_k = 1,15 \cdot P_{\text{раб}} \text{ при } 0,3 < P_{\text{раб}} \leq 6,0 \text{ МПа}, \quad (4.1)$$

$$P_k = 1,15 \cdot 1,6 = 1,84 \text{ МПа}.$$

Расчетное давление без учёта гидростатического давления определяется по формуле:

$$P_p = 0,9 \cdot P_k \text{ при } P_{\text{раб}} \leq 6,0 \text{ МПа}, \quad (4.2)$$

$$P_p = 0,9 \cdot 1,84 = 1,66 \text{ МПа}.$$

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:

$$P_r = \rho_c \cdot q \cdot H_c \cdot 10^{-6}, \quad (4.3)$$

где: ρ_c – плотность пропана в резервуаре, кг/м³;

q – ускорение свободного падения, м/с²;

H_c – высота среды в резервуаре, мм.

Тогда,

$$P_r = 585 \cdot 9,81 \cdot 2,89 \cdot 10^{-6} = 0,017 \text{ МПа}.$$

Так как гидростатическое давление среды,

$$P_r = 0,017 < 0,05 \cdot 1,66 = 0,083 \text{ МПа},$$

Так как гидростатическое давление среды составляет менее 5% от рабочего давления то по формуле расчетное давление определяем без учета гидростатического по формуле:

$$P_p = P_{\text{раб}}, \quad (4.4)$$

$$P_p = 1,66 \text{ МПа}.$$

Пробное давление определяется по формуле из ГОСТ34233.1-2017 [6]

$$P_{\text{пр}} = 1,25 \cdot P_p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_{100}}, \quad (4.5)$$

где P_p – расчетное давление сосуда, МПа;

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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

$[\sigma]_{100}$ – допускаемое напряжение для материала резервуара при расчетной температуре 100°C, МПа.

Тогда,

$$P_{\text{пр}} = 1,25 \cdot 1,66 \cdot \frac{196}{177} = 2,29 \text{ МПа}$$

Гидростатическое давление воды в условиях испытания определяем по формуле.

$$P_{\text{Гвод}} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 3,38 \cdot 10^{-6} = 0,033 \text{ МПа.}$$

Так как гидростатическое давление воды

$$P_{\text{Гводы}} = 0,045 < P_{\text{пр}} \cdot 0,05 = 2,11 \cdot 0,05 = 0,11 \text{ МПа}$$

составляет менее 5% от пробного давления, то расчетное давление в условиях испытания $P_{\text{и}}$ определяем без учета гидростатического:

$$P_{\text{и}} = P_{\text{пр}}, \quad (4.6)$$

Тогда расчетное давление в условиях испытаний равно пробному давлению:

$$P_{\text{и}} = 2,29 \text{ МПа}$$

Если выполняется условие

$$P_{\text{и}} < 1,35 \cdot P_{\text{р}} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_{100}}, \quad (4.7)$$

то расчет на прочность в условиях испытаний проводить не требуется

Проверяем необходимость расчета на прочность в условиях испытания

$$2,29 < 1,35 \cdot 1,66 \cdot \frac{196}{177} = 2,48 \text{ МПа}$$

Условие выполняется, следовательно, расчет на прочность в условиях испытаний проводить не требуется.

Рассчитаем толщину стенки обечайки по ГОСТ34233.2-2017 [13]

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$S \geq S_p + c, \quad (4.8)$$

где: S_p – расчетная толщина стенки, мм

c – сумма прибавок к расчетной толщине стенки, мм;

По безмоментной теории расчёта оболочек рассчитываем толщину стенки по формуле:

$$S = \frac{P_{\text{рас}} \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_R - P_{\text{рас}}}, \quad (4.9)$$

где: $P_{\text{рас}}$ - расчетное давление, МПа;

D - диаметр корпуса, мм;

φ_R - коэффициент прочности сварных швов обечайки;

$$S = \frac{1,66 \cdot 1600}{2 \cdot 177 \cdot 1 - 1,66} = 7,54 \text{ мм}$$

Прибавка к расчетной толщине стенки определяется по формуле:

$$c = C_1 + C_2 + C_3, \quad (4.10)$$

где C_1 – прибавка на компенсацию коррозии, мм;

C_2 – прибавка для компенсации минусового допуска, мм;

C_3 – технологическая прибавка, мм.

Прибавка для компенсации коррозии C_1 определяем по формуле:

$$C_1 = E_1 \cdot \tau, \quad (4.11)$$

где, E_1 – скорость коррозии, мм/год;

τ – срок службы изделия, лет

$$C_1 = 0,05 \cdot 20 = 1,0 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки без прибавки для компенсации минусового допуска S_1 вычисляется по формуле:

$$S_1 = S_p + C_1, \quad (4.12)$$

Подставляем известные значения в формулу.

$$S_1 = 7,54 + 1 = 8,54 \text{ мм}$$

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

Предварительно принимаем лист толщиной 9 мм.

Прибавка для компенсации минусового допуска определяется по ГОСТ 19903–2015 [14] и при толщине проката от 7,5 до 10 мм составляет $c_2 = 0,8$ мм.

Проверяем необходимость учёта прибавки для компенсации минусового допуска C_2 по формуле:

$$C_2 = 0,8 > 0,05 \cdot S_1, \quad (4.13)$$

Подставляем известные значения в формулу:

$$C_2 = 0,8 > 0,05 \cdot 9 = 0,45 \text{ мм}$$

Прибавка C_2 учитывается, так как составляет более 5% от толщины листа, согласно ГОСТ 34233.2-2017.

Прибавка к расчетной толщине стенки определяется по формуле 4.10.

$$c = 1 + 0,8 + 0 = 1,8 \text{ мм}$$

Определяем толщину стенки обечайки по формуле 4.12.

$$S = 7,54 + 1,8 = 9,34 \text{ мм}$$

Принимаем лист толщиной 10 мм

Допускаемое давление рассчитываем по формуле:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (S - C)}{D + (S - C)}, \quad (4.14)$$

$$[p] = \frac{2 \cdot 177 \cdot 1 \cdot (10 - 1,8)}{1600 + (10 - 1,8)} = 1,8 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполняется

$$p = 1,66 < [p] = 1,8$$

Проверяем условие применения расчетных формул

$$\frac{S - C}{D} = \frac{10 - 1,8}{1600} = 0,005 < 0,1$$

Определяем величину развёртки обечайки определяется по формуле:

$$L_p = \pi \cdot \left(D_{\text{вн}} + S + \frac{a}{2} \right) - b_1 - b_2, \quad (4.15)$$

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
						23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где L_p - длина развёртки обечайки, мм;

$D_{\text{вн}}$ - внутренний диаметр обечайки, мм;

a - 1% от внешнего диаметра.

b_1 - припуск на зазор, мм;

b_2 - припуск на механическую обработку, мм.

$$L_p = \pi \cdot \left(1600 + 10 + \frac{16,2}{2} \right) - 2 - 2 = 5077 \text{ мм}$$

В качестве заготовки используем лист 6000x2000x10 по ГОСТ 19903-2015.

Выбор основных геометрических размеров днища проводится в соответствии с ГОСТ 6533-78 [15].

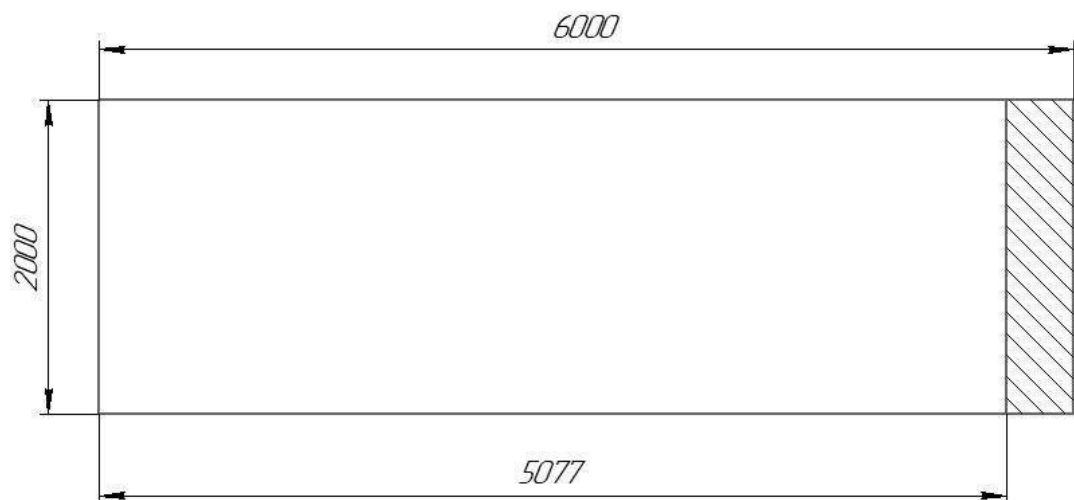


Рисунок 3 – Раскрой выбранного листа для обечайки

Рассчитаем толщину стенки днища по ГОСТ34233.2-2017

$$S_d \geq \delta_d + c, \quad (4.16)$$

где, δ_d - расчетная толщина стенки, мм;

c – сумма прибавок к расчетной толщине стенки, мм.

Расчётную толщину стенки эллиптических днищ определяем по формуле:

$$\delta_d = \frac{P_p \cdot R}{2\phi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot P_p}, \quad (4.17)$$

где R – радиус кривизны в вершине днища, мм;

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

φ – коэффициент для днищ в зависимости от формы.

Радиус кривизны в вершине днища рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{D^2}{4H_{\text{д}}}, \quad (4.18)$$

Размер $H_{\text{д}}$ рассчитывается по формуле:

$$H_{\text{д}} = 0,25 \cdot D, \quad (4.19)$$

$$H_{\text{д}} = 0,25 \cdot 1600 = 400 \text{ мм}$$

$$R = \frac{1600^2}{4 \cdot 400} = 1600 \text{ мм}$$

$$S = \frac{1,66 \cdot 1600}{2 \cdot 1 \cdot 177 - 0,5 \cdot 1,66} = 7,52 \text{ мм}$$

Толщину стенки днища определяем по формуле 4.16.

$$S_{\text{д}} = 7,52 + 1,8 = 9,32 \text{ мм}$$

Принимаем толщину стенки днища $S=10$ мм, так как это значение является ближайшем по ГОСТ 6533-78.

Проверяем условие применения расчетных формул:

$$0,002 \leq \frac{S - C}{D} \leq 0,1 \quad (4.20)$$

$$0,002 \leq 0,0051 \leq 0,1$$

Условие выполняется

Определяем диаметр исходной заготовки из листа по формуле, приведённой в ГОСТ 6533-78:

$$D = 2 \cdot \sqrt{(D_B + s) \cdot (h_1 + 0,345 \cdot \xi \cdot (D_B + s))}, \quad (4.21)$$

где, D_B - внутренний диаметр днища, мм;

s - толщина стенки днища, мм;

h_1 - высота отбортовки днища, мм;

ξ - коэффициент, который выбирается в зависимости от отношения $\frac{D_H}{s}$.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
						25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Тогда:

$$D = 2 \cdot \sqrt{(1600 + 10) \cdot (40 + 0,345 \cdot 1,002 \cdot (1600 + 10))} = 1960 \text{ мм}$$

Заготовка для одного днища будет иметь размеры 2000х2000 из сортового проката по ГОСТ 19903–2015. Принимаем: два стандартных листа 2000х2000х10 мм.

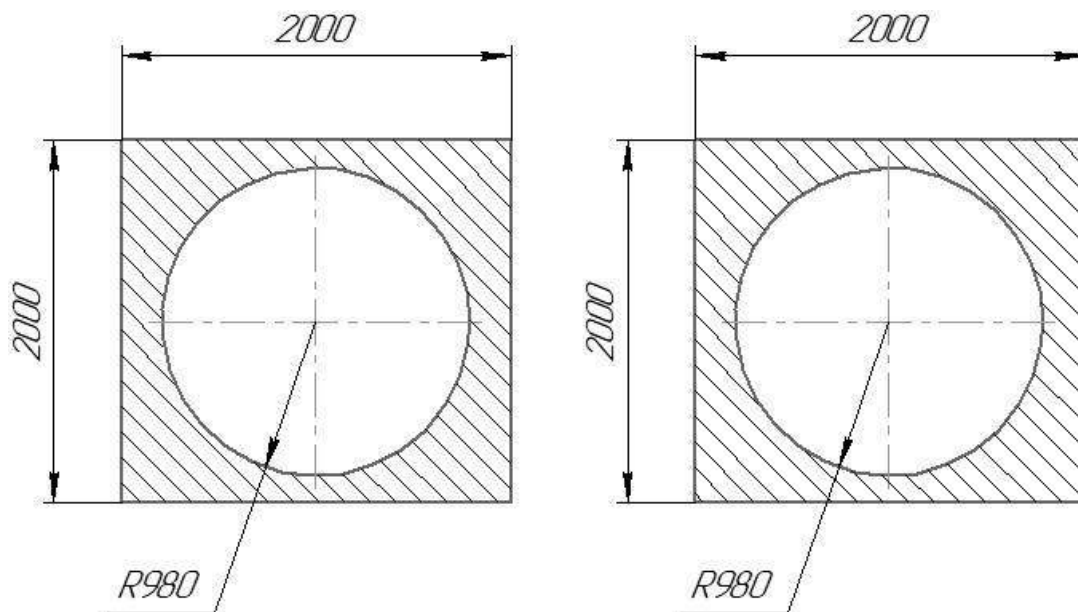


Рисунок 4 – Раскрой выбранных листов для днищ листов

Расчёт укрепления отверстия проводится согласно ГОСТ 34233.3-2017 [16]: при внутреннем давлении, равным $P = 1,66 \text{ МПа}$. Схема укрепление отверстия накладным кольцом изображена на рисунке 5.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

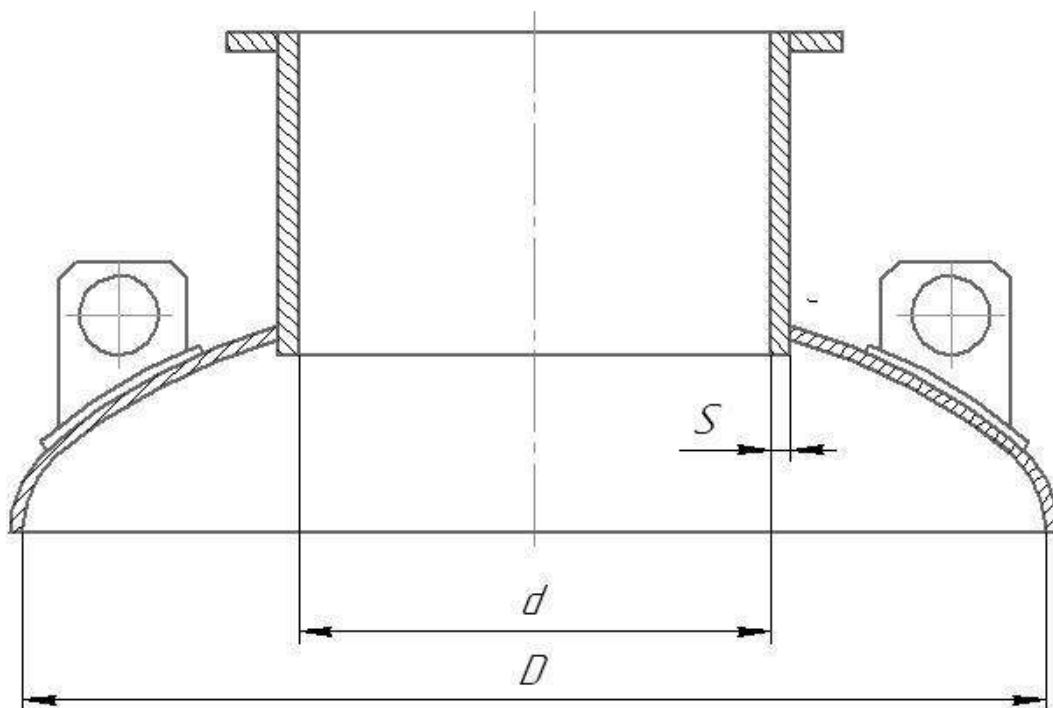


Рисунок 5 – Укрепление отверстия накладным кольцом

Расчётный внутренний диаметр укрепляемого элемента определяется по формуле:

$$D_p = 2D \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{x}{D}\right)^2}, \quad (4.22)$$

где, D – внутренний диаметр днища, мм.

X – расстояние от центра укрепляемого отверстия до оси эллиптического днища, мм,

$$D_p = 2 \cdot 1600 \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{0}{1600}\right)^2} = 3200 \text{ мм.}$$

Расчётный диаметр отверстия определяется по формуле:

$$d_p = d + 2 \cdot c_s, \quad (4.23)$$

где c_s – сумма прибавок к расчётной толщине стенки штуцера, мм;

d – внутренний диаметр штуцера, мм;

$$d_p = 700 + 2 \cdot 1,8 = 703,6 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки штуцера определяется по формуле:

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

$$S_{1p} = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi - p}, \quad (4.24)$$

и равна:

$$S_{1p} = \frac{1,66 \cdot (700 + 2 \cdot 1,8)}{2 \cdot 177 \cdot 1 - 1,66} = 3,31 \text{ мм}$$

Фактическое значение толщины стенки штуцера будет равно:

$$S = S_{1p} + c, \quad (4.25)$$

$$S = 3,31 + 1,8 = 5,1 \text{ мм}$$

Принимается значение толщины штуцера равной $S_1 = 6 \text{ мм}$

По АТК 24.218.06-90 [17] учитывая рабочее давление 1,6 МПа выбираем штуцер с толщиной стенки 12 мм.

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления по формуле:

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{S - c}{S_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (S - c)}, \quad (4.26)$$

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{12 - 1,8}{3,31} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{3200 \cdot (12 - 1,8)} = 1113,7 \text{ мм}$$

Так как $d_p < d_0$ отверстие не нуждается в укреплении

Произведем расчет сварных швов на прочность. Схема сварки корпуса резервуара изображена на рисунке 6.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
						28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

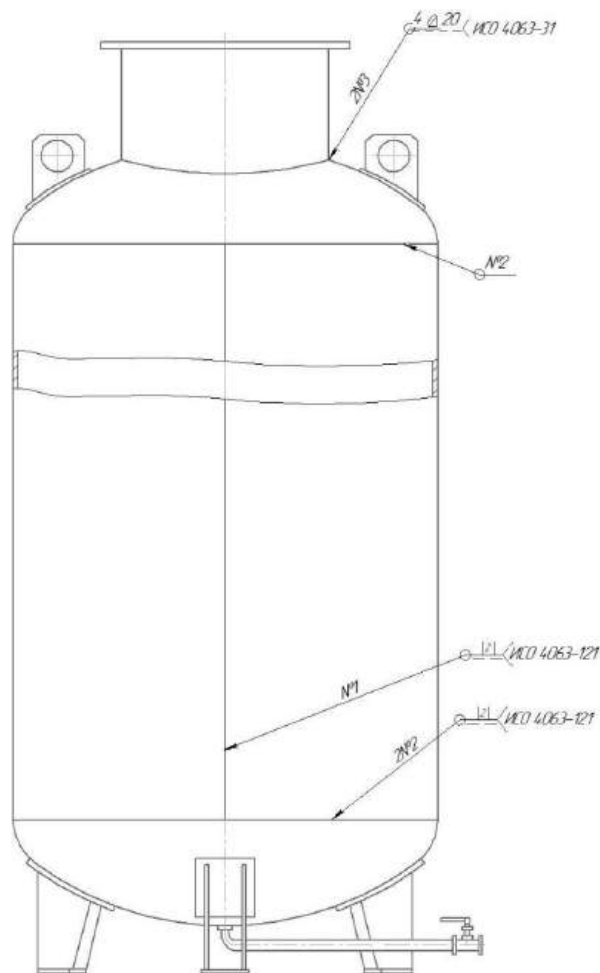


Рисунок 6 – Схема сварки корпуса резервуара

В конструкции корпуса резервуара рассмотрим три основных соединения:

– 1 продольный стыковой шов (является формообразующим соединением обечайки);

– 2 кольцевых (соединяющее обечайку с днищами);

– 2 угловых (соединяющие патрубок с днищем и люк с обечайкой);

Для кольцевого шва №2 по ГОСТ 8713-79 [18] при толщине стенок обечайки и днищ равной 10 мм выбираем соединение С29, изображённое на рисунке 7.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

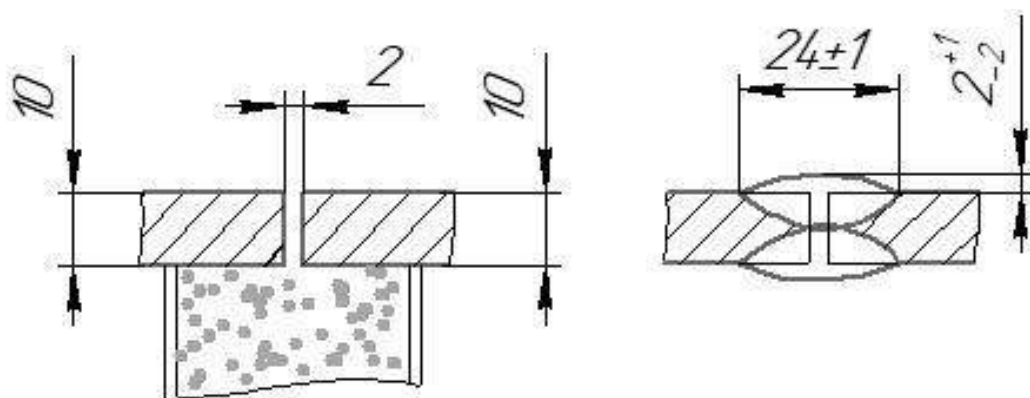


Рисунок 7 – Соединение типа С29 ГОСТ 8713–79.

Проверку прочности сварных соединений днища и обечайки считаем выполненной, если выполняется условие [19]:

$$\sigma \leq [\sigma], \quad (4.27)$$

где σ – напряжение в сварном соединении, МПа;

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

Напряжение в сварном соединении σ определяем по формуле:

$$\sigma = \frac{N}{F}, \quad (4.28)$$

где, N – продольная нагрузка, растягивающая шов, МПа;

F – площадь поперечного сечения шва, мм²

Продольную нагрузку N рассчитываем по формуле:

$$N = P_{\text{рас}} \cdot T, \quad (4.29)$$

где $P_{\text{рас}}$ – расчетное давление, МПа

T – расчетная площадь поверхности, на которую действует избыточное давление в резервуаре, определяем по ГОСТ 6533-78.

Подставляем известные значения в формулу:

$$N = 1,66 \cdot 2980000 = 4946800 \text{ Н}$$

Площадь поперечного сечения шва определяется по формуле:

$$F_{\text{ш}} = \delta \cdot L_{\text{ш}}, \quad (4.30)$$

где, $L_{\text{ш}}$ – длина сварного шва, мм

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

δ – толщина шва, мм.

Длину рассчитываемого сварного шва $L_{ш}$ определяем по формуле:

$$L_{ш} = \pi d_{ш} - 10, \quad (4.31)$$

где $d_{ш}$ – наружный диаметр шва.

$$L_{ш} = 3,14 \cdot 1620 - 10 = 5077 \text{ мм}$$

Подставляем известные значения в формулу 4.30

$$F_{ш} = 10 \cdot 5077 = 50770 \text{ мм}^2$$

$$\sigma = \frac{4946800}{50770} = 97,44 \text{ МПа}$$

Проверяем выполнение условия:

$$97,44 \leq 177$$

Условие выполняется, следовательно, шов работоспособен.

Для продольного шва обечайки №1, выполняемого автоматической сваркой под слоем флюса, изображенного на рисунке 8, применяем соединение типа С29

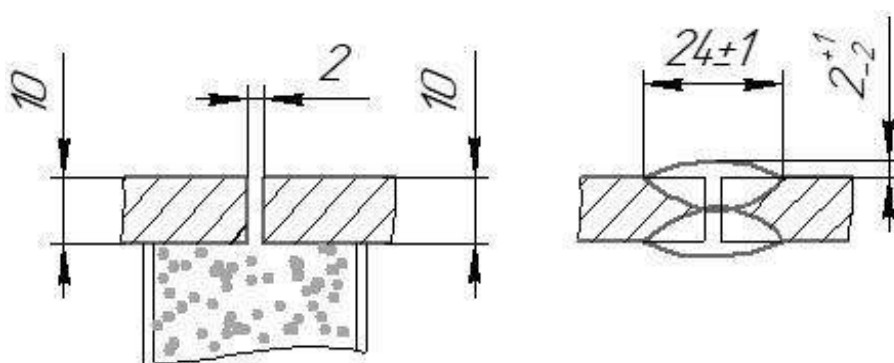


Рисунок 8 – Соединение типа С29 ГОСТ 8713–79.

Расчёт на прочность которого ведётся по формуле [20]:

$$\sigma_{ш} = \frac{N}{F_{ш}} \leq [\sigma], \quad (4.32)$$

где N – растягивающая сила, МПа;

$F_{ш}$ – площадь поперечного сечения шва, мм².

Растягивающая сила N будет определяться по формуле:

$$N = P_{пр} \cdot \Pi, \quad (4.33)$$

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

где Π – расчетная площадь поверхности, на которую действует избыточное давление, определяется по формуле:

$$\Pi = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \frac{d_{\text{ш}}^2}{4}, \quad (4.34)$$

$$\Pi = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \frac{1620^2}{4} = 1030077 \text{ мм}^2$$

Определяем растягивающие усилия N подставив полученные и известные значения по формуле:

$$N = 1,66 \cdot 1030077 = 1709927,82 \text{ Н}$$

Площадь металла шва $F_{\text{ш}}$ определяется по формуле:

$$F_{\text{ш}} = a \cdot b, \quad (4.35)$$

где a – длина шва, мм;

b – толщина шва, мм.

Подставляем известные значения в формулу:

$$F_{\text{ш}} = 2000 \cdot 10 = 20000 \text{ мм}^2$$

Обладая всеми необходимыми данными определим прочность сварного шва:

$$\sigma_{\text{ш}} = \frac{1709927,82}{20000} = 85,5 \text{ Н/мм}^2.$$

$$\sigma_{\text{ш}} = 85,5 \leq 177 \text{ Н/мм}^2.$$

Условие выполняется, следовательно, шов работоспособен.

Произведем расчет на прочность сварного шва №3, соединение У12 РД 26-18-8-89 [20] соединяющий люк с обечайкой, изображено на рисунке 9.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

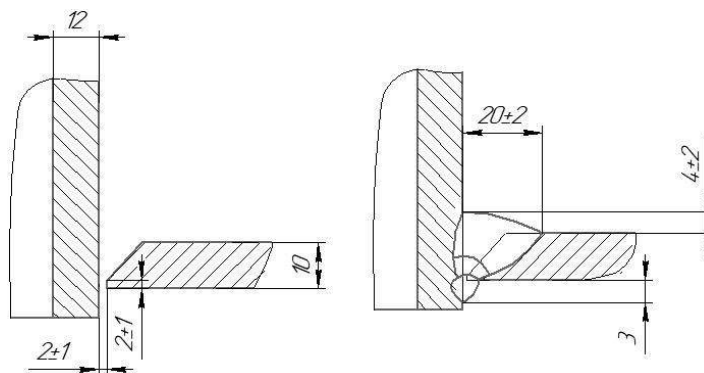


Рисунок 9 – Сварное соединение типа У12 РД 26-18-8-89

Расчет угловых соединений проводим по формуле:

$$\tau = \frac{N}{\sum F} \leq [\sigma], \quad (4.36)$$

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

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

Площадь поперечного сечения F для угловых швов рассчитывается по формуле:

$$F = \beta \cdot h_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}}, \quad (4.37)$$

где β – коэффициент определения расчетной толщины углового шва;

$h_{\text{ш}}$ – толщина углового шва, мм;

$L_{\text{ш}}$ – длина сварного шва, мм.

Длина сварного шва $L_{\text{ш}}$ определяется по формуле:

$$L_{\text{ш}} = \pi d_{\text{ш}} - 10, \quad (4.38)$$

где $d_{\text{ш}}$ – наружный диаметр люка, мм.

$$L_{\text{ш}} = 3,14 \cdot 724 - 10 = 2263 \text{ мм}$$

Для шва с наружной стороны обечайки величину $h_{\text{ш}}$ определяем по формуле:

$$h_{\text{ш}} = \sqrt{e^2 + g^2}, \quad (4.39)$$

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

где, e, g -размеры шва, мм.

$$h_{ш} = \sqrt{20^2 + 4^2} = 20,4 \text{ мм}$$

Определяем площадь поперечного сечения для шва с наружной стороны по формуле 4.37.

$$F_{HC} = 0,7 \cdot 20,4 \cdot 2263 = 32309,4 \text{ мм}^2$$

Для шва с внутренней стороны величину $h_{ш}$ определяем по формуле:

$$h_{ш} = \kappa, \quad (4.40)$$

где, κ – размер шва, мм.

$$h_{ш} = 3 \text{ мм}$$

Определяем площадь поперечного сечения для шва с внутренней стороны по формуле 4.37.

$$F_{BC} = 0,7 \cdot 3 \cdot 2263 = 4752,3 \text{ мм}^2$$

Сумма площадей двух швов соединения У12 рассчитывается по формуле:

$$\sum F = F_{HC} + F_{BC}, \quad (4.41)$$

$$\sum F = 32309,4 + 4752,3 = 37061,7 \text{ мм}^2$$

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

$$[\tau] = (0,5 \dots 0,65) \cdot [\sigma], \quad (4.42)$$

$$[\tau] = (0,5 \dots 0,65) \cdot 177 = 88 \dots 115 \text{ МПа}$$

Сила среза N будет определяться по формуле:

$$N = P_{пр} \cdot \Pi, \quad (4.43)$$

где, Π – расчётная площадь поверхности

Расчётная площадь поверхности Π для люка определяем по формуле:

$$\Pi = \pi \cdot \frac{d_{ш}^2}{4}, \quad (4.44)$$

$$\Pi = \pi \cdot \frac{724^2}{4} = 411478,2 \text{ мм}^2$$

Тогда,

$$N = 1,66 \cdot 411478,2 = 683053,7 \text{ Н}$$

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

Обладая необходимыми данными определяем напряжение среза углового сварного соединения:

$$\tau = \frac{683053,4}{37061,7} = 18,43 \leq 88 \text{ МПа}$$

Условие выполняется, следовательно, шов работоспособен.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
						35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

5 Выбор способа сварки

Для изготовления продольных и кольцевых стыковых швов обечайки резервуара (толщина стенки 10 мм) выбран метод автоматической сварки под слоем флюса. Данный выбор обусловлен совокупностью технологических и экономических факторов, соответствующих условиям серийного производства:

– В условиях серийного выпуска критически важна скорость наплавки. Применение больших сварочных токов (от 400 до 700 А) в автоматическом режиме позволяет выполнять сварку 10-миллиметрового металла за один или два прохода с высокой скоростью, что в 3–5 раз превышает эффективность ручной дуговой сварки;

– Глубокое проплавление и сварка без разделки. Мощная дуга под флюсом обеспечивает значительную глубину проплавления. Можно вести сварку без предварительной разделки кромок. Метод АФф/АФ позволяет получить качественный корень шва при толщине 10 мм (например, при двухсторонней сварке), что минимизирует затраты на механическую подготовку кромок и снижает расход присадочного металла;

– В серийном производстве необходимо исключить «человеческий фактор». Автоматизация процесса гарантирует неизменность параметров режима (силы тока, напряжения, скорости) по всей длине шва. Это критически важно для сосудов, работающих под давлением 1,6 МПа, так как обеспечивает герметичность и однородность структуры металла шва;

– Несмотря на высокую стоимость оборудования, в серийном производстве оно быстро окупается за счет снижения доли брака, отсутствия брызг металла (высокий коэффициент использования электродной проволоки) и минимальных затрат на последующую зачистку швов;

– Флюс обеспечивает наиболее надежную изоляцию расплавленного металла от атмосферного воздуха, что способствует получению плотных швов с высокими показателями пластичности и ударной вязкости (важно для работы при температуре до 100°C).

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

Таблица 5 – Сравнение АФ с альтернативными методами

Параметр сравнения	Автоматическая под флюсом	Полуавтоматическая в среде в среде защитных газов
Глубина провара	Максимальная (подходит для 10 мм без разделки)	Ограниченная (может потребоваться разделка)
Качество защиты	Отличное (шлаковая корка + флюс)	Зависит от газовой защиты и сквозняков
Вид шва	Гладкий, с плавным переходом к основному металлу	Наличие брызг, требуется зачистка
Экономика	Выгодно при больших сериях и длинных швах	Выгодно при коротких швах сложной формы

Выберем способ сварки для угловых, тавровых и нахлесточных швов резервуара.

При толщине стенок до 10 мм использование ручной сварки ведет к чрезмерному количеству проходов, высокому риску непроваров и шлаковых включений. Это критично для аппарата, работающего под давлением 1,6 МПа. Также РДС увеличивает трудоемкость и себестоимость изделия.

Несмотря на идеальное качество, применение автоматической сварки под флюсом для узлов Б и Г (патрубки и опоры) технически затруднено. Малый радиус кривизны швов патрубков и необходимость сварки в различных пространственных положениях делают настройку автомата нецелесообразной и экономически невыгодной из-за длительных подготовительных операций.

Преимущества выбранного способа () для данного проекта.

а) Универсальность для узлов сложной формы: Полуавтомат позволяет оперативно выполнять сварку коротких прерывистых и кольцевых швов малого диаметра, сохраняя при этом высокую скорость наплавки.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

б) В отличие от сварки под флюсом, оператор видит дугу и формирование валика, что критически важно при сборке опорных конструкций и нахлесточных соединений.

в) Сокращение времени на зачистку швов от шлака и возможность автоматизации процесса в дальнейшем (при использовании сварочных кареток).

Таблица 6 – Сравнение полуавтоматической сварки с альтернативными методами

Параметр сравнения	Ручная дуговая	Автоматическая под флюсом	Полуавтоматическая в среде в среде защитных газов
Производительность	Низкая (высокая доля вспомогательного времени)	Максимальная (только для прямых/молинейных/кольцевых швов)	Высокая (в 2-3 раза выше, чем у РДС)
Маневренность	Высокая (сварка в труднодоступных местах)	Низкая (громоздкое оборудование)	Высокая (оптимально для коротких и криволинейных швов)
Качество шва	Зависит от «руки» сварщика, риск дефектов	Стабильно высокое, глубокое проплавление	Стабильное, хорошая визуализация сварочной ванны
Сложность оснастки	Минимальная	Требуются сложные манипуляторы и флюсовое хозяйство	Средняя (баллоны, подающий механизм)

Для изготовления вспомогательных узлов резервуара (приварка штуцеров, опорных лап, элементов люка-лаза) выбран метод полуавтоматической сварки плавящимся электродом в среде защитных газов. Данный выбор обусловлен необходимостью баланса между высокой производительностью и маневренностью горелки при работе со сложной геометрией швов.

6 Обоснование выбора сварочных материалов

Согласно рекомендациям стандарта СТО 00220368-012-2008[14], наиболее целесообразно применять сварочную проволоку марки Св-08ГА совместно с флюсом типа АН-348А.

Выбор комбинации Св-08ГА + АН-348А для сварки 09Г2С в условиях Крайнего Севера (ниже -40°C) обусловлен необходимостью получения специфической микроструктуры металла шва, которая сохраняет вязкость при отрицательных температурах.

Сталь 09Г2С относится к категории низколегированных кремнемарганцовистых сталей. Проволока Св-08ГА (с пониженным содержанием углерода и контролируемым марганцем) в сочетании с высококремнистым марганцевым флюсом АН-348А обеспечивает оптимальный баланс легирования шва. В процессе сварки происходит активное взаимодействие металла с флюсом, что позволяет минимизировать количество неметаллических включений. Стабилизировать содержание марганца, который является основным элементом, отвечающим за хладостойкость в данной системе.

Ключевым фактором работы шва при низких температурах является его микроструктура. Сочетание указанных материалов при автоматической сварке под флюсом способствует образованию игольчатого (акцикулярного) феррита. В отличие от крупнозернистого полигонального феррита, игольчатая структура эффективно блокирует развитие хрупких трещин. Это позволяет металлу шва сохранять значения ударной вязкости на уровне, превышающем требования СТО и ГОСТ.

Согласно стандарту СТО 00220368-012-2008, критически важна чистота шва по сере и фосфору. Проволока Св-08ГА имеет жесткие допуски по этим элементам. Флюс АН-348А, обладая хорошими рафинирующими свойствами, дополнительно очищает сварочную ванну. Низкое содержание примесей предотвращает хладноломкость – резкое падение пластичности при переходе через порог -40°C .

Химический состав сварочной проволоки Св-08ГА представлен в таблице 7.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
						39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 7 – Химический состав проволоки Св-08ГА ГОСТ 2246–70

Марка проволоки	Химический состав, %, не более							
	C	Si	Mn	Ni	Cr	N	S	P
Св-08ГА	0,07-0,12	0,12-0,35	0,4-0,7	1-1,5	до 0,2	до 0,01	до 0,025	до 0,02

Флюс АН-348А является кислым, марганце-силикатного типа и может применяться только для сварки с кремний- и марганцесодержащими проволоками. По химический состав используемого флюса приведен в таблице 8.

Таблица 8 –Химический состав флюса АН-348А ГОСТ Р 52222–2004 [21]

Марка флюса	Химический состав, %, не более						
	SiO ₂	MnO	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	CaF ₂	Fe ₂ O ₃
АН-348А	40,0...44,0	31,0...38,0	до 12,0	до 7,0	до 13,0	3,0...6,0	0,5...2,2

Для усиления доказательной базы приведем сравнение химического состава стали 09Г2С и наплавленного металла, образующегося при связке Св-08ГА + АН-348А. Основная цель этой комбинации – получить в шве состав, максимально близкий к основному металлу по марганцу, но с более низким содержанием углерода для повышения вязкости.

Выбор проволоки Св-08Г2С для механизированной сварки в среде СО₂ согласно СТО 00220368-012-2008 продиктован необходимостью компенсации выгорания легирующих элементов и обеспечения равнопрочности соединения.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

Таблица 9 – Сравнительная таблица химического состава

Элемент	Сталь 09Г2С ГОСТ 19281	Проволока Св-08ГА ГОСТ 2246	Типичный наплавленный металл (Св-08ГА + АН-348А)	Роль в хладостойкости
Углерод (С)	0,08 – 0,12	≤ 0,10	0,06 – 0,09	Низкий С снижает риск хрупкого разрушения при -40°С.
Марганец (Mn)	1,30 – 1,70	0,80 – 1,10	1,10 – 1,40	Флюс АН-348А (марганцевый) легирует шов, обеспечивая прочность и вязкость.
Кремний (Si)	0,50 – 0,80	≤ 0,06	0,20 – 0,40	Кремний из флюса раскисляет ванну, удаляя микропоры и включения.
Сера (S)	≤ 0,035	≤ 0,025	≤ 0,025	Низкое содержание исключает красноломкость и дефекты.
Фосфор (P)	≤ 0,030	≤ 0,030	≤ 0,030	Предотвращает склонность к хладноломкости.

Углекислый газ по ГОСТ 8050–85 [17] является активным защитным газом, который при высоких температурах дуги диссоциирует с выделением свободного кислорода. Кислород активно окисляет марганец и кремний в сварочной ванне.

Проволока Св-08Г2С содержит повышенное количество этих элементов. Это позволяет не только раскислить металл (предотвратить пористость), но и восстановить химический состав шва до уровня основного металла 09Г2С.

Согласно СТО 00220368-012-2008, сварные швы должны сохранять ударную вязкость при температурах до -40°C и ниже. Марганец в составе проволоки способствует измельчению зерна феррита. Кремний обеспечивает необходимую плотность и чистоту наплавленного металла. В результате формируется структура, способная сопротивляться хрупкому разрушению в условиях климата Крайнего Севера.

Механизированная сварка проволокой Св-08Г2С обеспечивает:

- Минимальное разбрызгивание металла, что критично для чистоты поверхности резервуаров;
- Высокую плотность шва, исключаящую наличие микротрещин и непроваров, которые недопустимы по СТО при работе с сосудами под давлением;
- Плавный переход от шва к основному металлу, что снижает концентрацию напряжений.

Проволока Св-08Г2С является наиболее универсальной и доступной проволокой, аттестованной НАКС для сварки низколегированных сталей. Её применение гарантирует стабильность механических свойств шва при серийном производстве металлоконструкций. Химический состав Св-08Г2С представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Химический состав проволоки Св-08Г2С ГОСТ 2246–70

Марка проволоки	Химический состав, %, не более							
	C	Si	Mn	Ni	Cr	N	S	P
Св-08Г2С	0,05-0,11	0,7-0,95	1,8-2,1	0,25	до 0,2	до 0,01	до 0,025	до 0,03

Примечания: *C* – углерод; *Si* – кремний; *Mn* – марганец; *Cr* – хром;

Ni – никель; *S* – сера; *P* – фосфор.

Вывод: Применение проволоки Св-08Г2С в среде углекислого газа позволяет получить сварное соединение, полностью идентичное по своим эксплуатационным характеристикам стали 09Г2С, что является обязательным требованием отраслевого стандарта для северного исполнения.

7 Техника и технология сварки изделия

Технологический процесс изготовления включает в себя следующие заготовительные операции:

- а) правка листов.
- б) резка.
- в) гибка обечаек.
- г) штамповка днищ.

Автоматическая сварка под флюсом стыковых швов с применением роликового вращателя и сварочного трактора на велотележке – это высокопроизводительный метод, обеспечивающий идеальную геометрию и качество шва за счет стабилизации скорости и параметров дуги.

Установка обечайки: готовая цилиндрическая обечайка укладывается на секции вращателя. Ролики предварительно выставляются по межосевому расстоянию в зависимости от диаметра резервуара. Велотележка (самоходная платформа) позиционируется параллельно стыку. На ней жестко фиксируется сварочный трактор, бункер с флюсом и кассета с проволокой.

Для обеспечения качественного провара и принудительного формирования обратного валика с внутренней стороны обечайки под сварочный стык устанавливается флюсовая подушка. Плотное прижатие устройства к кромкам (пневматическим зажимом) предотвращает вытекание расплавленного металла из сварочной ванны и исключает образование прожогов при автоматической сварке первого прохода.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

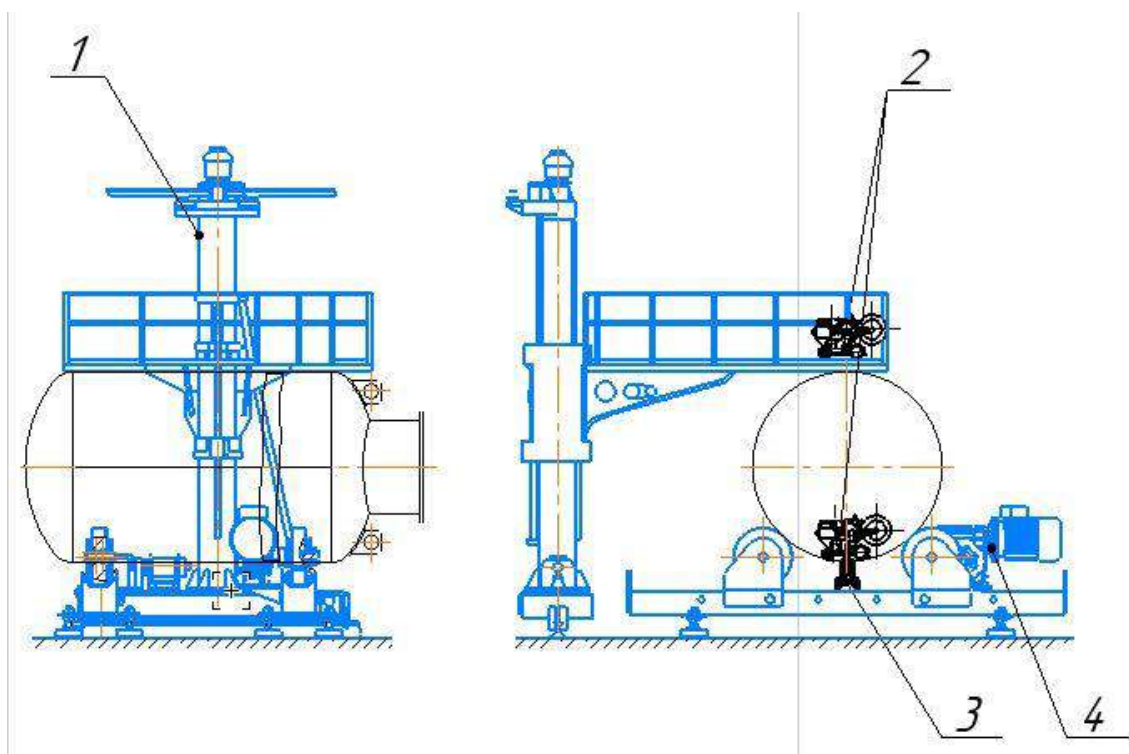


Рисунок 10 – Установка для автоматической сварки корпуса резервуара для хранения сжиженного газа: 1 – Велотележка ВТ-26, 2 – трактор сварочный

АДФ-1000, 3 – подушка флюсовая, 4 – вращатель роликовый УРАЛ-СВР-Б-3000-1000.

1. Сборка и сварка продольного шва обечайки при соединении С29 по ГОСТ8713-79

Перед сборкой осуществляется механическая зачистка кромок и прилегающих к ним зон (шириной не менее 20 мм с каждой стороны) до металлического блеска. Удаляются следы окалины, масла и влаги для исключения появления. Сборка производится на специализированном стенде с применением следующих переходов:

- Стяжка и центровка: С помощью винтовых струбцин осуществляется сведение кромок обечайки.

- Установка зазора: С помощью мерного щупа выставляется равномерный сварочный зазор величиной 2 мм по всей длине стыка. Данный зазор необходим для обеспечения полного проплавления при сварке соединения С29.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

– Прихватка: После фиксации геометрии выполняются электроприхватки ручной дуговой сваркой материалами, идентичными по составу основной проволоке. Прихватки обеспечивают жесткость конструкции при перемещении к сварочному автомату.

– Установка технологических планок: К торцам обечайки привариваются вводные и выводные планки. Они необходимы для вывода нестабильных участков шва (начало дуги и кратер) за пределы основного изделия.

Сварка осуществляется сварочным трактором в два прохода с поворотом изделия.

Внутренний шов (первый проход): Под продольный стык устанавливается и плотно поджимается флюсовая подушка. Она обеспечивает удержание сварочной ванны и принудительное формирование обратного валика, исключая протекание расплава и прожоги. Сварка выполняется трактором, движущимся внутри обечайки. Проволока Св-08ГА диаметром 4 мм. Флюс: АН-348А (для обеспечения высокой ударной вязкости, что важно для сжиженного газа).

Перекантовка: По завершении первого прохода производится кантовка обечайки на роликовом вращателе на 180° для позиционирования стыка под наружную сварку.

Наружный шов (второй проход): Сварка выполняется сварочным трактором, установленным на специальной площадке (балконе). Перед выполнением прохода производится зачистка корня первого шва для обеспечения монолитности соединения и исключения дефектов в центральной части стыка. Глубина проплавления наружного шва должна составлять не менее 6–7 мм, что гарантирует надежное сплавление с первым проходом в середине сечения листа (10 мм) и отсутствие несплавлений в центре стыка.

После сварки выполняется очистка поверхности шва от шлака и брызг с последующим удалением технологических планок. Места приварки планок и усиление шва зачищаются механическим способом до полного выравнивания с поверхностью обечайки

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

2. Правка обечайки после сварки на вальцовочной машине

Правка (калибровка) обечайки после сварки продольного шва необходима для устранения деформаций («домика») в зоне стыка и восстановления идеальной цилиндрической формы. Для резервуаров под сжиженный газ точность геометрии критична для качественной стыковки с днищами.

3. Вырезка отверстий под патрубок и люк в днищах.

Вырезка отверстий в эллиптических днищах — технически сложная операция из-за кривизны поверхности. Применение плазменной резки обеспечивает высокую скорость и чистоту кромок под последующую сварку.

Технология вырезки отверстий:

Днище устанавливается на ложемент строго горизонтально.

С помощью гибких шаблонов или специализированного циркульного приспособления наносится контур будущего отверстия.

Для патрубка и люка, устанавливаемых перпендикулярно оси резервуара, отверстие на эллиптической поверхности будет иметь форму эллипса, а не круга. Разметка выполняется с учетом этого геометрического искажения.

Вырезка отверстий под патрубок и люк производится с помощью аппарата плазменной резки. Подбираются режимы: ток устанавливается в пределах 60–80 А, скорость резки – около 1,5–2,0 м/мин.

Процесс резки:

Пробивка начинается внутри контура (с отступом 5–10 мм от линии разметки), чтобы исключить повреждение кромки отверстия в момент зажигания дуги.

Аппарат резки должен удерживаться под углом 90° к касательной в каждой точке криволинейной поверхности. Если патрубок вваривается «встык» с фаской, робот или копир сразу выполняет наклон сопла для формирования разделки кромок. Плазменная резка дает минимальную зону термического влияния (ЗТВ), но для предотвращения коробления тонкого края отверстия (10 мм) резку ведут непрерывно.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

Финишная обработка. Удаление грата (наплывов) с нижней кромки с помощью пневматического шабера или шлифмашинки.

Зачистка кромки до металлического блеска на ширину 10–15 мм под контроль ПВК (капиллярный метод), так как в зоне термического влияния после плазмы возможны микротрещины.

Инструменты контроля. Контрольные шаблоны: Для проверки соответствия формы вырезанного отверстия диаметру люка или патрубка.

Угломеры: Для проверки угла разделки кромок (если фаска выполнялась плазмой).

4. Сборка и сварка скоб с днищем при соединении ТЗ по ГОСТ 14771-76

Сборка и сварка скоб с эллиптическим днищем по типу соединения ТЗ (тавровое соединение с двусторонним швом без разделки кромок) является вспомогательной, но ответственной операцией, так как эти элементы воспринимают значительные нагрузки при монтаже.

Подготовка и сборка

Места приварки на днище и подошву скобы зачищают до металлического блеска (ширина зоны – не менее 20 мм). Скобы устанавливаются согласно чертежу (обычно симметрично относительно осей). Для обеспечения вертикальности скоб на криволинейной поверхности днища используют специальные кондукторы или угломеры.

Прихватки выполняется полуавтоматической (МП) сваркой в двух точках с каждой стороны. Длина прихватки – 15-20 мм.

Сварка выполняется полуавтоматическим способом в среде защитных газов. Катет шва принимается равным 10 мм. Согласно ГОСТ 14771 для соединения ТЗ, шов выполняется двусторонним, что исключает изгибающие напряжения в корне. Швы накладываются «на спуск» или «в лодочку» (если днище закреплено на вращателе). Сначала проваривается одна сторона всех скоб, затем – противоположная, чтобы минимизировать угловые деформации.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

В местах окончания шва (на углах скобы) необходимо тщательно заваривать кратер и выводить шов на торцы скобы на 5–10 мм («заходить за угол»), чтобы избежать концентраторов напряжений.

5. Сборка и сварка патрубка с днищем при соединении У12 по РД 26-18-8-89

Сборка и сварка патрубка с эллиптическим днищем по типу соединения У12 (угловое соединение с полной разделкой кромок на днище) является одной из самых ответственных операций при изготовлении резервуаров для СУГ, так как этот узел подвержен максимальной концентрации напряжений.

Подготовка и сборка под сварку

Подготовка патрубка: В отверстии на днище выполняется односторонняя разделка кромок под углом $45^{\circ} \pm 2^{\circ}$ с притуплением 1–2 мм (согласно РД 26-18-8-89).

Кромки отверстия, вырезанного плазмой, зачищаются шлифмашинкой до удаления следов термического влияния. Поверхность днища вокруг отверстия зачищается на ширину 20-30 мм.

Патрубок устанавливается в отверстие днища. Контролируется перпендикулярность оси патрубка к базовой плоскости днища и величина зазора (обычно 1-2 мм для обеспечения полного провара корня).

Прихватки выполняется в 3–4 точках равномерно по окружности. Длина прихваток 20 мм.

Технология сварки (согласно РД 26-18-8-89)

Первый (корневой) слой: Самый ответственный этап. Сварка ведется с полным проплавлением притупления. При использовании робота гарантируется стабильность глубины провара по всей окружности, несмотря на изменение угла наклона из-за кривизны днища.

Заполняющие слои: Выполняются в 2–3 прохода (в зависимости от катета). Каждый последующий слой должен перекрывать предыдущий на 1/3 ширины.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
						48
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Облицовочный слой: Должен иметь плавный переход к основному металлу днища и стенке патрубка без подрезов.

Термический режим: Для сталей типа 09Г2С важно избегать перегрева. Межпроходная температура не должна превышать 150–200°C.

6. Сборка и сварка люка с днищем при соединении У12 по РД 26-18-8-89

Сборка и сварка люка-лаза с эллиптическим днищем по типу соединения У12 (угловое соединение с полной разделкой кромок) является критической операцией, так как диаметр люка 750 значительно ослабляет сечение днища и требует идеального провара.

Подготовительные и сборочные операции

Подготовка кромки люка: На обечайке люка выполняется односторонняя внешняя разделка под углом $45^\circ \pm 2^\circ$ с притуплением 1–2 мм согласно РД 26-18-8-89.

После плазменной резки кромка в днище зачищается до металлического блеска (удаляется слой 1–2 мм, насыщенный газами). Поверхность вокруг отверстия зачищается на ширину 20 мм с обеих сторон. Люк устанавливается в отверстие. Контролируется вылет люка над поверхностью днища и его перпендикулярность. Устанавливается равномерный зазор 1,5–2,5 мм по всей окружности для обеспечения гарантированного провара корня шва.

Прихватки выполняется полуавтоматом в смеси газов. Прихватки длиной 30–40 мм располагаются равномерно (обычно 6–8 штук).

7. Сборка и сварка обечайки с днищем при соединении С29 по ГОСТ8713-79

Стыковка днищ: Днище подводится к торцу обечайки с помощью мостового крана или специальной траверсы. Для выравнивания зазора и предотвращения смещения кромок используются сборочные скобы или внутренние центраторы.

Прихватка: Сварщик выполняет прихватки в среде защитных газов (MAG). Длина прихватки 50–60 мм, шаг 300–400 мм. Прихватки должны быть выполнены тем же материалом, что и основной шов, с полным проваром.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

Контроль: После сборки проверяется биение и отклонение от прямолинейности при вращении на малых оборотах.

8. Сборка и сварка обечайки со вторым днищем при соединении С29 по ГОСТ8713-79.

Контроль геометрии торца обечайки и днища. Отклонение от круглости не должно превышать допусков, указанных в ГОСТ 34347-2017.

Зачистка кромок и прилегающих зон (не менее 20 мм) до металлического блеска. Сталь 09Г2С чувствительна к влаге и ржавчине (риск возникновения пор под флюсом). Днище стыкуется с обечайкой с помощью сборочных приспособлений (центраторов). Для С29 на толщине 10 мм зазор должен составлять 0...2 мм. Прихватка: Выполняется полуавтоматической сваркой в среде защитных газов (проволока Св-08Г2С). Прихватки ставятся с наружной стороны, длиной 50-80 мм с шагом 300-400 мм.

Сварочный трактор устанавливается внутри корпуса. Сварка выполняется «на подъём» (смещение электрода от зенита в сторону, противоположную вращению) для правильного формирования валика. Выполняется подварочный слой. Режимы подбираются так, чтобы глубина провара составляла 6–7 мм.

Удаление шлаковой корки флюсоотсосом. Визуальный контроль: Проверка отсутствия прожогов и видимых дефектов. Зачистка наружной поверхности стыка шлифмашинкой (удаление брызг и прихваток, если они мешают плотному прилеганию флюсового слоя при втором проходе).

Сварочный трактор устанавливается снаружи. Производится сварка. Результатом должен быть монолитный шов с плавным переходом к основному металлу. После остывания — визуально-измерительный контроль (ВИК).

9. Сборка и сварка подкладных листов с днищем при соединении Н1 по ГОСТ 14771-76 [19]

Сборка и сварка подкладных листов (усиливающих накладок под опоры или арматуру) с эллиптическим днищем по типу соединения Н1 (нахлесточное одностороннее)

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
						50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

выполняется для распределения локальных напряжений и предотвращения деформации стенки корпуса резервуара.

Подготовительные и сборочные операции

Подкладной лист предварительно вальцуется или штампуется по радиусу кривизны эллиптического днища. Зазор между листом и днищем («прилегание») должен быть минимальным (не более 1,5–2 мм), чтобы избежать скрытых напряжений при затяжке швом.

В подкладном листе (согласно правилам ПБ для сосудов под давлением) сверлится небольшое сквозное отверстие (М10–М12). Оно необходимо для контроля герметичности швов и выхода газов при сварке. Место установки на днище зачищается до металлического блеска на 20–30 мм шире контура листа. Лист плотно прижимается струбцинами или грузами и прихватывается по периметру короткими швами (20–30 мм).

Сварка ведется непрерывным угловым швом по всему периметру подкладного листа. Особое внимание уделяется «замыканию» шва. Недопустимы кратеры или несплавления в точке начала и конца сварки, так как это основные очаги развития коррозии под листом. Использование защитного газа обеспечивает глубокое проплавление угла и отсутствие брызг, что важно для последующего плотного прилегания опорных конструкций.

10. Сборка и сварка опор с корпусом резервуара при соединении ТЗ по ГОСТ 14771-76

Сборка корпуса резервуара на вертикально стоящие опоры (установка «сверху») — это метод, требующий высокой точности позиционирования, так как опоры должны образовать единую горизонтальную плоскость для устойчивости будущего резервуара.

Подготовка и базирование

Подготовка площадки: Опоры устанавливаются на разметочную плиту или выверенный сборочный стенд. С помощью лазерного нивелира проверяется горизонтальность верхних кромок (ложементов) всех опор.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

Допуск на разновысотность – не более 1-2 мм.

Подготовка корпуса: корпус (обечайка + днища) подается мостовым краном. На корпусе должна быть нанесена разметка осевых линий, соответствующая осям симметрии опор.

Установка («Посадка»): Корпус плавно опускается на опоры. С помощью отвесов и уровней контролируется отсутствие «пропеллера» (перекоса осей опор относительно оси корпуса). Расстояние между опорами выдерживается согласно чертежу с помощью контрольных штанг. Для плотного прилегания корпуса к ложемам опор могут использоваться стяжные ленты или временные грузовые прижимы. Далее происходит прихватка корпуса с опорами.

Прихватки накладываются симметрично: сначала в верхних точках сопряжения («зенит» опоры), затем по краям. Длина прихватки – 50–60 мм, количество – по 3-4 на каждую сторону опоры.

Контроль: После прихватки кран ослабляет стропы, и проводится финальная проверка геометрии: параллельность опор и отсутствие смещения вдоль оси.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
						52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

8 Расчет параметров режимов сварки

Основными параметрами режима автоматической сварки стали под флюсом являются: силы сварочного тока, напряжение на дуге. Эскиз стыкового соединения представлен на рисунке 10.

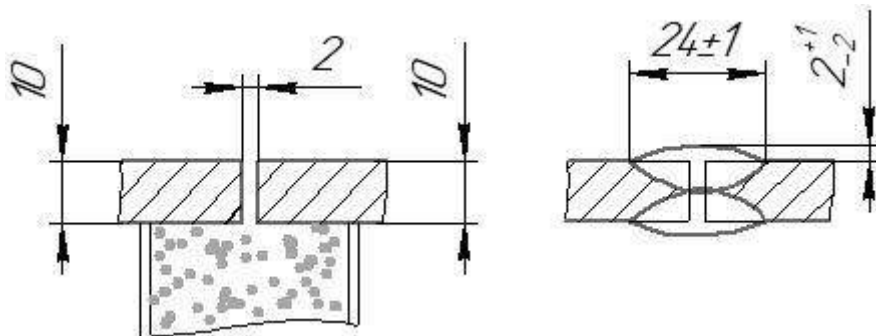


Рисунок 10 – Эскиз стыкового соединения С29 ГОСТ8713-79

Рассчитываем глубину проплавления по формуле [18]:

$$h = \frac{S}{2} + (2...3) \quad (8.1)$$

где, S – толщина обечайки

$$h = \frac{10}{2} + (2...3) = 7 \text{ мм}$$

Определяем величину сварочного тока $I_{св}$ по эмпирической формуле:

$$I_{св} = (80...100) \cdot h \quad (8.2)$$

$$I_{св} = (80...100) \cdot 7 = 560...700 \text{ А}$$

Принимаем $I_{св} = 600 \text{ А}$

Определяем диаметр электродной проволоки по формуле:

$$d_{эл} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{I_{св}}{j}}, \quad (8.3)$$

где $d_{эл}$ – диаметр сварочной проволоки, мм;

j – допускаемая плотность тока, А / мм²

Допускаемая плотность тока определяется по таблице 11.

Таблица 11 – Допустимая плотность тока для электродов

$d_{эл}, \text{мм}$	1	2	3	4	5	6
$J, \text{А/мм}^2$	90...400	65...200	45...90	35...60	30...50	25...45

$$d_{эл} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{600}{65}} = 3,32 \text{ мм}$$

Принимаем $d_{эл} = 4 \text{ мм}$

Для проволоки $d_{эл} = 4 \text{ мм}$ скорость сварки $V_{св}$ определяем по формуле:

$$V_{св} = \frac{(16...20) \cdot 10^3}{I_{св}} \quad (8.4)$$

Подставляем полученные значения в формулу:

$$V_{св} = \frac{(16...20) \cdot 10^3}{600} = (26,6...33,3) \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{св} = 30 \text{ м/ч} = 0,83 \text{ см/с}$

Определяем оптимальное напряжение дуги может по формуле:

$$U_{д} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_{эл}^{0,5}} \cdot I_{св} \pm 1, \quad (8.5)$$

Подставляем полученные значения в формулу 3.11

$$U_{д} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{4^{0,5}} \cdot 560 \pm 1 = 35...37 \text{ В}$$

Принимаем $U_{д} = 36 \text{ В}$

Определяем коэффициент провара по формуле:

$$\psi_{пр} = K^I \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{св}) \cdot \frac{d_{эл} \cdot U_{д}}{I_{св}} \quad (8.6)$$

Коэффициент формы провара K^I определяется исходя из условий:

- род тока постоянный
- полярность тока обратная
- плотность тока $j < 120 \text{ А/мм}^2$

Таблица 12 – Значение коэффициента K^I

Род тока	Полярность	Полярность j, А/мм ²	Величина коэффициента K^I
Переменный	-	меньше 120	1
		больше или равна 120	
Постоянный	Обратная	меньше 120	$0,367 \cdot j^{0,1925}$
	Прямая		$2,82 \cdot j^{0,1925}$
	Обратная	больше или равна 120	0,92
	Прямая		1,12

Тогда

$$K^I = 0,367 \cdot j^{0,1925} = 0,367 \cdot \left(\frac{I_{св} \cdot 4}{\pi \cdot d_{эл}^2} \right)^{0,1925} \quad (8.7)$$

$$K^I = 0,367 \cdot \left(\frac{560 \cdot 4}{\pi \cdot 4^2} \right)^{0,1925} = 0,853.$$

$$\psi_{пр} = 0,853 \cdot (19 - 0,01 \cdot 560) \cdot \frac{4 \cdot 36}{560} = 3,7$$

Для автоматической сварки под слоем флюса коэффициент формы провара должен находиться в пределах от 0,8 до 4,0. Принимаем $\psi_{пр} = 3,7$

Определяем величину погонной энергии по формуле:

$$q_{\Pi} = \frac{I_{св} \cdot U_{д} \cdot \eta_{д}}{V_{св}}, \quad (8.8)$$

где $\eta_{д}$ – эффективный КПД дуги, для сварки под флюсом.

Принимаем $\eta_{д} = 0,9$

$$q_{\Pi} = \frac{560 \cdot 36 \cdot 0,9}{0,75} = 24192 \text{ Дж/см}$$

Определяем глубину проплавления по формуле:

$$h_{\phi} = 7,6 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{q_{\Pi}}{\psi_{пр}}} \quad (8.9)$$

Подставляем исходные значения в формулу 8.9.

$$h_{\phi} = 7,6 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{24192}{3,7}} = 0,61 \text{ см} = 6,1 \text{ мм}$$

Ширину шва определяем по формуле:

$$e = \psi_{\text{пр}} \cdot h_{\phi} \quad (8.10)$$

где e – фактическая ширина шва, мм.

$$e = 3,7 \cdot 6,1 = 22,6 \text{ мм}$$

Полученное значение соответствует требованиям ГОСТ 8713–79.

Определим фактическую высоту валика c_3 по формуле:

$$c_3 = \frac{F_H - H \cdot b_3}{0,73 \cdot e - b_3}, \quad (8.11)$$

где c_3 – фактическая высота валика, мм;

F_H – площадь поперечного сечения наплавленного металла за данный проход, мм² ;

b_3 – зазор между соединяемыми деталями, мм;

H – общая высота шва, мм.

Общая высота шва определяется по формуле:

$$F_H = \frac{\alpha_H \cdot I_{\text{св}}}{3600 \cdot \gamma \cdot V_{\text{св}}}, \quad (8.12)$$

где α_H – коэффициент наплавки, г/А·ч;

γ – плотность сварочной проволоки, г/см³.

Коэффициент наплавки определяется по формуле:

$$\alpha_H = \alpha_p \cdot \left(1 - \frac{\psi}{100}\right), \quad (8.13)$$

где, α_p – коэффициент расплавления электродной проволоки, г/А·с;

ψ – потери электродного металла в следствии окисления, испарения и разбрызгивания.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

Коэффициент расплавления электродной проволоки определяется по формуле:

$$\alpha_p = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{I_{св}}{d_{эл}} \right) \cdot 10^{-4} \quad (8.14)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.14.

$$\alpha_p = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{560}{4} \right) \cdot 10^{-4} = 0,0049 \text{ г/А} \cdot \text{с} = 18 \text{ г/А} \cdot \text{ч};$$

Подставляем полученные значения в формулы 8.13.

$$\alpha_H = 18 \cdot \left(1 - \frac{10}{100} \right) = 17,3 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$$

$$F_H = \frac{17,31 \cdot 560}{3600 \cdot 7,85 \cdot 0,75} = 0,46 \text{ мм}^2$$

$$c_B = \frac{17,31}{0,73 \cdot 22,6_3} = 1,05 \text{ мм}$$

$$H = 6,1 + 1,05 = 7,15 \text{ мм}$$

$$c_3 = \frac{17,31 - 7,15 \cdot 2}{0,73 \cdot 22,6 - 2} = 0,2 \text{ мм}$$

Определим коэффициент формы валика по формуле:

$$\psi_B = \frac{e}{c_B}, \quad (8.15)$$

где ψ_B – коэффициент формы валика.

$$\psi_B = \frac{22,6}{1,05} = 21,52$$

Коэффициент формы валика не должен выходить из диапазона

$\psi_B = 7,0 \dots 10,0$. Принимаем $\psi_B = 9$.

Определим скорость подачи электродной проволоки, м/ч по формуле

Определяем скорость подачи проволоки по формуле:

$$V_{п.п.р} = \frac{4 \cdot \alpha_H \cdot I_{св}}{\pi \cdot d_{эл}^2 \cdot \gamma} \quad (8.16)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.16.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
						57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$V_{\text{п.пр}} = \frac{4 \cdot 17,3 \cdot 560}{\pi \cdot 3^2 \cdot 7,8} = 176,1 \text{ м/ч}$$

Режимы сварки для шва №2 принимаем такие же, как и для соединения № 1, так как данные соединения являются одностипными.

Эскиз сварного углового соединения №3 представлен на рисунке 11.

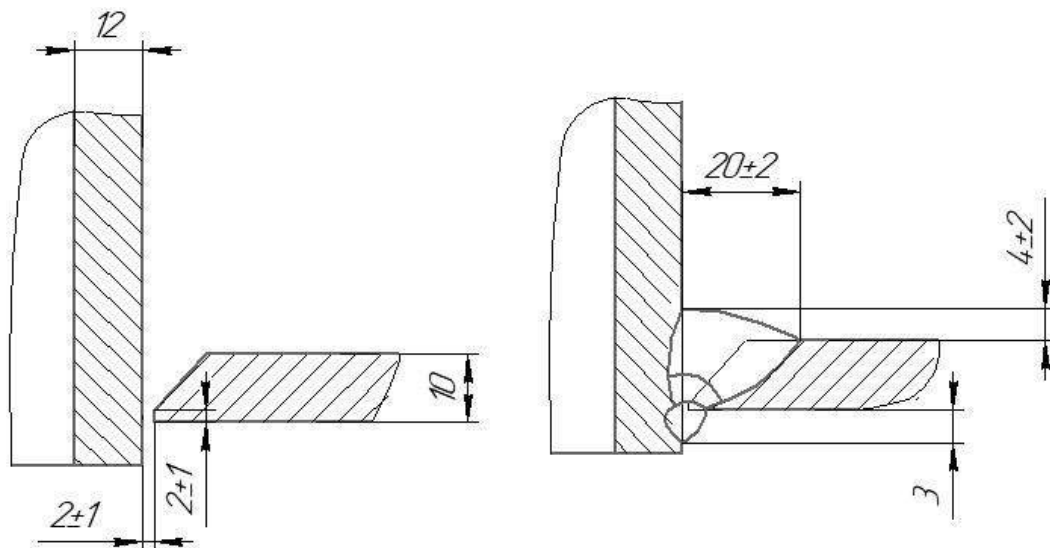


Рисунок 11 – Сварное угловое соединение У12 РД26-18-8-89

Выбираем диаметр электродной проволоки по таблице 13.

Таблица 13 – Выбор диаметра электродной проволоки

Толщина листов, мм	1-2	3-6	6-10	10-24
Диаметр электродной проволоки, мм	0,8-1,0	1,2-1,6	1,6-2	2 и более

На основании таблицы 13 принимаем диаметр электродной проволоки равным 1,6 мм. Величина сварочного тока определяется в зависимости от диаметра электродной проволоки согласно рекомендациям таблицы 14.

Таблица 14 – Допускаемая величина сварочного тока в зависимости от диаметра электродной проволоки

Параметр	Значение				
Диаметр электродной проволоки, $d_{эл}$, мм	0,8	1,0	1,2	1,6	2
Величину сварного тока $I_{св}$, А	50...130	70...180	100...240	150...400	200...500
Расстояние от изделия, мм	5...15	6...18	8...18	15...25	15...25

Принимаем следующие исходные данные согласно таблицам 13 и 14:

$d_{эл} = 1,6$ мм, величина сварочного тока $I_{св} = 300$ А;

Определяем оптимальное напряжение дуги может по формуле [22]:

$$U_{д} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_{эл}^{0,5}} \cdot I_{св} \pm 1 \quad (8.17)$$

$$U_{д} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,6^{0,5}} \cdot 300 \pm 1 = 31,86 \pm 1 \text{ В}$$

Принимаем $U_{д} = 32$ В

Определяем коэффициент провара по формуле:

$$\psi_{пр} = K^I \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{св}) \cdot \frac{d_{эл} \cdot U_{д}}{I_{св}}, \quad (8.18)$$

Тогда

$$K^I = 0,367 \cdot j^{0,1925} = 0,367 \cdot \left(\frac{I_{св} \cdot 4}{\pi \cdot d_{эл}^2} \right)^{0,1925} \quad (8.19)$$

$$K^I = 0,367 \cdot \left(\frac{300 \cdot 4}{\pi \cdot 1,6^2} \right)^{0,1925} = 0,87.$$

$$\psi_{пр} = 0,87 \cdot (19 - 0,01 \cdot 300) \cdot \frac{1,6 \cdot 32}{300} = 2,7$$

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

Для автоматической сварки под слоем флюса коэффициент формы провара должен находиться в пределах от 0,8 до 4,0. Принимаем $\psi_{пр} = 2,7$

Коэффициент наплавки определяется по формуле:

$$\alpha_H = \alpha_p \cdot \left(1 - \frac{\psi}{100}\right), \quad (8.20)$$

где, α_p – коэффициент расплавления электродной проволоки, г/А·с;

ψ – потери электродного металла в следствии окисления, испарения и разбрызгивания.

Коэффициент расплавления электродной проволоки определяется по формуле:

$$\alpha_p = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{I_{св}}{d_{эл}}\right) \cdot 10^{-4}, \quad (8.21)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.21.

$$\alpha_p = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{300}{1,6}\right) \cdot 10^{-4} = 0,004955 \text{ г/Ас} = 17,84 \text{ г/Ач}$$

Подставляем полученные значения в формулы 8.22.

$$\alpha_H = 17,84 \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 16,1 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$$

Определяем скорость сварки по формуле:

$$V_{св} = \frac{\alpha_H \cdot I_{св}}{100 \cdot \gamma \cdot F_H}, \quad (8.22)$$

где, α_H -коэффициент наплавки, г/А · ч;

γ -плотность наплавленного металла, г/см³;

F_H -площадь наплавки одного валика, мм².

$$V_{св} = \frac{16,1 \cdot 300}{100 \cdot 7,8 \cdot 0,4} = 15,48 \text{ м/час}$$

Определим скорость подачи электродной проволоки по формуле

$$V_{п.пр} = \frac{4 \cdot \alpha_H \cdot I_{св}}{\pi \cdot d_{эл}^2 \cdot \gamma}, \quad (8.23)$$

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
						60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Подставляем полученные значения в формулу

$$V_{\text{п.пр}} = \frac{4 \cdot 16,1 \cdot 300}{\pi \cdot 1,6^2 \cdot 7,8} = 308 \text{ м/ч}$$

Эскиз сварного нахлесточного соединения №4 представлен на рисунке 12.

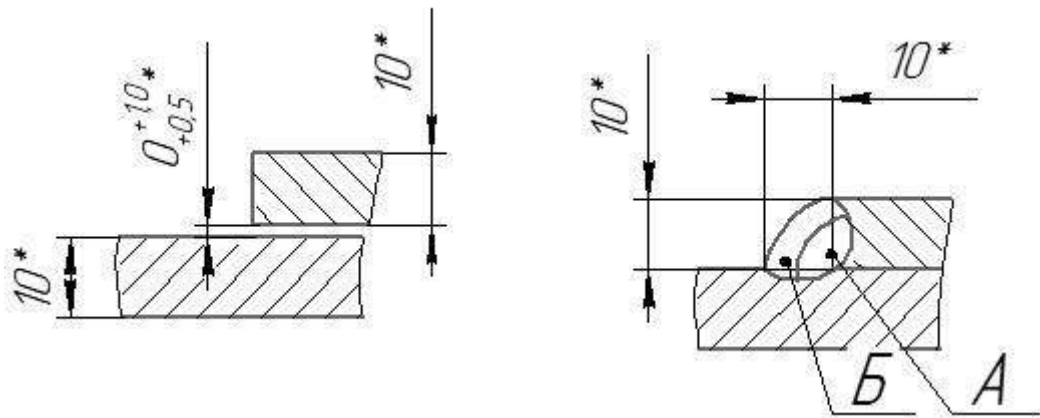


Рисунок 12 – Сварное соединение Н1 ГОСТ 14771-76

На основании таблицы 13 принимаем диаметр электродной проволоки равным 1,6 мм. Величина сварочного тока определяется в зависимости от диаметра электродной проволоки согласно рекомендациям таблицы 14.

Принимаем следующие исходные данные согласно таблицам 13 и 14:

$d_{\text{эл}} = 1,6 \text{ мм}$, величина сварочного тока $I_{\text{св}} = 300 \text{ А}$;

Определяем оптимальное напряжение дуги может по формуле [22]:

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_{\text{эл}}^{0,5}} \cdot I_{\text{св}} \pm 1, \quad (8.24)$$

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,6^{0,5}} \cdot 300 \pm 1 = 31,86 \pm 1 \text{ В}$$

Принимаем $U_{\text{д}} = 32 \text{ В}$

Определяем коэффициент провара по формуле:

$$\psi_{\text{пр}} = K^I \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{\text{св}}) \cdot \frac{d_{\text{эл}} \cdot U_{\text{д}}}{I_{\text{св}}}, \quad (8.25)$$

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

Тогда

$$K^I = 0,367 \cdot j^{0,1925} = 0,367 \cdot \left(\frac{I_{\text{св}} \cdot 4}{\pi \cdot d_{\text{эл}}^2} \right)^{0,1925} \quad (8.26)$$

$$K^I = 0,367 \cdot \left(\frac{300 \cdot 4}{\pi \cdot 1,6^2} \right)^{0,1925} = 0,87.$$

$$\psi_{\text{пр}} = 0,87 \cdot (19 - 0,01 \cdot 300) \cdot \frac{1,6 \cdot 32}{300} = 2,7$$

Для автоматической сварки под слоем флюса коэффициент формы провара должен находиться в пределах от 0,8 до 4,0. Принимаем $\psi_{\text{пр}} = 2,7$

Коэффициент наплавки определяется по формуле:

$$\alpha_{\text{н}} = \alpha_{\text{р}} \cdot \left(1 - \frac{\psi}{100} \right), \quad (8.27)$$

где, $\alpha_{\text{р}}$ – коэффициент расплавления электродной проволоки, г/А·с;

ψ – потери электродного металла в следствии окисления, испарения и разбрызгивания.

Коэффициент расплавления электродной проволоки определяется по формуле:

$$\alpha_{\text{р}} = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{I_{\text{св}}}{d_{\text{эл}}} \right) \cdot 10^{-4} \quad (8.28)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.21.

$$\alpha_{\text{р}} = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{300}{1,6} \right) \cdot 10^{-4} = 0,004955 \text{ г/Ас} = 17,84 \text{ г/Ач}$$

Подставляем полученные значения в формулы 8.22.

$$\alpha_{\text{н}} = 17,84 \cdot \left(1 - \frac{10}{100} \right) = 16,1 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$$

Определяем скорость сварки по формуле:

$$V_{\text{св}} = \frac{\alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{св}}}{100 \cdot \gamma \cdot F_{\text{н}}}, \quad (8.29)$$

где, $\alpha_{\text{н}}$ -коэффициент наплавки, г/А · ч;

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

γ -плотность наплавленного металла, г/см³;

F_H -площадь наплавки одного валика, мм².

$$V_{св} = \frac{16,1 \cdot 300}{100 \cdot 7,8 \cdot 0,4} = 15,48 \text{ м/час}$$

Определим скорость подачи электродной проволоки по формуле

$$V_{п.пр} = \frac{4 \cdot \alpha_H \cdot I_{св}}{\pi \cdot d_{эл}^2 \cdot \gamma}, \quad (8.30)$$

Подставляем полученные значения в формулу

$$V_{п.пр} = \frac{4 \cdot 16,1 \cdot 300}{\pi \cdot 1,6^2 \cdot 7,8} = 308 \text{ м/ч}$$

Эскиз сварного таврового соединения №5 представлен на рисунке 13.

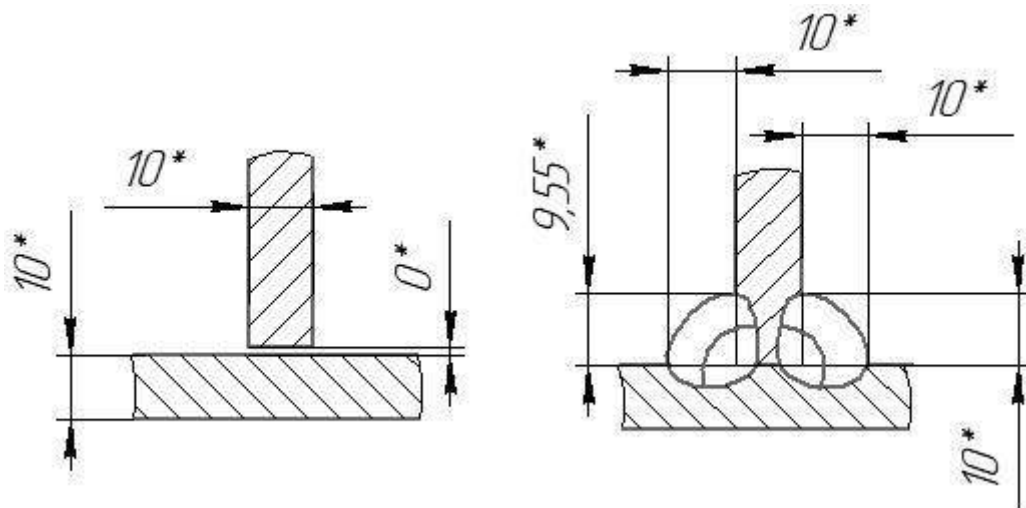


Рисунок 13 – Сварное соединение ТЗ ГОСТ 14771-76

На основании таблицы 13 принимаем диаметр электродной проволоки равным 1,6 мм. Величина сварочного тока определяется в зависимости от диаметра электродной проволоки согласно рекомендациям таблицы 14.

Принимаем следующие исходные данные согласно таблицам 13 и 14:

$d_{эл} = 1,6$ мм, величина сварочного тока $I_{св} = 300$ А;

Определяем оптимальное напряжение дуги может по формуле [22]:

$$U_D = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_{эл}^{0,5}} \cdot I_{св} \pm 1, \quad (8.30)$$

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,6^{0,5}} \cdot 300 \pm 1 = 31,86 \pm 1 \text{ В}$$

Принимаем $U_{\text{д}} = 32 \text{ В}$

Определяем коэффициент провара по формуле:

$$\psi_{\text{пр}} = K^I \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{\text{св}}) \cdot \frac{d_{\text{эл}} \cdot U_{\text{д}}}{I_{\text{св}}}, \quad (8.31)$$

Тогда

$$K^I = 0,367 \cdot j^{0,1925} = 0,367 \cdot \left(\frac{I_{\text{св}} \cdot 4}{\pi \cdot d_{\text{эл}}^2} \right)^{0,1925} \quad (8.32)$$

$$K^I = 0,367 \cdot \left(\frac{300 \cdot 4}{\pi \cdot 1,6^2} \right)^{0,1925} = 0,87.$$

$$\psi_{\text{пр}} = 0,87 \cdot (19 - 0,01 \cdot 300) \cdot \frac{1,6 \cdot 32}{300} = 2,7$$

Для автоматической сварки под слоем флюса коэффициент формы провара должен находиться в пределах от 0,8 до 4,0. Принимаем $\psi_{\text{пр}} = 2,7$

Коэффициент наплавки определяется по формуле:

$$\alpha_{\text{н}} = \alpha_{\text{р}} \cdot \left(1 - \frac{\psi}{100} \right), \quad (8.33)$$

где, $\alpha_{\text{р}}$ – коэффициент расплавления электродной проволоки, г/А·с;

ψ – потери электродного металла в следствии окисления, испарения и разбрызгивания.

Коэффициент расплавления электродной проволоки определяется по формуле:

$$\alpha_{\text{р}} = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{I_{\text{св}}}{d_{\text{эл}}} \right) \cdot 10^{-4}, \quad (8.34)$$

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

Подставляем полученные значения в формулу 8.34.

$$\alpha_p = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{300}{1,6} \right) \cdot 10^{-4} = 0,004955 \text{ г/Ас} = 17,84 \text{ г/Ач}$$

Подставляем полученные значения в формулы 8.33.

$$\alpha_H = 17,84 \cdot \left(1 - \frac{10}{100} \right) = 16,1 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$$

Определяем скорость сварки по формуле:

$$V_{\text{св}} = \frac{\alpha_H \cdot I_{\text{св}}}{100 \cdot \gamma \cdot F_H}, \quad (8.35)$$

где, α_H -коэффициент наплавки, г/А · ч;

γ -плотность наплавленного металла, г/см³;

F_H -площадь наплавки одного валика, мм².

$$V_{\text{св}} = \frac{16,1 \cdot 300}{100 \cdot 7,8 \cdot 0,4} = 15,48 \text{ м/час}$$

Определим скорость подачи электродной проволоки по формуле

$$V_{\text{п.п.р}} = \frac{4 \cdot \alpha_H \cdot I_{\text{св}}}{\pi \cdot d_{\text{эл}}^2 \cdot \gamma}, \quad (8.36)$$

Подставляем полученные значения в формулу

$$V_{\text{п.п.р}} = \frac{4 \cdot 16,1 \cdot 300}{\pi \cdot 1,6^2 \cdot 7,8} = 308 \text{ м/ч}$$

Определяем параметры геометрии прихваток для стыковых соединений.

Длина прихватки определяется по формуле:

$$l = (2 - 3) \cdot S, \quad (8.42)$$

где S – толщина стенки, мм.

$$l = (2 - 3) \cdot 10 = 20 \dots 30 \text{ мм}$$

Шаг между прихватками определяется по формуле:

$$L = (15 - 30) \cdot S, \quad (8.43)$$

где S – толщина стенки, мм.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
						65
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Катет прихватки должен с $L = (15 - 30) \cdot 10 \approx 150 \dots 300$ мм оставлять не более 50% толщины стенки. Принимаем размер катета прихватки равным 4-5 мм.

В целях обеспечения жесткости и геометрической точности сборки назначаем режимы дуговой сварки прихваток в среде защитных газов. С учетом толщины основного металла (10 мм) и рекомендаций по сварке, для выполнения операций выбран электродный материал диаметром 1,6 мм.

Величина сварочного тока $I_{\text{св}} = 290 \dots 310 \text{ А}$

Диаметр электродной проволоки $d_{\text{эл}} = 1,6 \text{ мм}$

Для проволоки $d_{\text{эл}} = 1,6 \text{ мм}$ скорость сварки $V_{\text{св}} = 20 \dots 22 \text{ м/ч}$

Оптимальное напряжение дуги $U_{\text{д}} = 28 \dots 30 \text{ В}$

Скорость подачи проволоки $V_{\text{п.пр}} = 250 \dots 270 \text{ м/ч}$

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

9 Выбор сварочного оборудования и технологической оснастки

Применение специализированной тележки велосипедного типа ВТ-2Б в составе сварочного поста позволяет существенно повысить производительность труда за счет автоматизации процесса перемещения сварочного оборудования.

Конструкция включает несущую платформу, вертикальную стойку, вылетную консоль и систему электроприводов. Линейное перемещение по рельсовому пути осуществляется посредством привода через редукторно-зубчатую трансмиссию. Конструктивной особенностью установки является наличие вылетной консоли, на которой устанавливается сварочный трактор. Такое исполнение обеспечивает возможность автоматизированной сварки в двух технологических схемах:

- Формирование продольных швов: Тележка совершает прямолинейное поступательное движение по рельсовому пути вдоль образующей обечайки.
- Формирование кольцевых швов: При интеграции установки с роликовым стендом (роликоопорами) консоль с трактором позиционируется неподвижно над зоной стыка (при приварке днищ к обечайке). В процессе сварки вращение изделия осуществляется роликовым стендом, что обеспечивает стабильное формирование кольцевого шва.

Использование велотележки позволяет автоматизировать сварку крупногабаритных резервуаров диаметром до 2024 мм, обеспечивая высокую точность центровки электрода и стабильность скорости кристаллизации металла шва. Данное техническое решение минимизирует влияние субъективного фактора на качество соединений и сокращает вспомогательное время на переналадку оборудования при переходе от продольных к кольцевым операциям.

Основные технические характеристики велосипедной тележки ВТ-2Б приведены в таблице 15.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

Таблица 15 – Технические характеристики глгольной тележки ВТ-2Б

Техническая характеристика	Значение параметра
Высота уровня сварки, мм:	
наименьшая	2000
наибольшая	4000
Вылет консоли от оси колонны до оси электрода, мм:	
наименьший	2100
наибольший	2300
Скорость перемещения тележки,	
Рабочая, м/час.	13
Скорость горизонтального перемещения балкона, м/мин:	2
Масса, кг	1800

Для обеспечения вращения корпуса аппарата при сварке кольцевых швов под флюсом (АФ/АФф) на толщине 14 мм выбран самоустанавливающийся роликовый вращатель модели УРАЛ-СВР-Б-3000-1000 (производства ООО «УралИнсталл»).

Ключевые возможности оборудования:

– Предназначены для автоматической, полуавтоматической и ручной электродуговой сварки.

– Включают «сварочную скорость» для формирования шва и «маршевую скорость» для быстрой установки изделия в нужное положение.

– В состав обычно входят одна приводная и две холостых секций, а также пульт дистанционного управления.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68



Рисунок 14 – Роликовый стенд УРАЛ-СВР-Б-3000-1000

Таблица 12 – Технические характеристики роликового стенда модели УРАЛ-СВР-Б-3000-1000

Наименование параметра	Значение
Линейная скорость вращения, м/мин	0,1–1,5
Наибольшая грузоподъемность, кг	3000
Наружный диаметр роликов, мм	300
Диаметр свариваемых изделий, мм	
наибольший	3500
наименьший	500
Мощность электродвигателя привода, кВт	0,55
Количество приводных секций, шт.	1
Количество неприводных секций, шт.	1

Сборка изделия осуществляется на роликовом стенде УРАЛ-СВР-Б-3000-1000, куда подается предварительно зафиксированная на прихватках обечайка. Технологический процесс предусматривает совмещение оси продольного стыка с осью флюсовой подушки. Плотное прилегание флюсового слоя к внутренней

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

поверхности стыка обеспечивается за счет подачи сжатого воздуха в пневмокамеру подъемного механизма. Регулировка давления в системе позволяет достичь надежной фиксации металла без риска термической или механической деформации стенок. Сварка выполняется сварочным трактором с наружной стороны изделия. При полном проплавлении металла толщиной 10 мм флюсовая подушка эффективно удерживает сварочную ванну, обеспечивая контролируемое формирование обратного валика шва

Таблица 13 – Технические характеристики подушки ФПП.

Параметры	Значения
Масса сварочного флюса, кг	110
Потребляемая мощность, кВт	1,0
Напряжение сети, В	380
Масса, кг	520

Выполнение внутренних кольцевых соединений (тип С29 по ГОСТ 8713–79) автоматической сваркой под флюсом осуществляется с применением переносной ременной флюсовой подушки (ФПР). Данное устройство обеспечивает формирование качественного обратного валика при сварке снаружи, исключая необходимость проведения трудоемких ручных подварочных работ внутри обечаек диаметром 1620 мм.

Конструктивные особенности и принцип работы ФПР:

Несущий элемент: Термостойкая многослойная прорезиненная лента, служащая опорой для слоя флюса марки АН-348-А.

Механизм позиционирования: Рама устройства оснащена приводным и натяжным роликами, которые обеспечивают требуемое натяжение ремня и его плотное прилегание к криволинейной внутренней поверхности изделия.

Формирующий узел: Между роликами в зоне горения дуги расположен лоток-желоб, подающий флюс непосредственно к зоне плавления.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

Система прижима: Пневматический механизм позволяет регулировать усилие поджатия ленты, предотвращая деформацию обечайки и вытекание расплава сварочной ванны.

В процессе сварки устройство ФПР позиционируется в нижней точке кольцевого стыка. Синхронизация линейной скорости перемещения ремня со скоростью вращения изделия (за счет сил трения или автономного привода) позволяет поддерживать стабильную флюсовую поддержку на протяжении всего цикла сварки. Это гарантирует получение равномерного проплава и качественное формирование геометрии обратного шва по всей окружности

Таблица 14 – Технические характеристики подушки ФПР

Параметры	Значения
Ширина зоны поджатия флюса, мм	80–110
Максимальное давление сжатого воздуха, МПа	0,4–0,7
Ход прижимного механизма, мм	50–110
Масса, кг	27

Для автоматической сварки под слоем флюса в качестве источника питания применяем универсальный сварочный выпрямитель Форсаж-800 в качестве автомата тракторного типа принимаем сварочный трактор АДФ-1000.

В качестве источника сварочного тока используется инверторный выпрямитель Форсаж-800. Выбор обусловлен необходимостью обеспечения высоких сварочных токов (до 800 А) и стабильности параметров дуги при автоматической сварке под флюсом. Аппарат обладает микропроцессорным управлением и универсальной внешней характеристикой, что позволяет интегрировать его в автоматизированный комплекс совместно со сварочным трактором и роликовым стендом УРАЛ-СВР. Наличие функций "Горячий старт" и "Форсаж дуги" в сочетании с цифровой индикацией параметров позволяет достичь прецизионной точности при формировании корневого валика на флюсовой подушке

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

Основные технические характеристики сварочного выпрямителя Форсаж-800 и сварочного трактора АДФ-1000 приведены в таблицах 15 и 16.

Таблица 15 – Технические характеристики сварочного выпрямителя Форсаж-800

Параметр	Значение
Напряжение питающей сети, В	3×380,0
Номинальный сварочный ток, А	800,0
Пределы регулирования сварочного тока, А	50,0...800,0
Напряжение холостого хода, В, не более	48,0
Номинальное рабочее напряжение, В	80-100,0
Потребляемая мощность, кВА, не более	45,0
Масса, кг, не более	60,0
Габаритные размеры, длина×ширина×высота, мм	645,0×310,0×625,0

Для реализации технологического процесса автоматической сварки под слоем флюса (процесс 121 согласно ISO 4063) выбран самоходный сварочный трактор АДФ-1000. Данное оборудование предназначено для выполнения стыковых, нахлесточных и тавровых соединений прямолинейными и кольцевыми швами с использованием сплошной электродной проволоки.

Техническое описание и конструктивные особенности

Сварочный трактор представляет собой самоходный агрегат, перемещающийся непосредственно по поверхности свариваемого изделия или по специальному направляющему рельсу.

Механизм подачи проволоки обеспечивает стабильную подачу электрода в зону сварки с возможностью плавной регулировки скорости. Система перемещения оснащена приводом, гарантирующим равномерность движения трактора вдоль стыка. Бункер для флюса емкостью 10 дм³, обеспечивающий непрерывную подачу защитного материала в зону горения дуги.

Блок управления позволяет дистанционно настраивать параметры режима сварки и контролировать цикл работы.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72

Таблица 16 – Технические характеристики сварочного трактора АДФ-1000

Технические характеристики	Значение параметра
Напряжение питающей сети, В	3х380
Частота питающей сети, Гц	50
Номинальный сварочный ток, А (ПВ, %)	1000
Скорость сварки м/ч	15..150
Скорость подачи проволоки м/ч	20..250
Вес катушки с проволокой, кг	20
Объем емкости для флюса, литр	10
Масса, кг, не более	50
Габаритные размеры, мм	680×380×600

Для выполнения вспомогательных сборочно-сварочных операций, таких как вварка патрубка, люка и приварка опор к корпусу аппарата, выбран промышленный инверторный полуавтомат *EVOMIG500 «EVOSPARK (ООО «Завод технологического оборудования», Санкт-Петербург)»*.

Использование полуавтомата *EVOMIG500* на этапе предварительной сборки обечаек диаметром 1620 мм позволяет обеспечить надежную фиксацию стыка перед автоматической сваркой под флюсом. Высокая мощность аппарата (500 А) позволяет выполнять качественную прихватку металла толщиной 12 мм с требуемой глубиной проплавления, исключая деформацию кромок в процессе последующей кантовки изделия на роликовом стенде УРАЛ-СВР-Б-3000-1000.

Выбор данной модели для ВКР обоснован следующими факторами:

- Микропроцессорное управление позволяет точно настраивать параметры переноса металла, минимизируя разбрызгивание и объем последующей механической очистки швов;
- Аппарат автоматически корректирует напряжение при изменении скорости подачи проволоки, что облегчает работу сварщика и повышает качество соединений;

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

- Функция «Мягкий старт» обеспечивает плавное возбуждение дуги без удара и «прилипания» проволоки, что важно при наложении коротких прихватных швов;
- Аппарат адаптирован к жестким условиям эксплуатации (температурный диапазон от -40 до +40°C) и защищен от перепадов сетевого напряжения.



Рисунок 15 – Сварочный полуавтомат *EVOMIG 500*.

Таблица 17 – Технические характеристики сварочного полуавтомата *EVOMIG 500*.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

Наименование параметра	Значение параметра
Напряжение питающей сети, В	380±15%
Рабочее напряжение MIG, В	10...50
Рабочее напряжение MMA, В	70...85,0
Сварочный ток MIG/ MMA, А	40,0...315,0
Подающий механизм	Встроенный
Диаметр электрода MMA, мм	1,5...6
Диаметр сварочной проволоки MIG, мм	0,8; 1; 1,2; 1,6
Габаритный размеры, мм	642x286x508

Использование полуавтомата *EVOMIG 500* на этапе предварительной сборки обечаек диаметром 1620 мм позволяет обеспечить надежную фиксацию стыка перед автоматической сваркой под флюсом. Высокая мощность аппарата (500 А) позволяет выполнять качественную прихватку металла толщиной 10 мм с требуемой глубиной проплавления, исключая деформацию кромок в процессе последующей кантовки изделия на роликовом стенде.

Вырезка отверстий под люк-лаз и патрубки в обечайках диаметром 1620 мм производится с помощью специализированной переносной установки плазменной резки Орбита-БМ.

Технические характеристики Орбита-БМ представлены в таблице 18

Таблица 18 – Технические характеристики установки плазменной резки Орбита-БМ

Параметр	Значение
Диаметр вырезаемого отверстия, мм	60,0...800,0
Толщина стенки, мм	до 75,0
Мощность, кВт	0,18
Масса, кг	10,0

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		75

10 Контроль качества сварных соединений

Визуальный и измерительный контроль

Контроль качества сварных соединений проводится по ГОСТ ИСО1763–72014 [24] ГОСТ 34347–2017. Оценка качества сварных соединений проводится по ГОСТ ИСО17637–2014 и ГОСТ 3242–79 [25]. Все швы подлежат 100% проверке ВИК.

Цель контроля: Выявление поверхностных дефектов, отклонений в геометрии шва и проверка соответствия соединений требованиям ГОСТ 8713-79,

Инструментальная база: Используются специализированные наборы (НТД ВИК), включающие лупы с 7-кратным увеличением, универсальные шаблоны сварщика (УШС-3, УШС-4), штангенциркули, стальные линейки и щупы.

Контролируемые параметры:

- Ширина и высота усиления шва;
- Равномерность чешуйчатости;
- Отсутствие видимых прожогов, незаваренных кратеров и свищей;
- Отсутствие наружных трещин и подрезов основного металла.

Сварные соединения контролируются с помощью стандартного набора инструментов:

– Лупа: обычно 7-кратное или 10-кратное увеличение для детального осмотра подозрительных участков.

– Универсальные шаблоны сварщика (УШС-2, УШС-3 или УШС-4): главный инструмент для измерения высоты валика, ширины шва, глубины подрезов и зазоров.

– Штангенциркуль: для измерения смещения кромок и толщины деталей;

– Металлические линейки и рулетки: для разметки и измерения длин дефектных участков;

– Набор щупов: для проверки величины зазоров между листами;

– Фонарик: для обеспечения освещенности не менее 500 лк на поверхности.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
						76
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Методика проведения

- Поверхность шва и прилегающая зона (не менее 20 мм в каждую сторону) должны быть очищены от шлака, брызг металла, ржавчины и грязи до металлического блеска;
- Поиск видимых трещин и пор невооруженным глазом или через лупу;
- Прикладывание шаблонов (УШС) для проверки соответствия параметров шва чертежу и ГОСТу;
- Все выявленные дефекты заносятся в «Акт визуального и измерительного контроля».

Ультразвуковая дефектоскопия (УЗК)

Ультразвуковая дефектоскопия – это акустический метод неразрушающего контроля, основанный на способности высокочастотных звуковых колебаний отражаться от границ раздела сред с разными акустическими свойствами (металл/воздух, металл/шлак). Ультразвуковой контроль регламентируется по ГОСТ Р 55724–2013 [26] и производится в соответствии СТО 00220256–005–2005 [27]. Ультразвуковой контроль проводим для продольных и кольцевых сварных швов в объеме 100 %.

УЗК позволяет обнаружить наиболее опасные внутренние дефекты:

- Трещины (продольные и поперечные): Самые опасные дефекты, являющиеся концентраторами напряжений;
- Непровары: Отсутствие сплавления между основным металлом и швом или между слоями шва;
- Поры: Газовые полости внутри шва (одиночные, цепочки, скопления);
- Шлаковые включения: Частицы шлака, не всплывшие на поверхность при сварке;
- Несплавления: Дефекты по кромкам соединения.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
						77
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Оборудование и средства контроля

Для проведения контроля стыковых швов резервуара диаметром 1620 мм используется следующий комплект:

- Дефектоскоп: Современный цифровой ультразвуковой дефектоскоп (например, A1212 MASTER, A1214 EXPERT или UD4-76);
- Преобразователи (ПЭП). Для стыковых соединений (толщина стенки обычно 8–16 мм) применяются наклонные совмещенные ПЭП с углами ввода 65°, 70° или 75° и частотой 2.5–5.0 МГц;
- Стандартные образцы предприятия (СОП): «Плоские» образцы или образцы с кривизной (при малых диаметрах), имеющие искусственные дефекты типа «зарубка» для настройки чувствительности;
- Контактная жидкость: Глицерин, машинное масло или специальные контактные гели для обеспечения акустического контакта между ПЭП и металлом.

Методика проведения контроля

Процесс контроля делится на три этапа:

- Подготовка поверхности: Околошовная зона (с обеих сторон шва) очищается от брызг, окалины и краски на ширину не менее 50–100 мм. На поверхность наносится контактная жидкость;
- Настройка прибора: Настройка ведется по СОП. Устанавливается поисковый уровень чувствительности (для поиска дефектов) и контрольный уровень (для принятия решения о браковке);
- Процесс сканирования: ПЭП перемещают зигзагообразно вдоль шва («шаг сканирования»), обеспечивая прозвучивание всего объема наплавленного металла. Для стыковых швов используется метод «прямого» и «однажды отраженного» луча. При появлении эхо-сигнала, превышающего поисковый уровень, дефектоскопист определяет координаты дефекта (глубину, расстояние от оси шва) и его характеристики (амплитуду, условную протяженность).

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
						78
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Критерии оценки (браковка)

Дефект считается недопустимым и подлежит исправлению, если:

- Его амплитуда эхо-сигнала выше браковочного уровня;
- Условная протяженность превышает нормы, установленные в РД (руководящем документе) на изготовление резервуара.

Капиллярный контроль

Контроль сварных соединений капиллярным методом регламентируется требованиями ГОСТ 18442-80 [28]. В данной работе цветной метод капиллярного контроля назначен для проверки сварных швов № 3, № 4, № 5 в объеме 100 %.

Для резервуаров хранения сжиженного газа метод применяется для выявления поверхностных и сквозных дефектов, которые невозможно обнаружить визуально из-за их малого размера или особенностей геометрии шва (особенно в тавровых и нахлесточных соединениях).

Объект контроля и выявляемые дефекты

Контролю подлежат угловые, тавровые и нахлесточные сварные швы деталей толщиной 10 мм. Метод позволяет выявить:

- Микротрещины: выходящие на поверхность, в том числе в зоне термического влияния;
- Поверхностные поры: одиночные и групповые;
- Несплавления: по кромкам угловых швов;
- Сквозные дефекты: (при контроле методом «керосиновой пробы» или двусторонним ПВК).

Дефектоскопические материалы (Средства контроля)

Для контроля резервуара СУГ используется набор расходных материалов (например, системы типа Sherwin или Magnaflux), состоящий из трех компонентов:

- Очиститель: для удаления органических загрязнений и остатков пенетранта;
- Пенетрант (обычно ярко-красный): жидкость с высокой проникающей способностью;

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

– Проявитель (белый): сорбент, который «вытягивает» пенетрант из полости дефекта на поверхность, создавая контрастный индикаторный рисунок.

Методика проведения контроля

Процесс выполняется в пять этапов:

– Подготовка поверхности: Швы и прилегающая зона (не менее 20 мм) очищаются механически, а затем обезжириваются очистителем. Поверхность должна быть сухой.

– Нанесение пенетранта: Наносится на сухую поверхность (кистью или распылением). Время выдержки — 10–20 минут. За это время жидкость под действием капиллярных сил заполняет полости дефектов;

– Удаление излишков: Пенетрант аккуратно удаляется с поверхности ветошью, смоченной очистителем, так, чтобы он остался только внутри дефектов. Важно не «вымыть» его из трещин;

– Нанесение проявителя: Наносится тонким равномерным слоем. После высыхания (через 10–20 минут) на белом фоне проявляются красные следы.

Осмотр и интерпретация:

– Линейные индикации — трещины, несплавления;

– Округлые индикации — поры.

Оценка результатов

Результаты считаются удовлетворительными, если на поверхности не обнаружено индикаторных следов дефектов, превышающих нормы, установленные нормативно-технической документацией на конкретное изделие (для сосудов под давлением поверхностные трещины не допускаются).

Гидравлические испытания

Контроль регламентируется РД 24.200.11–90 [29], а критерии оценки качества определяются согласно ГОСТ 34347–2017 и ГОСТ 3242–79 [30]. Гидравлическими испытаниями проверяются сварные швы № 1, № 2, № 3 в объеме 100 %.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80

Гидравлические испытания являются завершающим этапом контроля качества и проводятся с целью проверки прочности конструкции и герметичности всех сварных соединений. Испытания проводятся после завершения всех сварочных работ, термообработки (если предусмотрена) и получения положительных результатов неразрушающего контроля (ВИК, УЗК, ПВК).

Условия проведения испытаний

Для горизонтального/вертикального резервуара диаметром 1620 мм и общей высотой (длиной) 3470 мм испытания проводятся на специальном стенде или на месте установки до нанесения антикоррозионного покрытия и изоляции.

Испытательная среда: Техническая вода. Температура воды должна быть не ниже +5 °С и не выше +40 °С (чтобы избежать выпадения конденсата на стенках, мешающего осмотру).

Разность температур: Температура стенки резервуара должна быть близка к температуре воды.

Порядок проведения испытания

Процесс включает следующие этапы:

– Резервуар полностью заполняется водой. При заполнении верхний воздушный клапан (воздушник) должен быть открыт до полного вытеснения воздуха (появления воды).

– Подъем давления. Давление поднимают плавно в два-три этапа с промежуточными остановками для контроля отсутствия видимых деформаций.

Скорость подъема не должна превышать 0,5 МПа в минуту.

– Выдержка: При достижении пробного давления 2,29 МПа резервуар выдерживается под нагрузкой в течение не менее 10 минут (точное время — по паспорту изделия, но не менее 10 мин).

– Снижение давления и осмотр: Давление плавно снижается до расчетного (рабочего). На этом давлении производится тщательный осмотр всех сварных швов (стыковых, тавровых, угловых) и разъёмных соединений.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81

Для контроля давления используются два манометра (один контрольный). Манометры должны иметь:

- Класс точности не ниже 1,5.
- Диапазон шкалы, при котором рабочее давление находится в средней трети шкалы.
- Действующую печать о поверке.

Критерии приемки

Резервуар считается выдержавшим гидравлические испытания, если:

- Не обнаружено падения давления по манометру во время выдержки.
- В сварных соединениях и на основном металле не обнаружено признаков разрыва, течи, следов «потений» или капель воды.
- После испытаний не обнаружено видимых остаточных деформаций конструкции.

Оформление результатов

По окончании испытаний вода сливается (при открытых воздушниках для исключения вакуумирования). Результаты фиксируются в акте гидравлического испытания, который входит в комплект обязательной исполнительной документации к резервуару.

Механические испытания

Проведение тестов и оценка их результатов выполняются на основании ГОСТ 6996-66 [31] и РД 26-11-08-86 [32]. Механические испытания проводим для стыковых сварных швов в объеме 100 %.

Для контроля качества швов резервуара изготавливаются контрольные пластины, из которых вырезаются образцы для следующих видов испытаний.

Испытание на статическое растяжение (2 образца)

Цель: Определение временного сопротивления (предела прочности) сварного соединения.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82

Методика: Образцы (тип XII или XVIII по ГОСТ 6996) закрепляются в захватах разрывной машины и подвергаются плавному растяжению до разрушения.

Критерий приемки: Предел прочности сварного соединения должен быть не ниже минимально допустимого предела прочности основного металла стенки резервуара.

Важный нюанс: Если разрушение произошло по основному металлу (вне зоны сварки) при напряжении ниже нормы, испытание считается неудовлетворительным.

Испытание на статический изгиб (2 образца)

Цель: Определение пластичности сварного соединения.

Образец устанавливается на опоры испытательного стенда, и через пуансон прикладывается нагрузка до достижения заданного угла изгиба (обычно 100–180° для сталей СУГ). Один образец испытывается «корнем шва наружу», второй — «лицом шва наружу». На поверхности образца не должно быть трещин, надрывов или расслоений длиной более установленной нормы. Отсутствие трещин подтверждает высокую вязкость и пластичность металла шва.

Испытание на ударный изгиб (3 образца)

Цель: Определение ударной вязкости металла шва, что критически важно для резервуаров сжиженного газа, работающих при избыточном давлении и возможных отрицательных температурах.

Используются образцы с надрезом (тип Менаже или Шарпи). Испытания проводятся на маятниковом копре. Надрез наносится по центру шва. Учитывая специфику СУГ, испытания часто проводятся при пониженных температурах (согласно климатическому исполнению резервуара). Среднее значение ударной вязкости по результатам трех испытаний должно быть не ниже нормативного значения для данной марки стали. Допускается снижение значения для одного из образцов не более чем на 30%, при условии, что среднее остается в норме.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
						83
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Документирование и оценка

По результатам всех испытаний составляется протокол механических испытаний. Если хотя бы один тип испытаний показал неудовлетворительный результат, проводятся повторные испытания на удвоенном количестве образцов. Если и повторные испытания не пройдены, вся партия (или конкретный шов) признается браком, что требует пересмотра технологии сварки или квалификации сварщика.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
						84
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Заключение

В ходе выполнения данной выпускной квалификационной работы был спроектирован корпус резервуара, предназначенного для хранения сжиженного углеводородного газа, и сформирован полный технологический цикл его производства. На основании проделанной работы сформулированы следующие выводы:

В качестве основного конструкционного материала обосновано применение низколегированной стали 09Г2С. Проведенный с помощью программного комплекса «ПАССАТ» расчет напряженно-деформированного состояния позволил установить оптимальную толщину стенки обечайки и днищ – 10 мм. Данный параметр при расчетном давлении 1,66 МПа гарантирует соблюдение коэффициента запаса прочности при одновременной минимизации металлоемкости изделия. Актуальность принятых решений подтверждена патентно-информационным поиском за 15-летний период.

Для обеспечения требуемых эксплуатационных характеристик внедрена комбинированная система сварки:

– Автоматическая сварка под слоем флюса (АФ) с использованием связки проволоки Св–08ГА и флюса АН–348А применена для продольных и кольцевых стыковых соединений (С29 по ГОСТ 8713–79). Это обеспечило стабильность формирования обратного валика и высокую производительность труда.

– Механизированная сварка в среде углекислого газа проволокой Св–08Г2С выбрана для узлов со сложной геометрией (штуцеры, нахлесточные и тавровые соединения У12, Н1, Т3 по ГОСТ 14771–76).

Выбран парк высокотехнологичного оборудования, включающий сварочный трактор АДФ-1000 и инверторный полуавтомат EVOMIG 500. Для механизации сборочно-сварочных операций предусмотрено использование роликового вращателя УРАЛ-СВР-Б-3000-1000 и специализированной тележки ВТ-26, что позволяет достичь требуемой точности позиционирования заготовок.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85

Разработана комплексная программа аттестации сварных соединений, включающая:

– Неразрушающий контроль: ВИК, ультразвуковую дефектоскопию и капиллярный метод (ПВК) для выявления подповерхностных и микроскопических дефектов.

– Разрушающий контроль: Механические испытания на растяжение, статический и ударный изгиб, подтвердившие пластичность и прочность швов.

– Итоговые испытания: Проведение гидравлической опрессовки пробным давлением 2,29 МПа, подтвердившее полную герметичность и несущую способность корпуса.

Разработанный комплект технической документации на пять ключевых сварных соединений соответствует требованиям действующих нормативных документов и может быть рекомендован к внедрению в производственный процесс.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
						86
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Список источников

1. **Акулов, А.И. Технология и оборудование сварки плавлением** [Текст]: учеб. для вузов / А.И. Акулов, Г.А. Бельчук, В.П. Демянцевич. – М.: Машиностроение, 1977. – 432 с.
2. **Сварка и резка в промышленном строительстве** [Текст]: справочник строителя в 2-х т. / Б.Д. Малышев [и др.]. – М.: Стройиздат, 1989. – 590 с.
3. **Блинов, А.Н. Сварные конструкции** [Текст]: учеб. для техникумов / А.Н. Блинов, К.В. Лялин. – М.: Стройиздат. – 1990. – 353 с.
4. **Единая система технологической документации (ЕСТД). Общие положения (с Поправкой)** [Текст]: ГОСТ 3.001 – 2011. – Введ. 2012 – 01–01. – М.: Стандартинформ, 2011. – 10 с.
5. **Устройство для автоматической сварки стыковым или угловым швом цилиндрической обечайки с дном** [Текст]: Исигами, Ацуси, Хаякава, НаояДжФе [и др.]; заявитель и патентообладатель «Стил Корпорейшн». № 2005103201/23; заяв. 07.02.2005, опубл. 27.06.2006. – 8 с: ил.
6. **Стенд для сварки цилиндрической обечайки с днищем** [Текст]: пат.541215 С1 Рос. Федерация: МПК В23К 37/04 / Ибрагимов Наиль Габдулбариевич, Швецов Михаил Викторович [и др.]; заявитель и патентообладатель заявитель и патентообладатель Публичное акционерное общество «Татнефть» им. В.Д. Шашина. № 2005103101/22; заяв. 07.02.2005, опубл. 27.06.2005. – 8 с: ил.
7. **Роликовый стенд для совмещения обечайки с обечайкой и обечайки с днищем** [Текст]: пат. 2541215 Рос. Федерация: МПК / Ибрагимов Н.Г., Швецов М.В., Талыпов Ш.М. [и др.]; заявитель и патентообладатель Публичное акционерное общество «Татнефть» им. В.Д. Шашина. – № 2013143488/02; заяв. 26.09.2013, опубл. 10.02.2015, Бюл. № 4. – 11 с: ил.
8. **Способ сварки неплавящимся электродом в среде защитных газов**[Текст]: пат. 2609600 Рос. Федерация: МПК В23К 31/02 /

					<i>ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ</i>	Лист
						87
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Краснов Дмитрий Александрович ,Люстик Валерий Евгеньевич,
Перегудов Юрий Георгиевич (RU) [и др.]; заявитель и патентообладатель Публичное акционерное общество «Татнефть» им. В.Д. Шашина. – № 2015131974; заяв. 1.07.2016, опубл. 03.02.2017, Бюл. № 4. – 20 с: ил.

9. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением" [Текст]: Приказ Ростехнадзора от 25.03.2014 №116 (ред. от 12.12.2017)– 35 с

10. Нефтяная и газовая промышленность. Теплообменники кожухотрубчатые. Технические требования [Текст]: ГОСТ 31842-2012 (ИСО 16812:2007) – Введ. 2018–04–14. – М.: Стандартиформ, 2018 – 31 с

11. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность при ветровых, сейсмических и других внешних нагрузках [Текст]: ГОСТ34283-2017– 32с– Введ. 2017–05–18.–М.: Стандартиформ, 2017 – 31 с

12. Шрифты для средств измерений и автоматизации. Начертания и основные размеры (с Изменениями N 1, 2) [Текст]: ГОСТ 26.020-80– Введ. 2008–02–13. – М.: Стандартиформ, 2008– 30 с.

13. Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки [Текст]: ГОСТ 5632-72.–Введ. 1972–09–01.–М.: Стандартиформ, 2072. – 15 с.: ил.

14. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования [Текст]: ГОСТ 34233.1-2017. – Введ. 2018–02–13. – М.: Стандартиформ, 2018. – 98 с.: ил.

15. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования [Текст]: ГОСТ 34233.2-2017. – Введ. 2018–02–13. – М.: Стандартиформ, 2018. – 95 с.: ил.

16. Прокат повышенной прочности. Общие технические условия (с Изменением N1) [Текст]: ГОСТ 19281-2014.–Введ. 2016–09–01.–М.: Стандартиформ, 2016. – 9 с.: ил.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		88

17. Днища эллиптические, отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов [Текст]: ГОСТ 6533-78. – Введ. – 1980-01-01. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. – II, 39 с.: ил.

18. Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры [Текст]: ГОСТ 8713–79. – Введ. 1981–01–01. – М.: Стандартиформ, 2007 – III, 38 с.

19. Инженерно-технологические основы подготовки сварочного производства [Текст]: учеб. пособие / В.Г. Гордиевский, С.Н. Чугунов, И.А. Казанцев [и др.]; под ред. д.т.н., проф. А.Е. Розена. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2010. – 276 с.

20. Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры [Текст]: ГОСТ 14771-76. – Введ. – 1982-01-01. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. – II, 41 с.: ил

21. Проволока стальная сварочная. Технические условия [Текст]: ГОСТ 2246–70. – Введ. 1973–01–01. – М.: Стандартиформ, 2008. – III, 15 с.

22. Флюсы сварочные плавленые для автоматической сварки. Технические условия (с Поправкой) ГОСТ Р 52222-2004

23. Инструкция по визуальному и измерительному контролю[Текст]: СТО 9701105632-003-2021. – Введ. 2021–26–03. – М.: Госгортехнадзор России, 2021. – 153 с.

24.Аргон газообразный и жидкий. Технические условия (введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 октября 2016 г. N 1520-ст). ГОСТ10157-2016– Введ. 2016–06–01. – М.: ОАО «НИИХИММАШ», 2016. – 25 с.

25. Сварка сосудов, аппаратов и трубопроводов из углеродистых и низколегированных сталей СТО 00220368-012-2008– Введ. 2006–06–01. – М.: ОАО «НИИХИММАШ», 2006. – 113 с.

26. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые [Текст]: ГОСТ Р 55724–2013. – Введ. 2015–07–01. – М.: Стандартиформ, 2014. – 41 с.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		89

27. Соединения сварные. Методы контроля качества [Текст]:

ГОСТ 3242–79. – Введ. 1981–01–01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.
– 9 с.

28. Сварные соединения. Механические испытания [Текст]: РД 26–11–08–

86. – Введ. 1987–01–01. – Волгоград: Министерство химического и нефтяного машиностроения, 1986. – 26 с.

29. Сварные соединения. Методы определения механических свойств

[Текст]: ГОСТ 6996–66. – Введ. 1967–01–01. – М.: Стандартиформ, 2005. – 83 с.
38.

32. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования

[Текст]: ГОСТ 18442–80. – Введ. 1981–06–30. – М.: Издательство стандартов, 1987.
– 56 с.

					<i>ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						<i>90</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Приложение А

Карты технологического процесса сварки

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
						91
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ № 1

Таблица 1 – Характеристики процесса

№ п\п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ 34347–2017
2	Способ сварки	АФф
3	Основной материал (марки)	09Г2С
4	Основной материал (группа)	1 (МО1)
5	Сварочные материалы	Сварочная проволока Св-08ГА по ГОСТ 2246–70 Флюс АН-348А по ГОСТ Р 52222–2004
6	Толщина свариваемых деталей	10,0 мм
7	Длина деталей в зоне сварки	2000,0 мм
8	Тип шва	СШ
9	Тип соединения	С29 ГОСТ 8713–79
10	Вид шва соединения	дс, зк
11	Форма подготовки кромок	Без скоса кромок
12	Положение при сварке	Н1
13	Режимы подогрева	Отсутствует
14	Режимы термообработки	Отсутствует
15	Дополнительные параметры	Нет

Таблица 2 – Конструкция соединения, конструктивные элементы шва

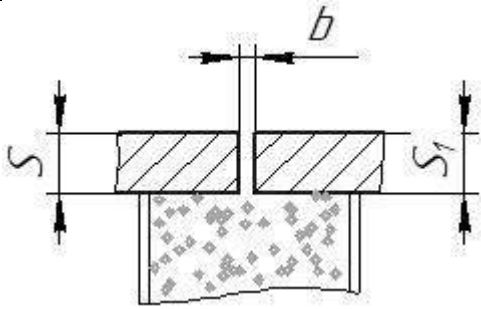
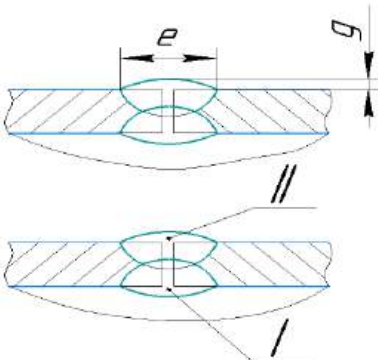
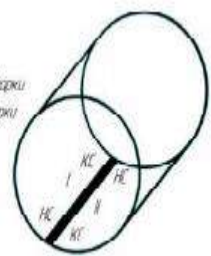
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

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

Параметр	$S=S_1$	N	b	e	g
Значение	10,0	2	1,0...3,0	не более 24,0	0,5...3,0

16. Сварочное оборудование (тип): АЗ совместно с А8. Универсальный сварочный выпрямитель – Форсаж-800; сварочный трактор – АДФ-1000.

17. Технологические параметры сварки:

Таблица 4 – Технологические параметры сварки

Номер слоя (валика)	Диаметр сварочной проволоки, мм	Род тока, полярность	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Величина вылета проволоки, мм
Шов № 1	4,0	по	560,0... 700,0	36,0... 40,0	27,0... 33,0	120,0... 140,0
Шов № 2	4,0	по	560,0... 700,0	36,0... 40,0	27,0... 33,0	120,0... 140,0

18. Технологические требования к сварке:

18.1. Перед сборкой под сварку кромки и прилегающие к ним зоны основного металла должны быть очищены от загрязнений, масел и прочих загрязнений на ширине не менее 20 мм.

18.2. Собрать и прихватить. Прихватки выполняет аттестованный сварщик.

18.2.1 Прихватки выполняются механизированной сваркой в среде защитных газов. Сварочные материалы: Св-08Г2С по ГОСТ 2246–70, защитный газ – двуокись углерода по ГОСТ 8050–85. Режимы сварки: диаметр сварочной проволоки 1,6 мм; постоянный ток обратной полярности; сварочный ток 290...310 А; напряжение дуги 28...30 В; вылет электродной проволоки 15...20 мм.

18.2.2 Провести визуальный контроль прихваток после их очистки. Прихватки, имеющие дефекты, должны быть удалены механическим путем и заварены вновь с последующим контролем. Требования к прихватке: длина каждой прихватки должна составлять от 20 до 30 мм; толщина прихваток от 3 до

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		93

5 мм; расстояние между прихватками от 150 до 300 мм.

18.3. Шов №1 сварить до чертежных размеров согласно чертежу. Способ сварки – АФф (на флюсовой подушке).

18.4. Выбрать корень шва до чистого металла.

18.5. Сварить шов №2 до чертежных размеров согласно чертежу. Способ сварки – АФ (под слоем флюса).

18.6. Провести визуальный и измерительный контроль шва.

Таблица 5 – Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный	ГОСТ ИСО17637-2014	ГОСТ ИСО17637-2014	100 %
Измерительный	ГОСТ 3242-79	ГОСТ 34347-2017	100 %
Ультразвуковой	ГОСТ Р 55724–2013 СТО00220256–005–2005	СТО 00220256–005–2005	100 %
Гидравлический	РД 24.200.11–90	ГОСТ 34347–2017 ГОСТ 3242–79	100 %
Статическое растяжение	РД 26–11–08–86 ГОСТ 6996–66	ГОСТ 6996–66	2 образца
Статический изгиб			2 образца
Ударный изгиб			3 образца

Разработал: _____ / Ганькин/

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		94

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ № 2

Таблица 1 – Характеристики процесса

№ п\п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ 34347–2017
2	Способ сварки	АФф
3	Основной материал (марки)	09Г2С
4	Основной материал (группа)	1 (МО1)
5	Сварочные материалы	Сварочная проволока Св-08ГА по ГОСТ 2246–70 Флюс АН-348А по ГОСТ Р 52222–2004
6	Толщина свариваемых деталей	10,0 мм
7	Длина деталей в зоне сварки	5077,0 мм
8	Тип шва	СШ
9	Тип соединения	С29 ГОСТ 8713–79
10	Вид шва соединения	дс, зк
11	Форма подготовки кромок	Без скоса кромок
12	Положение при сварке	Н1
13	Режимы подогрева	Отсутствует
14	Режимы термообработки	Отсутствует
15	Дополнительные параметры	Нет

Таблица 2 – Конструкция соединения, конструктивные элементы шва

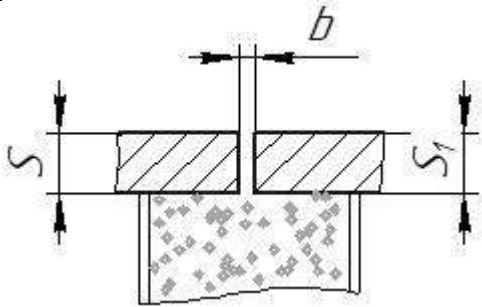
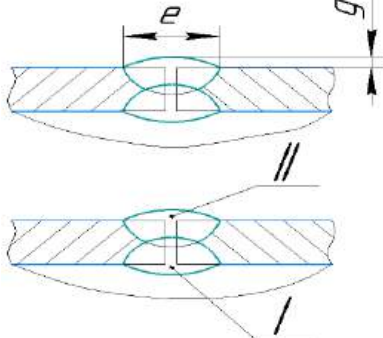
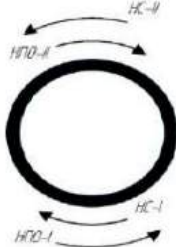
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		<p>НС-матричные диски НПО-матричные подкладки обечайки</p> 

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

Параметр	$S=S_1$	N	b	e	g
Значение	10,0	2	1,0...3,0	не более 24,0	0,5...3,0

16. Сварочное оборудование (тип): АЗ совместно с А8. Универсальный сварочный выпрямитель – Форсаж-800; сварочный трактор – АДФ-1000.

17. Технологические параметры сварки:

Таблица 4 – Технологические параметры сварки

Номер слоя (валика)	Диаметр сварочной проволоки, мм	Род тока, полярность	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Величина вылета проволоки, мм
Шов № 1	4,0	по	560,0... 700,0	36,0... 40,0	27,0... 33,0	120,0... 140,0
Шов № 2	4,0	по	560,0... 700,0	36,0... 40,0	27,0... 33,0	120,0... 140,0

18. Технологические требования к сварке:

18.1. Перед сборкой под сварку кромки и прилегающие к ним зоны основного металла должны быть очищены от загрязнений, масел и прочих загрязнений на ширине не менее 20 мм.

18.2. Собрать и прихватить. Прихватки выполняет аттестованный сварщик.

18.2.1 Прихватки выполняются механизированной сваркой в среде защитных газов. Сварочные материалы: Св-08Г2С по ГОСТ 2246–70, защитный газ – двуокись углерода по ГОСТ 8050–85. Режимы сварки: диаметр сварочной проволоки 1,6 мм; постоянный ток обратной полярности; сварочный ток 290...310 А; напряжение дуги 28...30 В; вылет электродной проволоки 15...20 мм.

18.2.2 Провести визуальный контроль прихваток после их очистки. Прихватки, имеющие дефекты, должны быть удалены механическим путем и заварены вновь с последующим контролем. Требования к прихватке: длина каждой прихватки должна составлять от 20 до 30 мм; толщина прихваток от 3 до

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		96

5 мм; расстояние между прихватками от 150 до 300 мм.

18.3. Шов №1 сварить до чертежных размеров согласно чертежу. Способ сварки – АФф (на флюсовой подушке).

18.4. Выбрать корень шва до чистого металла.

18.5. Сварить шов №2 до чертежных размеров согласно чертежу. Способ сварки – АФ (под слоем флюса).

18.6. Провести визуальный и измерительный контроль шва.

Таблица 5 – Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный	ГОСТ ИСО17637-2014	ГОСТ ИСО17637-2014	100 %
Измерительный	ГОСТ 3242-79	ГОСТ 34347-2017	100 %
Ультразвуковой	ГОСТ Р 55724–2013 СТО00220256–005–2005	СТО 00220256–005–2005	100 %
Гидравлический	РД 24.200.11–90	ГОСТ 34347–2017 ГОСТ 3242–79	100 %
Статическое растяжение	РД 26–11–08–86 ГОСТ 6996–66	ГОСТ 6996–66	2 образца
Статический изгиб			2 образца
Ударный изгиб			3 образца

Разработал: _____ / Ганькин/

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		97

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ № 3

№ п\п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ 34347–2017
2	Способ сварки	УП
3	Основной материал (марки)	09Г2С
4	Основной материал (группа)	1 (МО1)
5	Сварочные материалы	Сварочная проволока Св-08Г2С по ГОСТ 2246–70 Двуокись углерода по ГОСТ 8050–85
6	Толщина свариваемых деталей	10,0 мм
7	Длина деталей в зоне сварки	2263 мм
8	Тип шва	УШ
9	Тип соединения	У12 РД 26-18-8-89
10	Вид шва соединения	дс, зк
11	Форма подготовки кромок	С разделкой кромок 45 град
12	Положение при сварке	Н2
13	Режимы подогрева	Отсутствует
14	Режимы термообработки	Отсутствует
15	Дополнительные параметры	Нет

Таблица 2 – Конструкция соединения, конструктивные элементы шва

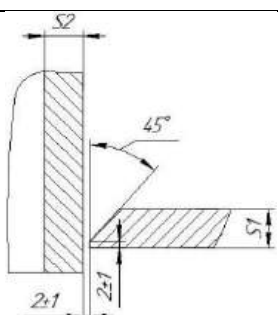
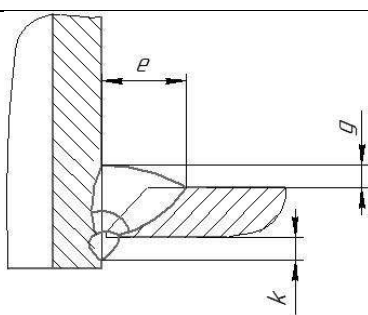
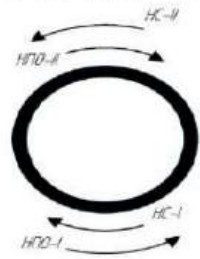
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		<p>НЧ-нагревание диска; НПД-нагревание подварки обечайки</p> 

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

Параметр	<i>S</i> ₁	<i>S</i> ₂	<i>N</i>	<i>K</i>	<i>e</i>	<i>g</i>
Значение	10,0	12,0	2	3	20	4

16. Сварочное оборудование (тип): А8.; сварочный полуавтомат – *EVOMIG 500*.

17. Технологические параметры сварки:

Таблица 4 – Технологические параметры сварки

Номер слоя (валика)	Диаметр сварочной проволоки, мм	Род тока, полярность	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Величина вылета проволоки, мм	Скорость подачи сварочной проволоки, м/ч
Шов № 1	1,6	по	280,0... 320,0	30,0... 36,0	15,0... 17,0	15,0... 20,0	300,0... 320,0
Шов № 2	1,6	по	280,0... 320,0	30,0... 36,0	15,0... 17,0	15,0... 20,0	300,0... 320,0
Шов № 3	1,6	по	280,0... 320,0	30,0... 36,0	15,0... 17,0	15,0... 20,0	300,0... 320,0

18. Технологические требования к сварке:

18.1. Перед сборкой под сварку кромки и прилегающие к ним зоны основного металла должны быть очищены от загрязнений, масел и прочих загрязнений на ширине не менее 20 мм.

18.2. Собрать и прихватить. Прихватки выполняет аттестованный сварщик.

18.2.1 Прихватки выполняются механизированной сваркой в среде защитных газов. Сварочные материалы: Св-08Г2С по ГОСТ 2246–70, защитный газ – двуокись углерода по ГОСТ 8050–85. Сварочные материалы: Св-08Г2С по ГОСТ 2246–70, защитный газ – двуокись углерода по ГОСТ 8050–85. Режимы сварки: диаметр сварочной проволоки 1,6 мм; постоянный ток обратной полярности; сварочный ток 290...310 А; напряжение дуги 28...30 В; вылет электродной проволоки 15...20 мм.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		99

18.2.2 Провести визуальный контроль прихваток после их очистки. Прихватки, имеющие дефекты, должны быть удалены механическим путем и заварены вновь с последующим контролем. Требования к прихватке: длина каждой прихватки должна составлять от 15 до 20 мм; толщина прихваток от 3 до 5 мм; расстояние между прихватками от 80 до 100 мм.

18.3. Выполнить корневой шов согласно чертежу. Провести визуальный контроль.

18.4. Выбрать корень шва механическим путем.

18.5. Сварить облицовочный шов до чертежных размеров согласно чертежу, оббить шлак. Провести визуальный контроль.

18.6. Провести визуальный и измерительный контроль шва.

Таблица 5 – Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный	ГОСТ ИСО17637-2014	ГОСТ ИСО17637-2014	100 %
Измерительный	ГОСТ 3242-79	ГОСТ 34347-2017	100 %
Ультразвуковой	ГОСТ Р 55724–2013 СТО00220256–005–2005	СТО 00220256–005–2005	100 %
Гидравлический	РД 24.200.11–90	ГОСТ 34347–2017 ГОСТ 3242–79	100 %

Разработал: _____ /Ганькин/

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		100

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ № 4

№ п\п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ 34347–2017
2	Способ сварки	УП
3	Основной материал (марки)	09Г2С
4	Основной материал (группа)	1 (МО1)
5	Сварочные материалы	Сварочная проволока Св-08Г2С по ГОСТ 2246–70 Двуокись углерода по ГОСТ 8050–85
6	Толщина свариваемых деталей	10,0 мм
7	Длина деталей в зоне сварки	880 мм
8	Тип шва	НШ
9	Тип соединения	Н1 ГОСТ 14771-76
10	Вид шва соединения	дс, зк
11	Форма подготовки кромок	Без скоса кромок
12	Положение при сварке	В1
13	Режимы подогрева	Отсутствует
14	Режимы термообработки	Отсутствует
15	Дополнительные параметры	Нет

Таблица 2 – Конструкция соединения, конструктивные элементы шва

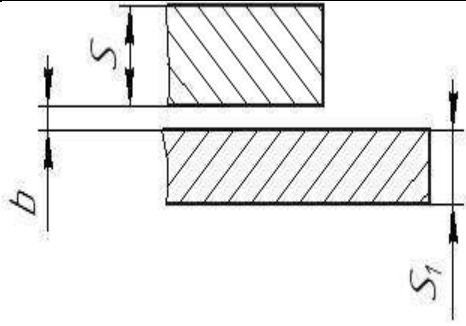
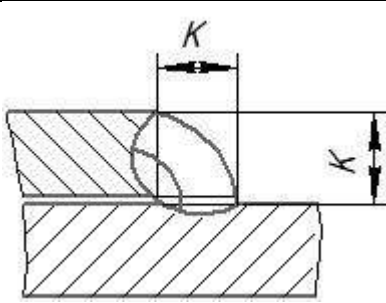
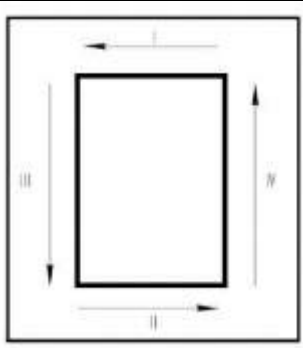
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

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

Параметр	S_1	S_2	N	K	b
Значение	10,0	10,0	2	10	0..1

16. Сварочное оборудование (тип): А8; сварочный полуавтомат – *EVOMIG 500*.

17. Технологические параметры сварки:

Таблица 4 – Технологические параметры сварки

Номер слоя (валика)	Диаметр сварочной проволоки, мм	Род тока, полярность	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Величина вылета проволоки, мм	Скорость подачи сварочной проволоки, м/ч
Шов № 1	1,6	по	280,0... 320,0	30,0... 36,0	15,0... 17,0	15,0... 20,0	300,0... 320,0
Шов № 2	1,6	по	280,0... 320,0	30,0... 36,0	15,0... 17,0	15,0... 20,0	300,0... 320,0

18. Технологические требования к сварке:

18.1. Перед сборкой под сварку кромки и прилегающие к ним зоны основного металла должны быть очищены от загрязнений, масел и прочих загрязнений на ширине не менее 20 мм.

18.2. Собрать и прихватить. Прихватки выполняет аттестованный сварщик.

18.2.1 Прихватки выполняются механизированной сваркой в среде защитных газов. Сварочные материалы: Св-08Г2С по ГОСТ 2246–70, защитный газ – двуокись углерода по ГОСТ 8050–85. Сварочные материалы: Св-08Г2С по ГОСТ 2246–70, защитный газ – двуокись углерода по ГОСТ 8050–85. Режимы сварки: диаметр сварочной проволоки 1,6 мм; постоянный ток обратной полярности; сварочный ток 290...310 А; напряжение дуги 28...30 В; вылет электродной проволоки 15...20 мм.

18.2.2 Провести визуальный контроль прихваток после их очистки. Прихватки, имеющие дефекты, должны быть удалены механическим путем и заварены вновь с последующим контролем. Требования к прихватке: длина каждой прихватки

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		102

должна составлять от 15 до 20 мм; толщина прихваток от 3 до 5 мм; расстояние между прихватками от 80 до 100 мм.

18.3. Выполнить корневой шов согласно чертежу. Провести визуальный контроль.

18.4. Выбрать корень шва механическим путем.

18.5. Сварить облицовочный шов до чертежных размеров согласно чертежу, оббить шлак. Провести визуальный контроль.

18.6. Провести визуальный и измерительный контроль шва.

Таблица 5 – Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный	ГОСТ ИСО17637-2014	ГОСТ ИСО17637-2014	100 %
Измерительный	ГОСТ 3242-79	ГОСТ 34347-2017	100 %
Цветная дефектоскопия	ГОСТ 18442-80	ГОСТ 18442-80	100 %

Разработал: _____ / Ганькин/

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		103

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ № 5

№ п\п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ 34347–2017
2	Способ сварки	УП
3	Основной материал (марки)	09Г2С
4	Основной материал (группа)	1 (МО1)
5	Сварочные материалы	Сварочная проволока Св-08Г2С по ГОСТ 2246–70 Двуокись углерода по ГОСТ 8050–85
6	Толщина свариваемых деталей	10,0 мм
7	Длина деталей в зоне сварки	200 мм
8	Тип шва	ТШ
9	Тип соединения	ТЗ ГОСТ 14771-76
10	Вид шва соединения	дс, зк
11	Форма подготовки кромок	Без скоса кромок
12	Положение при сварке	В1
13	Режимы подогрева	Отсутствует
14	Режимы термообработки	Отсутствует
15	Дополнительные параметры	Нет

Таблица 2 – Конструкция соединения, конструктивные элементы шва

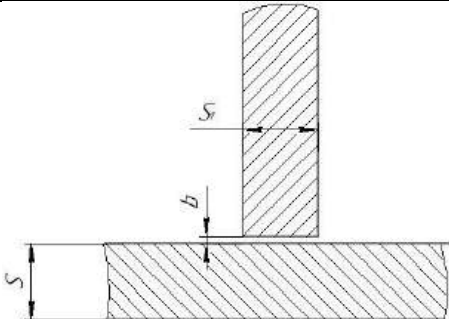
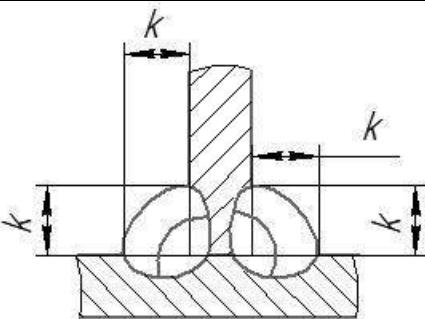
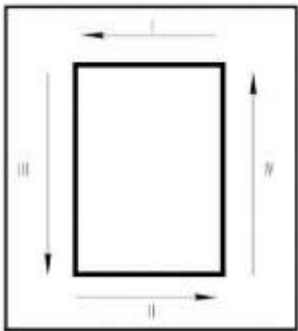
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

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

Параметр	S_1	S_2	N	K	e	g
Значение	10,0	10,0	2	3	20	4

16. Сварочное оборудование (тип): А8; сварочный полуавтомат – *EVOMIG 500*.

17. Технологические параметры сварки:

Таблица 4 – Технологические параметры сварки

Номер слоя (валика)	Диаметр сварочной проволоки, мм	Род тока, полярность	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Величина вылета проволоки, мм	Скорость подачи сварочной проволоки, м/ч
Шов № 1	1,6	по	280,0... 320,0	30,0... 36,0	15,0... 17,0	15,0... 20,0	300,0... 320,0
Шов № 2	1,6	по	280,0... 320,0	30,0... 36,0	15,0... 17,0	15,0... 20,0	300,0... 320,0

18. Технологические требования к сварке:

18.1. Перед сборкой под сварку кромки и прилегающие к ним зоны основного металла должны быть очищены от загрязнений, масел и прочих загрязнений на ширине не менее 20 мм.

18.2. Собрать и прихватить. Прихватки выполняет аттестованный сварщик.

18.2.1 Прихватки выполняются механизированной сваркой в среде защитных газов. Сварочные материалы: Св-08Г2С по ГОСТ 2246–70, защитный газ – двуокись углерода по ГОСТ 8050–85. Сварочные материалы: Св-08Г2С по ГОСТ 2246–70, защитный газ – двуокись углерода по ГОСТ 8050–85. Режимы сварки: диаметр сварочной проволоки 1,6 мм; постоянный ток обратной полярности; сварочный ток 290...310 А; напряжение дуги 28...30 В; вылет электродной проволоки 15...20 мм.

18.2.2 Провести визуальный контроль прихваток после их очистки. Прихватки, имеющие дефекты, должны быть удалены механическим путем и заварены вновь с последующим контролем. Требования к прихватке: длина каждой прихватки

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		105

должна составлять от 15 до 20 мм; толщина прихваток от 3 до 5 мм; расстояние между прихватками от 80 до 100 мм.

18.3. Выполнить корневой шов согласно чертежу. Провести визуальный контроль.

18.4. Выбрать корень шва механическим путем.

18.5. Сварить облицовочный шов до чертежных размеров согласно чертежу, оббить шлак. Провести визуальный контроль.

18.6. Провести визуальный и измерительный контроль шва.

Таблица 5 – Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный	ГОСТ ИСО17637-2014	ГОСТ ИСО17637-2014	100 %
Измерительный	ГОСТ 3242-79	ГОСТ 34347-2017	100 %
Цветная дефектоскопия	ГОСТ 18442-80	ГОСТ 18442-80	100 %

Разработал: _____ / Ганькин/

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		106

Приложение Б

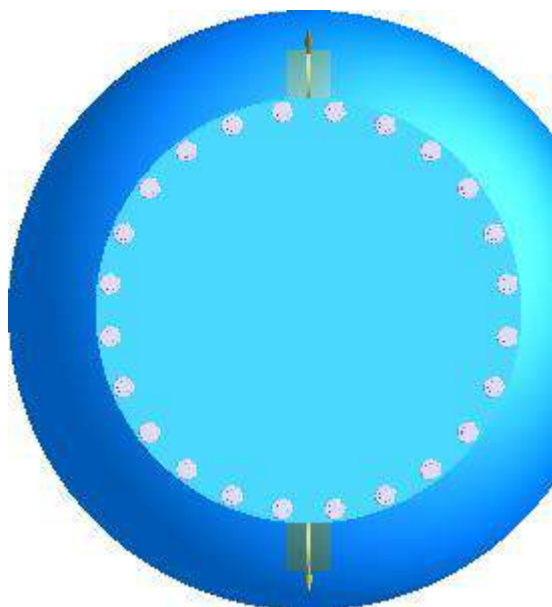
Расчеты в программе Пассат

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
						107
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Общие положения

Расчет на прочность выполнен на ЭВМ по программе «Пассат **3.07.0.14**», разработанной ООО НТП «Трубопровод».

1.1.1 Общий вид аппарата



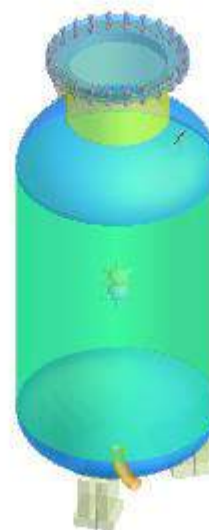
Вид сверху



Вид слева



Вид спереди



Изометрический вид

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		108

11 Днище эллиптическое №2

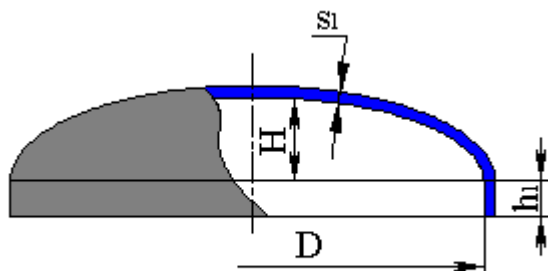


Рис.1.1.Эскиз элемента

11.1 Исходные данные

Материал:	09Г2С Труба
Внутренний диаметр, D:	1400 мм
Толщина стенки днища, s_1 :	10 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c_1 :	2 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, c_2 :	0,8 мм
Прибавка технологическая, c_3 :	0 мм
Суммарная прибавка к толщине стенки, c :	2,8 мм
Высота днища, H:	325 мм
Длина отбортовки, h_1 :	40 мм
Коэффициент прочности сварного шва:	
φ	= 1

11.2 Расчёт в рабочих условиях

11.2.1.1 Условия нагружения:

Расчётная температура, T:	20	°C
Расчётное внутреннее избыточное давление, p:	1,624	МПа

1.1.2 Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.2-2017

11.2.1.1.1 Допускаемые напряжения:

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Труба при температуре 20 °C (рабочие условия):

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		109

$$[\sigma]^{20} = 183 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Труба при температуре $T = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

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

11.2.1.1.2 Днища, нагруженные внутренним избыточным давлением.

Радиус кривизны в вершине днища:

$$R = \frac{D^2}{4 \cdot H} = 1400^2 / (4 \cdot 325) = 1508 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0.5 \cdot p} + c = (1,624 \cdot 1508) / (2 \cdot 183 \cdot 1 - 0.5 \cdot 1,624) + 2,8 = 9,503 \text{ мм}$$

$$9,503 \text{ мм} \leq 10 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие работоспособности выполнено.**

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (s_1 - c)}{R + 0.5 \cdot (s_1 - c)} = 2 \cdot 183 \cdot 1 \cdot (10 - 2,8) / (1508 + 0.5 \cdot (10 - 2,8)) = 1,744 \text{ МПа}$$

$$1,744 \text{ МПа} \geq 1,624 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

1.1.3 Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидроиспытания

Пробное давление при гидравлическом испытании, при работе элемента под внутренним давлением, ГОСТ 34347-2017:

$$P_{\text{гп}} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} - p_H = 1.25 \cdot 1,624 \cdot 183 / 183 - 0,03226 = 1,997 \text{ МПа}$$

11.3 Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

11.3.1.1 Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, T:	20	$^{\circ}\text{C}$
Расчётное внутреннее избыточное давление, p:	2,322	МПа

1.1.4 Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.2-2017

11.3.1.1.1 Допускаемые напряжения:

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Труба при температуре $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (условия гидроиспытаний):

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		110

$$[\sigma]_{20} = \frac{R_{e/20}}{n_T} = 280 / 1,1 = 254,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Труба при температуре T = 20 °С:

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

11.3.1.1.2 Днища, нагруженные внутренним избыточным давлением.

Радиус кривизны в вершине днища:

$$R = \frac{D^2}{4 \cdot H} = 1400^2 / (4 \cdot 325) = 1508 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0,5 \cdot p} + c = (2,322 \cdot 1508) / (2 \cdot 254,5 \cdot 1 - 0,5 \cdot 2,322) + 2,8 = 9,693 \text{ мм}$$

$$9,693 \text{ мм} \leq 10 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие работоспособности выполнено.**

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (s_1 - c)}{R + 0,5 \cdot (s_1 - c)} = 2 \cdot 254,5 \cdot 1 \cdot (10 - 2,8) / (1508 + 0,5 \cdot (10 - 2,8)) = 2,425 \text{ МПа}$$

$$2,425 \text{ МПа} \geq 2,322 \text{ МПа}$$

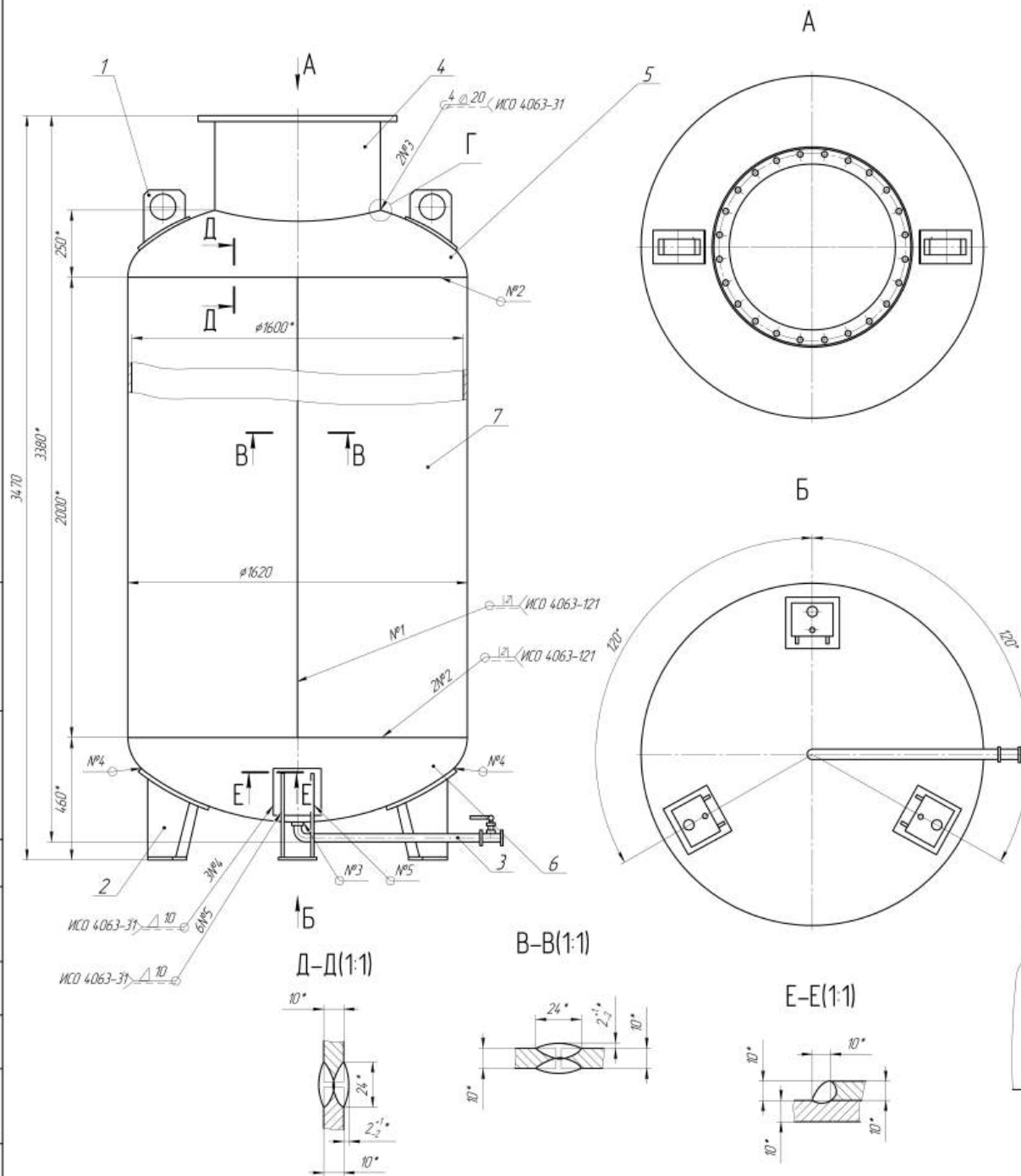
Заключение: **Условие прочности выполнено.**

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		111

Приложение В

Графическая часть

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091ПЗ	Лист
						112
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Технические характеристики

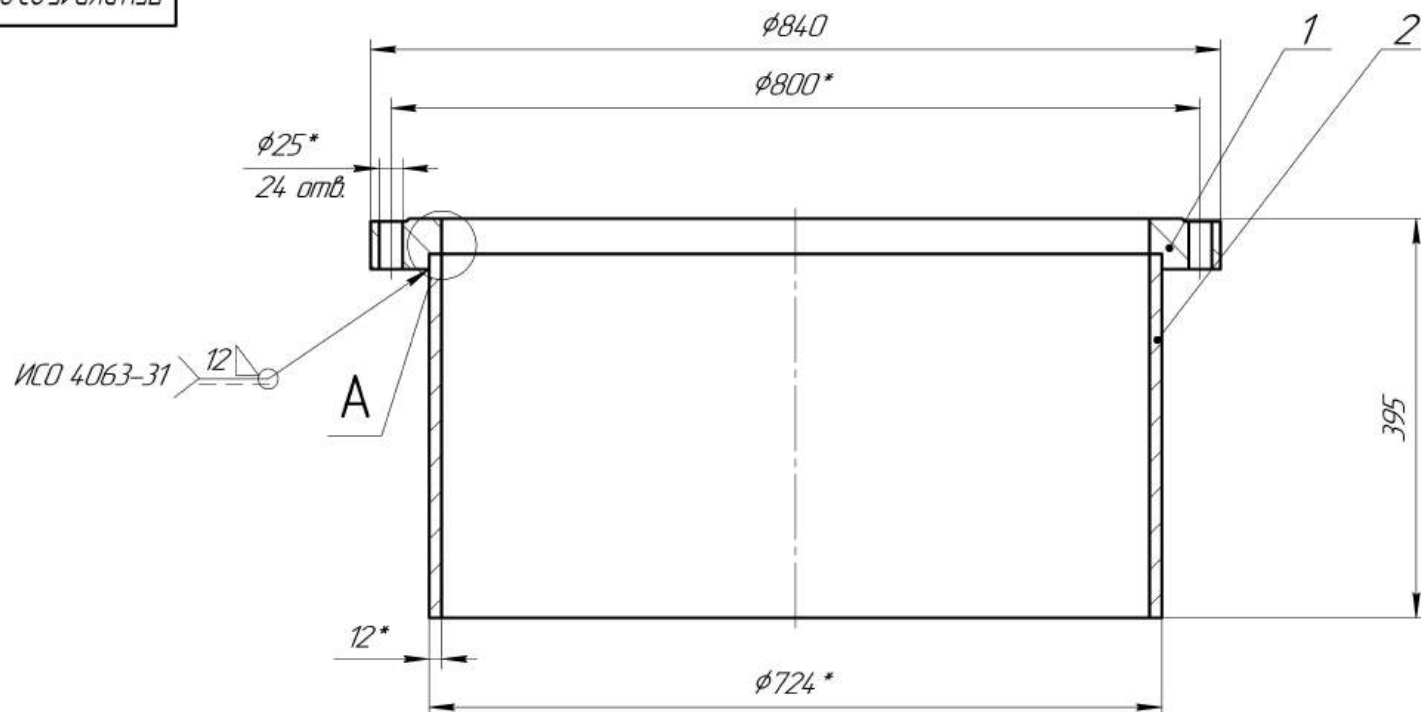
Назначение аппарата	хранение сжиженного газа	
Рабочая среда	сжиженный углеводородный газ	
Заполнение	85%	
Давление, МПа	рабочее	1,6
	пробное	2,29
Рабочая температура среды, °С	минимальная	минус 45
	максимальная	плюс 100
Класс опасности по ГОСТ 12.1.007-88	4	
Пожароопасность по ГОСТ 12.1.004-91	Да	
Категория и группа взрывоопасности по ГОСТ 12.1.004-91	Па-Т3	
Материал стенок	09Г2С-6	
Скорость коррозии, мм/год, не более	0,05	
Срок службы, лет	20	
Число циклов загрузки за весь срок службы	1000	
Масса, кг	2300	

Технические требования

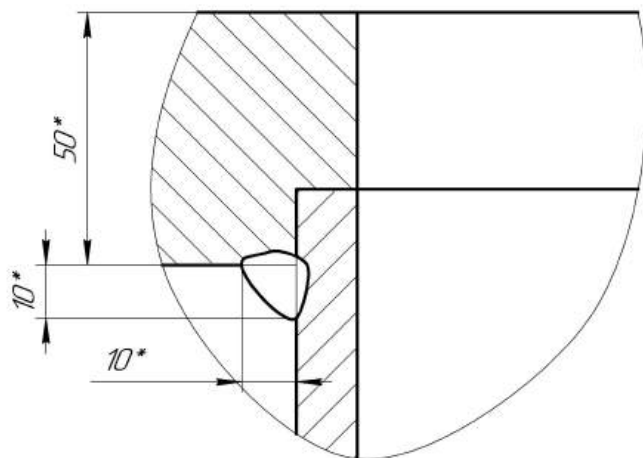
1. Размеры для справок
2. Резервуар изготовить в соответствии с требованиями Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением", ГОСТ 34.347-2017 "Сосуды и аппараты стальные сварные." ГОСТ 31838-2012 "Аппараты колонные. Технические требования".
3. Гидроиспытать на прочность и плотность пробным избыточным давлением 2,29 МПа в течение 30 минут. После гидроиспытания протуть сухим сжатым воздухом до исчезновения капельной жидкости.

ПГЧ.ВКР.15.03.01.223М0091СБ			
Исполн.	Провер.	Дата	Дата
Разработ.	Сметан В.С.	15.03.2023	15.03.2023
Эксп.	Кочетов А.В.		
Лектор	Кочетов А.В.		
Академик	Харин А.В.		
Мет.	Рябин А.Г.		

$\sqrt{Ra\ 12,5}$



$A(1:1)$



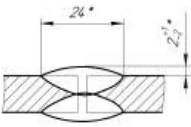
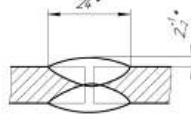
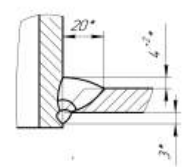
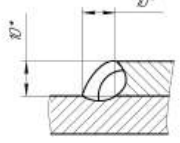
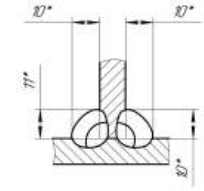
1. * Размер для справок
2. Сварные швы должны быть однородными по всей длине. На поверхности не должно быть кратеров, трещин, наплывов, посторонних включений.
3. Сварные швы очистить от окалины и шлака.
4. Маркировать обозначение чертежа и клеить клеймо ОТК краской, шрифтом 10 Пр.3 ГОСТ 26.020-80.

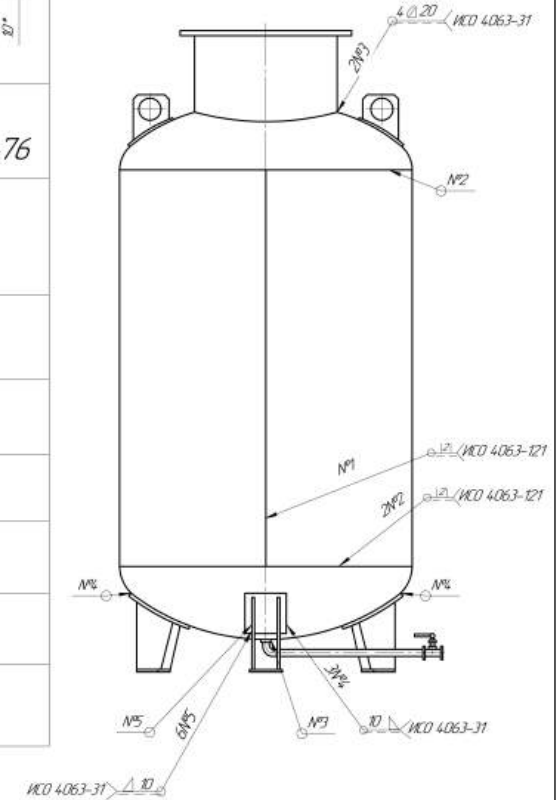
					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091СБ2			
					Люк Сборочный чертеж	Лист	Масса	Максимум
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				15
Разработ.		Ганькин В.С.						
Проб.		Крюков Д.Б.						
Т.контр.		Крюков Д.Б.				Лист	Листов 1	
Н.контр.		Харин А. В.				Кафедра СЛП и М		
Учтв.		Розен А.Е.				гр.223МОС41		

Копировал

Формат А3

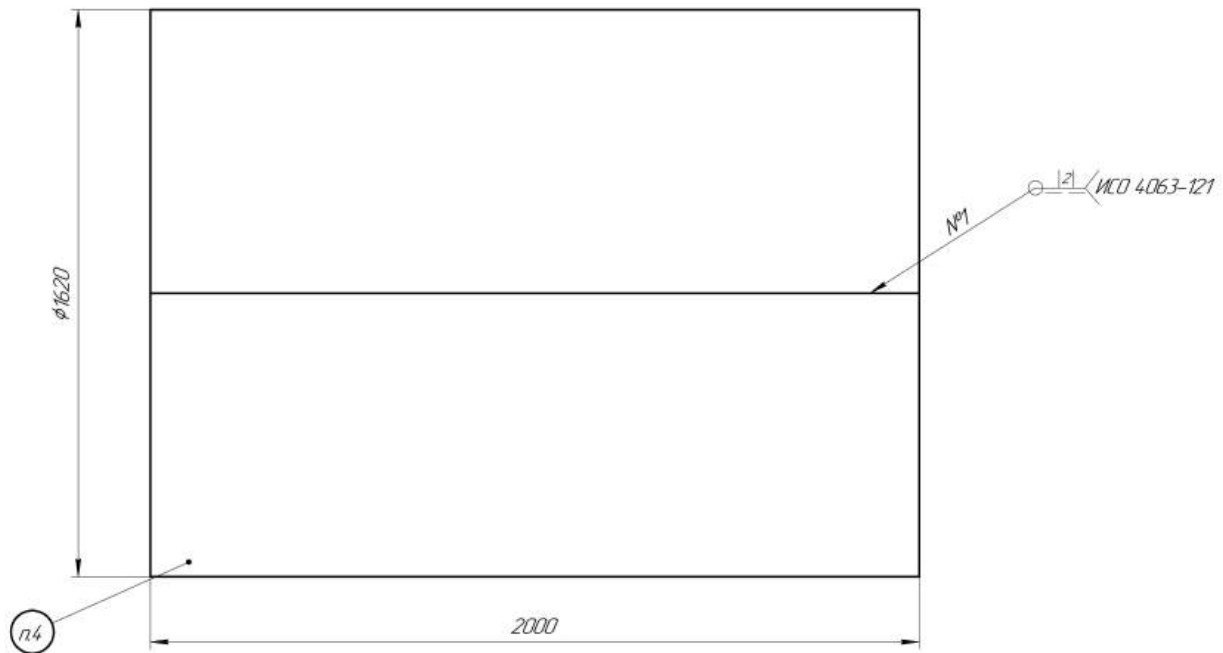
Методы контроля сварных швов и КСС

Номер сварного шва		1	2	3	4	5
Эскиз сварного шва						
Обозначение сварного шва		С29 по ГОСТ 8713-79	С29 по ГОСТ 8713-79	У12 по РД26-18-8-89	Н1 по ГОСТ 14771-76	Т3 по ГОСТ 14771-76
Методы контроля	Визуальный и измерительный контроль, 100%	+	+	+	+	+
	Ультразвуковой, 100%	+	+	-	-	-
	Гидравлический	+	+	+	-	-
	Цветная дефектоскопия, 100%	-	-	+	+	+
	Статическое растяжение	+	+	-	-	-
	Ударный изгиб	+	+	-	-	-
	Статический изгиб	+	+	-	-	-

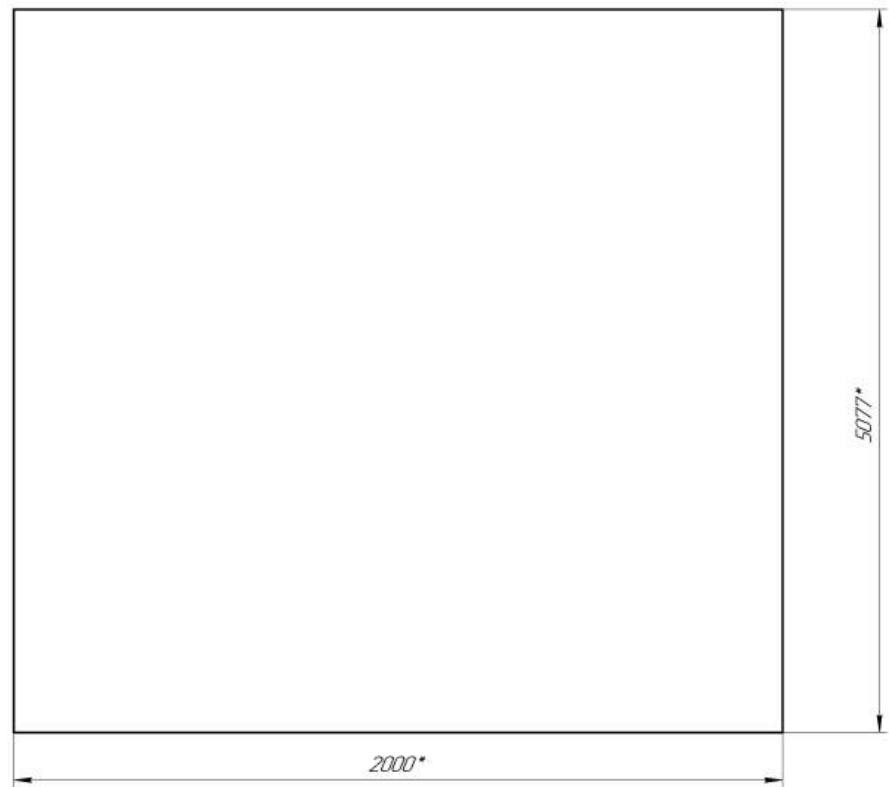


				ПЧ.ВКР.15.03.01.223М0091.Т44						
				Методы контроля сварных швов и КСС						
Исполн.	№ докум.	Лист	Дата	Лист	Листов	Масштаб				
Провер.	Технический									
Специр.	Контроль									
Исполн.	Иван А. В.			Лист	Листов	1		Код: С/П и М ар.223М0041		
Провер.	Иван А. В.									

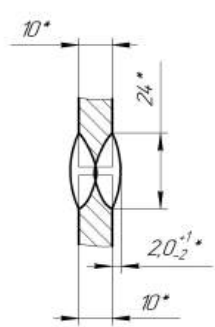
ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091.СБ1



Q



A(1:1)



- 1* Размеры для справок.
- 2. Смещение кольцевых кромок не более 12 мм.
- 3. Совместный увод кромок в продольном шве не более 12 мм.
- 4. Маркировать обозначение чертежа и клеить клеймо ОТК краской, шрифтом 20 Пр.3 ГОСТ 26.020-80.

				ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091.СБ1				
				Обечайка		Лист	Масса	Максимум
								1:10
						Лист	Листов	1
						Кафедра С/ПТ и М гр.223МОС41		
Имя	Лист	№ докум	Подп	Дата	Б-ПН-0-10 ГОСТ 19903-74			
Разработ		Ганькин В.С.			Лист 345-0972С-сб-6 ГОСТ 19284-2014			
Проб		Краснов Д.Б.			Копирован			
Техцентр		Краснов Д.Б.			Формат А2			
Исполн		Харин А.В.						
Учед		Розен А.Е.						

Технологические параметры режимов сварки

Обозначение шва	Условное обозначение способа сварки	НТД под сварку	Тип подготовки кромок	Порядок выполнения шва	Обозначение прохода	Технические режимы сварки						Марка проволоки	Диаметр проволоки d _п , мм	Защитная среда
						Сварочный ток I _{св} , А	Напряжение U, В	Скорость сварки V _{св} , м/ч	Скорость подачи электродной проволоки V _п , м/ч	Вылет электродной проволоки l, мм	Расход газа л/мин			
1	АФф	С29 ГОСТ 8713-79			А	560...700	36...40	27...33	120...140	25...30	-	Св-08ГА по ГОСТ 2246-70	4,0	Флюс АН-348А по ГОСТ 9087-81
					Б	560...700	36...40	27...33	120...140	25...30			4,0	
2	АФф	С29 ГОСТ 8713-79			А	560...700	36...40	27...33	120...140	25...30	-	Св-08ГА по ГОСТ 2246-70	4,0	Флюс АН-348А по ГОСТ 9087-81
					Б	560...700	36...40	27...33	120...140	25...30			4,0	
3	УП	У12 РД 26-18-8-89			А	280...320	30...36	15...17	300...315	15...20	15...20	Св-08Г2С по ГОСТ 2246-70	16	Углекислый газ по ГОСТ 8050-85
					Б	280...320	30...36	15...17	300...315	15...20				
4	УП	Н1 ГОСТ 14771-76			А	280...320	30...36	15...17	300...315	15...20	15...20	Св-08Г2С по ГОСТ 2246-70	16	Углекислый газ по ГОСТ 8050-85
					Б	280...320	30...36	15...17	300...315	15...20				
5	УП	Т3 ГОСТ 14771-76			А	280...320	30...36	15...17	300...315	15...20	15...20	Св-08Г2С по ГОСТ 2246-70	16	Углекислый газ по ГОСТ 8050-85
					Б	280...320	30...36	15...17	300...315	15...20				

ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0091.Т42									
Лист	№ докум.	Лист	Лист	Технологические параметры режимов сварки					
Лист	Техника ИТ	Лист	Лист	Теоретический чертеж					
Лист	Лист	Лист	Лист	Коррекция СЛТ и М					
Лист	Лист	Лист	Лист	ар.223М0041					
Лист	Лист	Лист	Лист	Коррекция					
Лист	Лист	Лист	Лист	Лист					

Средства технологического оснащения

Велосипедная тележка ВТ-28

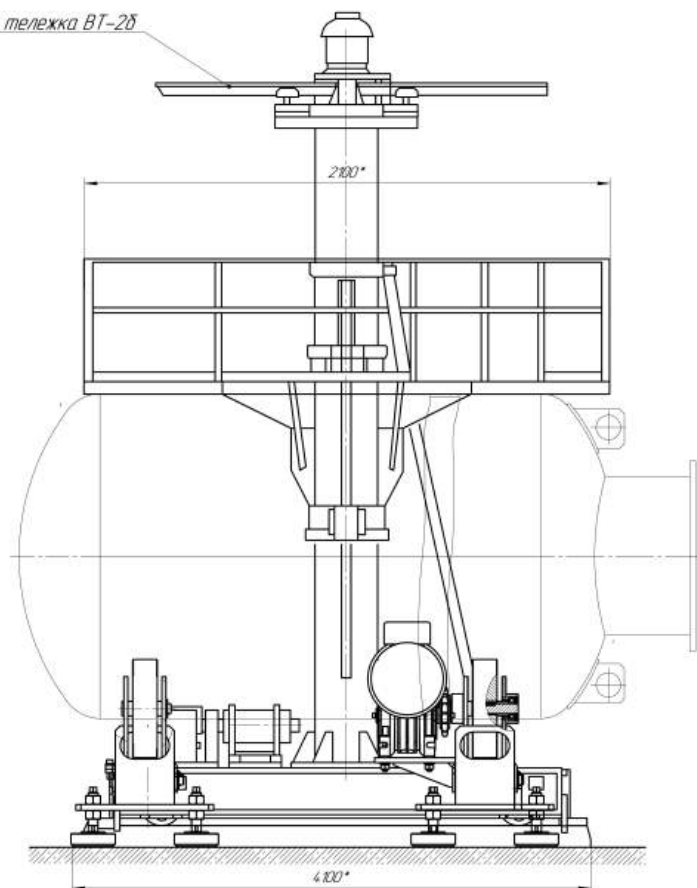
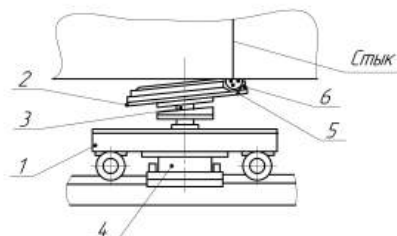
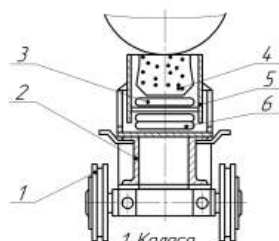


Схема флюсовой подушки для сварки кольцевых швов

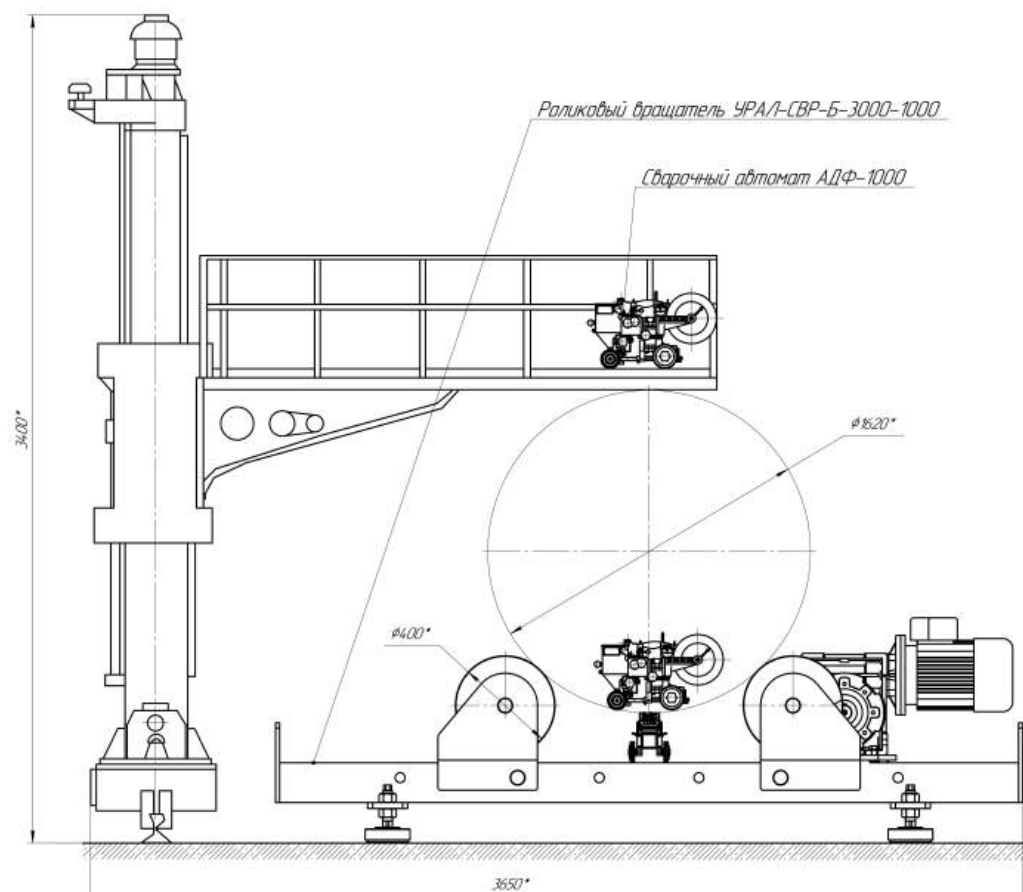


- 1-Тележка
2-Диск
3-Ось наклонная
4-Пневмоцилиндр
5-Ложемент
6-Камера резиновая

Схема флюсовой подушки для сварки продольных швов



- 1-Колесо
2-Тележка
3-Пневмошланг
4-Желоб
5-Подъемный корпус
6-Сдвоенный пневмошланг



Техническая документация

1. Высота удерживающих наименьшая	1000
наибольшая	2500
2. Вылет канцелярии от оси колонны до оси электрода	
наименьший	1440
наибольший	2420
3. Скорость перемещения тележки	
Рабочая м/мин	10
Маршевая м/мин	5
4. Скорость горизонтального перемещения канцелярии м/мин	1
5. Скорость подъема/опускания канцелярии м/мин	2
6. *Размеры для справок	

$$n = \frac{V_{\text{сб}}}{\pi \cdot D} = \frac{0,5}{\pi \cdot 162} = 0,0982 \text{ од/мин}$$

[illegible]

1. Сварка и сборка продольного шва обечайки по ГОСТ 8713-79
 2. Прокатка обечайки на вальцовочной машине для снятия напряжений
 3. Вырезка отверстия в днище под люк
 4. Сварка и сборка люка с днищем по РД 26-18-8-89
 5. Сварка и сборка днища со складками по ГОСТ 14.771-76
 6. Сварка и сборка второго днища с попрудцем по РД 26-18-8-89
 7. Сварка и сборка днища с подкладными листами по ГОСТ 8713-79
 8. Сварка и сборка днища с обечайкой по ГОСТ 8713-79
 9. Сварка и сборка второго днища с обечайкой по ГОСТ 8713-79
 10. Сварка и сборка опор с корпусом резервуара по ГОСТ 14.771-76

Исполн.	М.И.Иванов	Вед. инж.	В.И.Иванов	Дата	15.03.2023
Провер.	Г.И.Иванов	Инж.	Г.И.Иванов	Дата	15.03.2023

ПГЧ.ВКР.15.03.01.223

Сварка и сборка корпуса

1. Сборка и разборка продольного шва односторонней по ГОСТ 8713-79.
2. Практика односторонней на вальцовочной машине для снятия внутренних напряжений.
3. Вырезка отверстий в диле под лок.
4. Сборка и разборка лок с дилем по РД 26-18-8-89.
5. Сборка и разборка диле с шов по ГОСТ 7717-76.
6. Сборка и разборка вальцов диле с шов по РД 26-18-8-89.
7. Сборка и разборка диле с продольными швами по ГОСТ 7717-76.
8. Сборка и разборка диле с односторонней по ГОСТ 8713-79.
9. Сборка и разборка вальцов диле с односторонней по ГОСТ 8713-79.
10. Сборка и разборка шов с коррозией резиновое по ГОСТ 7717-76.

						ПГЧ.ВКР.15.03.01.223М0091Т43			
Имя	Фамилия	Имя	Фамилия	Имя	Фамилия	Сборка и сдвка картонка			
Имя	Фамилия	Имя	Фамилия	Имя	Фамилия	Имя	Фамилия	Имя	Фамилия
Имя	Фамилия	Имя	Фамилия	Имя	Фамилия	результаты			
Имя	Фамилия	Имя	Фамилия	Имя	Фамилия	Имя	Фамилия	Имя	Фамилия
Имя	Фамилия	Имя	Фамилия	Имя	Фамилия	Коп. ЧТ и М			
Имя	Фамилия	Имя	Фамилия	Имя	Фамилия	223М0041			

Appendix

<div style="text-align: center;">  </div>	<div style="text-align: center;">  </div>
<div style="text-align: center;">  </div>	<div style="text-align: center;">  </div>

