

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

Факультет
машиностроения и транспорта
(наименование)

Кафедра
Сварочное, литейное производство
и материаловедение
(наименование)

Направление подготовки

15.03.01 «Машиностроение»
(код и наименование)

Профиль

«Оборудование и технология
сварочного производства»
(наименование)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему

«Разработка технологии сборки и сварки горизонтального
резервуара для хранения сжиженного газа – пропан из стали
09Г2С»

Студент

 15.06.18
(подпись, дата)

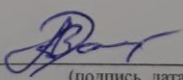
Егорычев Георгий Антонович
(ф.и.о. полностью)

Научный руководитель
к.т.н., доцент


(подпись, дата)

Семущкин А.В.
(фамилия, инициалы)

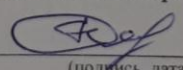
Нормоконтролёр
к.т.н., доцент


(подпись, дата)

Хорин А.В.
(фамилия, инициалы)

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

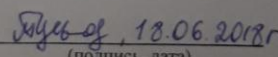
Заведующий кафедрой


(подпись, дата)

Логинов О.Н.
(фамилия, инициалы)

Работа защищена с отметкой отлично (протокол заседания ГЭК от 18.06.2018 № 2)

Секретарь ГЭК
к.т.н., доцент

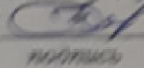
 18.06.2018г.
(подпись, дата)

Гуськов М.С.
(фамилия, инициалы)

Пенза 2018

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФАКУЛЬТЕТ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ТРАНСПОРТА
КАФЕДРА «ТРАНСПОРТНЫЕ МАШИНЫ»

«Утверждаю»
Заведующий кафедрой СЛШМ
к.т.н., доцент  О.Н. Логинов
подпись
« 08 » 12 2017 г.

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу

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

Егорычеву Георгию Антоновичу.

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

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

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

Тема работы: Разработка технологии сборки и сварки горизонтального резервуара для хранения сжиженного газа – пропан из стали 09Г2С.

Тема утверждена приказом ректора ПГУ № 1253/О от 08 декабря 2017 г.

Техническое задание на работу (серийность выпуска изделия, назначение изделия, технология сборки и сварки): Разработать технологию сборки и сварки горизонтального резервуара с учетом мелкосерийного производства.

- производство: мелкосерийное;
- Горизонтальный резервуар предназначен для хранения, приема и выдачи сжиженного газа – пропан.

Объем и содержание основной части работы

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

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.14МО105.ПЗ

Лист

- 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;
- детализовки 1л А1;
- схема сборки и сварки резервуара 1л А1;
- технологические параметры режимов сварки 1л А1;
- методы контроля сварных соединений и КСС 1л А1;
- средства технологического оснащения 1л А1;
- расчёт элемента конструкции в программе «ПАССАТ 2.13» 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.

Дата выдачи задания: 08.12.2017 г.

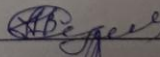
Руководитель ВКР:

к.т.н., доцент

Задание к исполнению принял студент

гр. 14МО1

08 декабря 2017 г.

 А.В. Семушкин

 Г.А. Егорычев

Выпускную квалификационную работу к защите допустить

Декан факультета машиностроения и транспорта

Политехнического института НГУ

С.Ю. Киреев

ОПОН освоена в полном объеме.
К государственной итоговой
аттестации допустить

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.14МО105.ПЗ

Лист

ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФАКУЛЬТЕТ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ТРАНСПОРТА
КАФЕДРА «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

Протокол

проверки на оригинальность в системе antiplagiat.ru бакалаврской работы на тему «Разработка технологии сборки и сварки горизонтального резервуара для хранения сжиженного газа – пропан из стали 09Г2С» студента 4 курса Факультета машиностроения и транспорта ПИ ПГУ, очной формы обучения, группы 14МО1 Егорычева Георгия Антоновича направления подготовки подготовки 15.03.01 «Машиностроение», профиль «Оборудование и технология сварочного производства».

Краткий отчет

ВЕРСИЯ ДЛЯ ПЕЧАТИ ☒ ЭКСПОРТ ☐ СТРАНИЦА ☐ ИСТОРИЯ ОТЧЕТОВ ☐ РУКОВОДСТВО ☐ ВЫБОР ВАРИАНТА ☐ год.

ВКР Егорычев проверка на антиплагиат

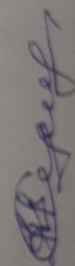
№	Доля в отчете	Доля в тексте	Источники	Актуальность	Модель текста	Время в отчете	Время в тексте
1011	4,31%	5,81%	2013, 338603, <u>теория, д.т.м., Виноградов...</u>	02 Янв 2015	Классический	14	14
1021	3,84%	4,13%	Рекомендации по проектированию 98.03...	10 Янв 2015	Модель текста	10	10
1031	4,24%	3,84%	Рассуждения о проектировании в 2012 году...	02 Фев 2014	Модель текста	10	10
1041	4,31%	3,67%	Детальное описание в 2012 году...	11 Янв 2015	Классический	10	10
1051	4,31%	3,27%	Детальное описание в 2015 году...	11 Янв 2015	Классический	10	10
1061	4,31%	3,19%	Детальное описание в 2017 году...	11 Янв 2015	Классический	10	10

Результат проверки на плагиат бакалаврской работы Егорычева Георгия Антоновича составляет 72,70 % оригинальности, что соответствует существующим требованиям стандарта СТО ПГУ 3.12-2015. Выпускная квалификационная работа может быть рекомендована к защите.

« 4 » 06 20 18

Руководитель ВКР,

К.Т.Н., доцент



А.В. Семушкин

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«Пензенский государственный университет»

ОТЗЫВ

РУКОВОДИТЕЛЯ О ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
БАКАЛАВРА

Студент: Егорычев Георгий Антонович.

Тема: Разработка технологии сборки и сварки горизонтального резервуара для хранения сжиженного газа – пропан из стали 09Г2С.

Направление подготовки – 15.03.01 «Машиностроение», группа 14МО1.

Профиль подготовки – «Оборудование и технология сварочного производства».

Выпускная квалификационная работа содержит 84 с., 2 приложения, 7 листов графического материала.

Предметом работы является: разработка технологии сборки и сварки горизонтального резервуара из стали 09Г2С в соответствии с ЕНТД.

Задачи работы:

- проанализировать объект производства;
- спроектировать конструкцию горизонтального резервуара;
- разработать технологический процесс сборки и сварки изделия с выбором материалов и средств технологического оснащения для его изготовления;
- произвести контроль продукции.

В выпускной квалификационной работе, в соответствии с исходными требованиями к сварной конструкции, выполнено проектирование элементов конструкции корпуса горизонтального резервуара и средств технологического оснащения, разработана технология сборки и сварки горизонтального резервуара.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были решены задачи по: методике выбора основных и сварочных материалов; расчету и проектированию сварной конструкции; расчёту режимов и выбору оборудования для получения качественных неразъемных соединений; составлению и составу технологической документации, применяемой в области сварочного производства; контролю качества сварных соединений.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14МО105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Конструкция корпуса горизонтального резервуара является технологичной, выбранные способы и режимы сварки позволяют выполнить сварные соединения требуемого качества при минимальных затратах.

Предлагаемая технология сборки и сварки корпуса горизонтального резервуара обеспечивает: стабильность производства; повышение производительности; простоты, надежности; уменьшение энерго- и металлоемкости.

Егорычев Г.А. относится к числу дисциплинированных студентов, умеющих планировать время выполнения работы и способных самостоятельно принимать рациональные инженерные решения.

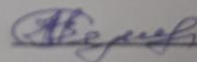
За время выполнения выпускной квалификационной работы Егорычев Г.А. показал себя технически грамотным студентом, обладающим современными методами решения профессиональных задач.

Выполненная работа соответствует требованиям, предъявляемым к выпускным квалификационным работам.

Считаю, что выпускная квалификационная работа может быть допущена к защите в ГАК, а ее автор Егорычев Г.А. заслуживает присвоение квалификации бакалавра по направлению подготовки 15.03.01 «Машиностроение» и профилю подготовки «Оборудование и технология сварочного производства».

Отзыв составил доцент каф. «СЛШМ»

ФГБОУ ВО «ПГУ» к.т.н., доцент



Семущкин А.В.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14.М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Аннотация

Выпускная квалификационная работа содержит 84 с., 27 рис., 21 табл., 48 использованных источников, 2 прил. Графическая часть из 7 листов формата А1.

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ РЕЗЕРВУАР, РАСЧЕТ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЕ, КОНТРОЛЬ, СВАРКА, ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ, СОЕДИНЕНИЕ

Объектом разработки является сварной корпус сосуда работающего под давлением из стали 09Г2С.

Предметом исследования является процесс сборки и сварки корпуса резервуара работающего под давлением из стали 09Г2С.

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

Задачи выпускной квалификационной работы:

- а) проанализировать объект производства;
- б) спроектировать сварную конструкцию изделия;
- в) разработать технологию сборки и сварки изделия с выбором материалов, оборудования и средств технологического оснащения.

В работе был проанализирован базовый вариант технологии сборки и сварки корпуса сосуда путем сварки элементов корпуса автоматической сваркой под слоем флюса, и разработана усовершенствованная технология путем замены ручной дуговой сварки покрытыми электродами на механизированную в среде защитного газа.

Эффективность спроектированной сварной конструкции и разработанной технологии определяется высокой производительностью на основе автоматизации и механизации операций сборки и сварки корпуса сосуда.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Содержание

Введение.....	4
1 Литературно – патентный обзор.....	5
2 Анализ объекта производства.....	9
2.1 Общие сведения.....	9
2.2 Обоснование выбора материалов сварной конструкции.....	11
3 Проектирование и расчет элементов конструкции изделия.....	16
4 Разработка технологии сборки и сварки изделия.....	28
4.1 Процесс сборки и сварки.....	28
4.2 Выбор способа сварки с его обоснованием и обоснованием сварочных материалов.....	36
4.3 Расчет режимов сварки.....	40
4.4 Выбор сварочного оборудования.....	63
5 Контроль качества сварных соединений.....	67
5.1 Контрольные сварные соединения.....	68
5.2 Визуальный контроль.....	69
5.3 Капиллярный метод.....	69
5.4 Ультразвуковая дефектоскопия.....	70
5.5 Механические испытания.....	71
6 Выбор средств технологического оснащения.....	73
Заключение	77
Список литературы.....	78
Приложение А.....	84
Приложение Б.....	95

Введение

Термин сварка объединяет под своим значением более 100 различных технологических процессов, участвующих в образовании неразъемных соединений конструкций из металла и неметалла, например, таких как композиты, стекло, резина и т.д. Неразъемное соединение получается в результате сильного нагрева кромок деталей, в ходе которого устанавливается межатомная связь. Атомы, а точнее их структура определяют свойства материала.

Область применения сварки очень широка, так как сварка является технологичным и надежным способом получения неразъемных соединений. Создавая настолько прочную межатомную связь, свариваемый металл и сварной шов способны выдержать длительную эксплуатацию под различными видами нагрузок и напряжений, например эксплуатация с внутренним давлением. Внутреннее давление рабочей среды, как правило, образуется в сосудах, которые предназначены для хранения различных сжиженных углеводородных газов, таких как пропан или бутан. Резервуар для хранения сжиженного газа состоит из нескольких частей: обечайки, днищ а так же дополнительного оборудования в виде штуцеров, люков и опор. Корпус резервуара может подвергаться перепадам температуры и давления, как рабочей среды, так и внешней, и должен выполнять предъявляемые условия прочности и надежности. Поэтому для соединения корпусных деталей и образования целькового корпуса сосуда используют сварку. Сварные швы данного аппарата должны отвечать всем государственным стандартам и нормам качества, быть выполнены квалифицированными специалистами на аттестованном оборудовании. Все сварные швы подвергаются 100 % контролю, а сам аппарат проходит гидравлические испытания.

По ходу выполнения выпускной квалификационной работы, выполняются определенные задачи – такие как расчет и проектирование сварной конструкции, выбор способа, материалов и технологии сборки – сварки для спроектированного корпуса сосуда, контроль качества сварных соединений.

					<i>ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 Литературно – патентный обзор

В данной выпускной квалификационной работе рассматривается технология сборки и сварки горизонтального резервуара работающего под давлением для хранения сжиженного газа – пропан. Для сварки корпуса и корпусных элементов данного аппарата используются современные способы – механизированная и автоматическая сварка. Выбранные способы сварки значительно уменьшают время на выполнение технологических операций сварки, автоматизируют процесс. Для оценки технологичности и актуальности применения, рассматриваемых в работе способов сварки горизонтального резервуара, выполняется литературно – патентный обзор.

Выбранные элементы регламента поиска приведены в таблице 1. В ней указаны также индексы МПК (международная патентная классификация). В заголовке таблицы регламента указано общее название исследуемого объекта.

Дата составления регламента – 09.02.2018г.

Объект поиска: сосуды и аппараты, для хранения сжиженного газа.

Цель поиска информации: выявление патентной и научно-технической информации, позволяющей исследовать технический уровень и тенденции развития технологии сварки.

Вид исследований и вид поиска: патентные исследования, тематический поиск.

Начало поиска: 09.02.2018г. Завершение поиска – 09.03.2018г.

Предмет поиска: технологии сварки горизонтального сосуда работающего под давлением для хранения сжиженного газа пропан из стали 09Г2С.

Страна поиска: Россия.

Источники информации, по которым будет проводиться поиск:

а) патентные:

1) наименование – описания патентов;

2) рубрики: МПК (МКИ): B21D51/24, B23K9/16, B23K9/18, B23K8/10, B23K35/06, F17C1/00, F35D5/02, F35H4/00, F34J5/00;

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

б) научно-технические:

1) наименование – реферативные журналы ВИНИТИ;

2) рубрики УДК: 621.791.032; 621.791.037; 621.791.754.

Ретроспективность: 15 лет.

Наименование информационной базы (фонда) – патентные фонды: ФИПС (интернет), Пензенского ЦНТИ, Пензенской областной библиотеки им. Лермонтова, НТБ ПГУ.

Таблица 1 – Регламент поиска

Предмет поиска	Индекс МПК	Широта поиска	Глубина поиска	Источники информации
Электродуговая сварка с использованием защитных газов	B23K 9/16	Россия	15 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС
Способ электродуговой сварки под флюсом	B23K 9/18	Россия	15 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС
Технология сварки стали 09Г2С	B23K35/06	Россия	15 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС
Способ изготовления сосудов высокого давления	F17C1/00 B21D51/24	Россия	15 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС

Регламент поиска выполнен полностью в соответствии с заданием. Патентный поиск в области проектирования сварных деталей машиностроения проведен с ретроспективой 10 лет. Для проведения поиска привлекались патентные материалы из фондов ФИПС, Пензенского ЦНТИ, Пензенской областной библиотеки, НТБ ПГУ. Широта и глубина поиска являются достаточными.

Результаты поиска и анализ отобранной информации: в результате поиска для последующего анализа были отобраны описания изобретений и способов,

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

применимых для технологии сварки емкостных аппаратов. Результаты поиска приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты поиска

Предмет поиска (объект исследования, его составные части)	Страна выдачи Классификационный индекс МПК	Заявитель (патентообладатель), страна, номер заявки, дата приоритета, дата публикации	Изобретения (полной модели, образца)
1	2	3	4
Электродуговая сварка с использованием защитных газов	Россия, B23K9/095 B23K9/12	Солодский Сергей Анатольевич, Россия. Ильященко Дмитрий Павлович, Россия. Брунова Надежда Алексеевна, Россия. 2015110215/02. Приоритет 23.03.2015 – 20.09.2016г.	Способ управления процессом механизированной сварки в среде защитных газов с подачей сварочной проволоки [1].
Технология сварки стали 09Г2С	Россия, B23K 9/14	Эльпатроник АГ (СН), Россия. 97106723/02. Приоритет 24.09.2005 – 12.05.2006г.	Способ сварки обечаек сосудов и устройство для его осуществления [2].
Способ электродуговой сварки под флюсом	Россия, B23K 9/18	Карзов Георгий Павлович, Россия. 2016145701. Приоритет 22.11.2016 – 29.01.2018г.	Состав флюса для сварки и наплавки низколегированной стали [3].
Способ электродуговой сварки под флюсом	Россия, B23K 9/18 B23K 9/002	Дремов Виталий Петрович, Россия. Трусилин Евгений Евгеньевич, Россия. 2015152007. Приоритет 03.12.2015 – 21.03.2017г.	Способ многодуговой сварки металлических изделий под слоем флюса [4].

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
Способ изготовления сосудов высокого давления	Россия, <i>F17C1/00</i> <i>B21D51/24</i>	Федулов С.А, Россия. 2002118719/06. Приоритет 20.01.2004 – 27.07.2005г	Способ изготовления сосудов высокого давления [5].

Проанализировав найденную информацию и сравнив ее, сделаем вывод применительно к технологии сварки аппаратов:

– совершенствуется состав сварочных флюсов, и сварочной проволоки в сторону повышения защиты металла при сварке, придание ему требуемых механических свойств и химического состава, что в свою очередь сказывается на качестве сварного соединения;

– совершенствуется процесс механизированной сварки в защитном газе, в сторону осуществления контроля всего процесса, возможность контроля величины капли электродного металла, что делает сварку нечувствительной к изменению напряжения источника питания;

– совершенствуется процесс автоматической сварки под слоем флюса, используется многодуговая сварка с передачей ультразвуковых колебаний жидкому металлу в сварочной ванне, что улучшает макроструктуру соединения и предотвращает появление внутренних дефектов;

– совершенствуются способы изготовления сварных сосудов и аппаратов высокого давления, применяются новые методы и последовательности нанесения сварных швов и автоматизации этих процессов, что ведет к снижению трудозатрат и брака, уменьшению остаточных напряжений в конструкции.

Современный технический уровень в области сварки аппаратов идет в сторону повышения уровня механизации и автоматизации сварочных процессов, повышения производительности труда, совершенствования оборудования и сварочных материалов, делая процесс сварки менее ресурсозатратным и более качественным.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2 Анализ объекта производства

2.1 Общие сведения

Подлежащий проектированию по ГОСТ Р 52630-2012 [6] корпус горизонтального резервуара для хранения сжиженного углеводородного газа (далее СУГ) пропана, объемом 50,0 м³ предназначен для приема, хранения, выдачи СУГ, аппарат работает под внутренним давлением 1,6 МПа, температура эксплуатации от минус 40 до 45 °С. Сосуд для хранения пропана относится ко второму классу опасности согласно ГОСТ 12.1.007-76 [7], по ГОСТ 12.1.-004-91 [8] – аппарат пожароопасный. Категория и группа взрывоопасности аппарата Па-Т3 согласно ГОСТ 12.1.001-78 [9].

Согласно заданию на проектирование, эксплуатация сосуда будет проходить в умеренном климате с высокой влажностью, группа климата У1 согласно ГОСТ 15150-69 [10], что способствует образованию коррозии. Для предотвращения этого процесса и его сдерживания, корпус конструкции необходимо покрыть антикоррозийным покрытием. Наиболее подходящие по экономическим соображениям и сроку эксплуатации – лакокрасочные покрытия. Данные покрытия регламентируются согласно ГОСТ 9.032-74 [11], ГОСТ 9.104-79 [12], ГОСТ 9.105-80 [13], ГОСТ 9.401-89 [14]. Перед нанесением защитного покрытия, материал корпуса изделия должен пройти подготовку к окрашиванию по ГОСТ 9.402-2004 [15]. Методы и способы покрытия регламентируются по правилам ГОСТ 9.105-80 [16]. Исходя из государственных стандартов и условий эксплуатации, резервуар покрывается эмалью ЭП-1267, регламентируется эмалью согласно ТУ 2312-122-00209711-02 [17]. Таким образом, внешняя среда агрессивная, рабочая агрессивная среда отсутствует.

Согласно ГОСТ Р 52630-2012 [6] конструкция сосуда должна соответствовать требованиям и обеспечивать высокий технологический уровень и безопасность сборки и эксплуатации, на протяжении всего срока службы.

Срок службы – 20 лет.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Количество циклов погрузки и разгрузки сосуда должно быть не менее 1000.

Для надежной и безопасной эксплуатации сосуд укомплектовывается технологическим оборудованием (уровнемеры, сигнализаторы, манометры, клапаны и т.д.), так как хранимый СУГ- пропан при контакте с воздухом образует взрывоопасные смеси и имеет температуру самовоспламенения плюс 466 °С.

Общие технические требования люков стальных сварных сосудов представлены в ОСТ 26-2011-83 [18].

Люки горизонтального сосуда проектируются по ОСТ 26-2002-83 [19].

Штуцера проектируются в соответствии с установленными параметрами из АТК 24.218.06-90 [20].

Основные геометрические параметры днищ проектируемого сосуда выбираются по таблицам из ГОСТ 6533-78 [21]. Днища аппарата изготавливаются методом горячей штамповки с последующей термообработкой, и сделаны из того же материала что и обечайка.

Для погрузки, разгрузки и транспортировки сосуд должен быть оборудован строповыми устройствами, указанными в ГОСТ 14115-85 [22].

Опоры горизонтальных сосудов проектируются и устанавливаются в соответствии с ОСТ 26-2091-93 [23].

Согласно [6] к аппарату предъявляются следующие требования:

- предельно допустимые отклонения размеров и форм днищ указаны в таблицах 4-6 ГОСТ Р 52630-2012 [6] и не должны быть превышены;
- так как сосуд эксплуатируется на открытом пространстве, то диаметр люков должен быть более 450 мм;
- все отверстия для люков должны быть размещены вне сварных швов;
- приваренные устройства должны иметь такую конструкцию, которая обеспечит удаление воздуха и слив содержимого сосуда при гидравлическом испытании;

					<i>ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

– внутренние устройства сосуда и его глухие части должны быть обеспечены отверстиями для полного опустошения внутренней полости сосуда в случае неполадки устройства аппарата.

На сосуде должна быть установлена табличка в соответствии с требованиями ГОСТ 12971-67 [24] и содержать следующие данные:

- товарный знак или наименование изготовителя;
- наименование или обозначение сосуда;
- порядковый номер сосуда по системе нумерации изготовителя;
- год изготовления;
- рабочее давление, МПа;
- расчетное давление, МПа;
- пробное давление, МПа;
- допустимая максимальная и (или) минимальная рабочая температура стенки, °С.

Все поверхности аппарата не должны иметь деформации после производства – царапины или раковины, и т.д. Поверхности деталей должны быть очищены от появившихся дефектов в ходе сварки и удовлетворять установленным требованиям в части 6.2 [6].

С учетом предъявляемых требований по эксплуатации сосуда, проводим выбор сварочных материалов корпуса и корпусных элементов.

2.2 Обоснование выбора основных материалов сварной конструкции

Согласно [6] для сосудов, эксплуатируемых на открытом воздухе, температуру стенки сосуда принимают равной абсолютной минимальной температуре района эксплуатации СП 131.13330.2012 [25] равной минус 40°С.

Так же по [6] запрещается использовать в качестве основного материала кипящие стали для пожаровзрывоопасных веществ, к которым относится пропан.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14.М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Исходя из требований, осуществляем подбор материала для корпуса аппарата и корпусных элементов, принимающих нагрузку из листового проката по ГОСТ 5520-79 [26]. Так как сварная конструкция работает под давлением, рабочая агрессивная среда отсутствует, а диапазон температур находится в диапазоне от минус 40 до плюс 45 °С, выбираем низколегированную сталь 09Г2С. Данная сталь имеет хорошую стойкость к температурным воздействиям, высокую механическую прочность. Главная особенность выбранной марки стали – хорошая свариваемость, обеспечивающая при этом низкую концентрацию углерода и не делая металл хрупким. Химический состав стали представлен в таблице 3, механические свойства стали при температуре плюс 20 °С представлены в таблице 4.

Таблица 3 – Химический состав стали 09Г2С

Элемент	C	Si	Mn	Ni	S	Cr	N	Cu	As	Fe
Содержание, %	До 0,12	0,5... 0,8	1,3... 1,7	до 0,3	до 0,04	до 0,3	до 0,008	до 0,3	до 0,08	96... 97,0

Таблица 4 – Механические свойства стали 09Г2С

Параметр	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	КСУ при минус 40 °С, Дж/см ²	δ_5 , %
Значение	345,0	490,0	39,0	21,0

Для опор и подкладных листов выбираем сталь СтЗсп. Данная сталь является основным материалом для изготовления опорных элементов, прокат стали СтЗсп регламентируется в соответствии с ГОСТ 14637-89 [27]. Химический состав стали СтЗсп представлен в таблице 5, механические свойства при температуре плюс 20°С представлены в таблице 6.

Таблица 5 – Химический состав в стали СтЗсп

Элемент	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As
Со- держа- ние, %	0,14... 0,22	0,15... 0,3	0,4... 0,65	до 0,3	до 0,05	до 0,04	до 0,3	до 0,008	до 0,3	до 0,08

Таблица 6 – Механические свойства стали СтЗсп

Параметр	σ_B , МПа	δ_5 , %	KCU при минус 20 °C, Дж/см ²
Значение	370...380,0	23,0	49,0

Сталь СтЗсп сваривается без ограничений. Способы сварки: ручная дуговая, автоматическая дуговая под флюсом и газовой защитой, электрошлаковая, контактно-точечная.

Сталь 09Г2С сваривается без ограничений различными способами сварки: ручная дуговая сварка, сварка под флюсом и газовой защитой и т.д.

Для точного определения свариваемости стали рассчитывается углеродный эквивалент (далее УЭ).

УЭ подразделяет сталь на 4 группы по свариваемости:

- а) УЭ не более 0,25 % - хорошая свариваемость;
- б) УЭ от 0,25 % до 0,35 % - удовлетворительная свариваемость;
- в) УЭ от 0,35 % до 0,45 % - ограниченная свариваемость;
- г) УЭ более 0,45 % - трудно свариваемая сталь.

Углеродный эквивалент определяется согласно ГОСТ 19281-2014 [28] по формуле:

$$C_{\text{ЭКВ}} = C_y + \frac{Si}{25} + \frac{Mn+Cu}{16} + \frac{Cr}{20} + \frac{Ni}{20} + \frac{Mo}{40} \quad (1)$$

где C_y – содержание углерода, %;

Si – кремний, %;

Mn – марганец, %;

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Cu – медь, %;

Cr – хром, %;

Mo – молибден, %.

УЭ для стали 09Г2С рассчитывается по формуле 1.

$$C_{\text{экв}} = 0,06 + \frac{0,65}{25,0} + \frac{1,5 + 0,15}{16,0} + \frac{0,15}{20,0} + \frac{0,15}{20,0} + \frac{0}{40,0} = 0,20 \%$$

УЭ стали 09Г2С находится в интервале до 0,25 %, что означает хорошую свариваемость у стали. Данная сталь устойчива к перегреву и образованию трещин, благодаря пониженному содержанию углерода в ее составе. Сталь не требует дополнительного подогрева и термической обработки перед сваркой, при сваривании толстых листов рекомендуется использовать многослойную сварку.

Соединяемые части корпуса аппарата – обечайка и днища изготавливаются из горячекатаного листового проката, согласно сортаменту, указанному по ГОСТ 19903-2015 [29]. Выбранный лист из сортамента кроится до необходимых размеров. Листы для данной конструкции имеют обозначение согласно рисунку 1.

$$\text{Лист} \frac{Б - ПН - О - Н \times В \times D \text{ ГОСТ} 19903 - 2015}{09Г2С - св \text{ ГОСТ} 5520 - 79}$$

Рисунок 1 – обозначение листов стали 09Г2С : лист нормальной точности (Б), нормальной плоскости (ПН), с обрезной кромкой (О), размерами $H \times B \times D$, сортамент по [22], из стали 09Г2С, категории 4, с гарантией свариваемости по [21]

Для стали Ст3сп углеродный эквивалент рассчитывается по формуле 1.

$$C_{\text{экв}} = 0,18 + \frac{0,225}{25,0} + \frac{0,525 + 0,15}{16,0} + \frac{0,15 + 0,15}{20,0} = 0,32\%$$

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Данная сталь имеет удовлетворительную свариваемость, что не создаст проблем при сварном соединении опор из данной стали с корпусом обечайки из стали 09Г2С. Листы для данной конструкции имеют обозначение согласно рисунку 2.

$$\text{Лист} \frac{Б - ПН - О - НхВхD \text{ ГОСТ}19903 - 2015}{Ст3сп - св \text{ ГОСТ } 14637 - 89}$$

Рисунок 2 – обозначение листов стали Ст3сп: лист нормальной точности (Б), нормальной плоскости (ПН), с обрезной кромкой (О), толщиной 4 мм, сортament по [22], из стали Ст3сп, категории 4, с гарантией свариваемости по [23]

Таким образом, выбранные материалы удовлетворяют предъявляемым требованиям к свариваемости и обеспечивают надежную работу конструкции в условиях отрицательных температур и агрессивной внешней среды.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3 Расчет и проектирование сварной конструкции

По ГОСТ 9931-85 [30] принимаем следующие геометрические параметры для проектируемого корпуса резервуара объемом 50,0 м³, указанные на рисунке 3.

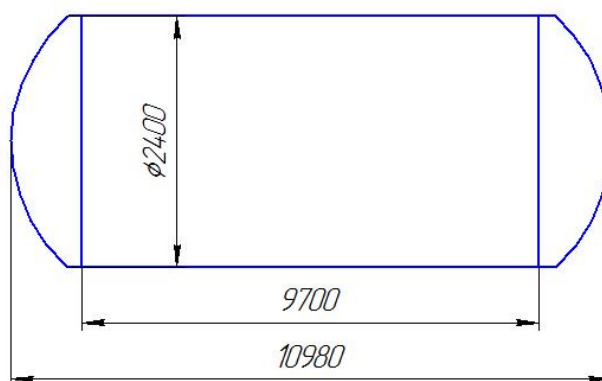


Рисунок 3 – Основные геометрические параметры корпуса сосуда

Проектный расчет аппарата производят в соответствии с [6], ГОСТ 14249–89 [31], ГОСТ Р 52857.1-2007 [32], ГОСТ 52857.2-2007 [33].

Исходя из [32] расчетную температуру определяют при теплотехнических испытаниях и их расчетов. В следствии принимают наибольшую температуру стенки. Если невозможно провести испытания и расчеты, то температуру принимают не ниже плюс 20 °С.

Согласно заданным условиям эксплуатации, принимаем для стали 09Г2С расчетную температуру плюс 45 °С, рабочую температуру стенки плюс 20 °С.

Допускаемое напряжение при температуре 45 °С находится по формуле [31]:

$$[\sigma] = [\sigma]_{20} + \frac{[\sigma]_{100} - [\sigma]_{20}}{t_2 - t_1} \cdot (t_2 - t_1), \quad (2)$$

где $[\sigma]_{20;100}$ – допускаемое напряжение при температуре 20,0 и 100,0 °С, МПа;

$t_{1,2}$ – принятые температуры, °С.

Допускаемые напряжения при температуре 20 и 100 °С принимаем согласно ГОСТ 14249–89 [31] приложение 1 таблица 5.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14.М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Для стали 09Г2С при расчетной температуре 45,0 °С, согласно [31], значение допускаемых напряжений будет равно: $[\sigma]_{20} = 196,0$ МПа; $[\sigma]_{100} = 177,0$ МПа.

Определяем по формуле 2 допускаемые напряжения.

$$[\sigma] = 196,0 + \frac{177,0 - 196,0}{100,0 - 20,0} \cdot (45,0 - 20,0) = 190,0 \text{ МПа}$$

Согласно таблице Б.1 по ГОСТР 52857.1-2007 [32], допускаемое напряжение $[\sigma] = 190,0$ МПа, что не превышает предельное значение.

Рабочее давление аппарата определяется в зависимости от внутренней рабочей среды сосуда.

Согласно заданию, на проектирование $P_{pab} = 1,6$ МПа.

Расчетное давление – давление, используемое в расчете на прочность, определяется с учетом гидростатического давления, так как пропан является сжиженным газом, если гидростатическое давление $P_r \leq 0,05 \cdot P_{pab}$ то расчетное давление рассчитывается как кратковременное давление при срабатывании предохранительного клапана по формуле [32]:

$$P_p = 0,9 \cdot P_k, \quad (3)$$

где P_p – кратковременное давление при срабатывании предохранительного клапана, МПа;

P_k – гидростатическое давление, МПа.

Гидростатическое давление определяется по формуле [32]:

$$P_r = \rho_c \cdot H_c \cdot 10^{-6} \cdot g, \quad (4)$$

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

g – ускорение свободного падения, м/с²;

H_c – высота среды в аппарате, м.

$$P_r = 1,967 \cdot 2,4 \cdot 10^{-6} \cdot 9,8 = 0,000046 \text{ МПа}$$

Исходя из выполнения заданного условия $P_r \leq 0,05 \cdot P_{pab}$; $0,05 \cdot P_{pab} = 0,08$,

$0,000046 \leq 0,08$, то $P = P_p$ и определяется согласно формуле 3.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Давление при работе предохранительного клапана определяется по формуле [32]:

$$P_{\kappa} = 1,15 \cdot P_{\text{раб}}, \quad (5)$$

$$P_{\kappa} = 1,15 \cdot 1,6 = 1,84 \text{ МПа}$$

Следовательно, по формуле 3 определяем расчетное давление.

$$P_p = 0,9 \cdot 1,84 = 1,652 \text{ МПа}$$

Тогда $P_p = 1,652 \text{ МПа}$. Расчетное давление округляем в большую сторону до величины 1.7 МПа.

Пробное давление – давление внутри аппарата при гидравлическом испытании на прочность конструкции, ее герметичность определяют по формуле [6]:

$$P_{np} = 1,25 \cdot P \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}, \quad (6)$$

где P – расчетное давление сосуда, МПа;

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

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение для материала сосуда при расчетной температуре 45°С, МПа.

Для стали 09Г2С допускаемое напряжение при температуре плюс 20 °С составляет $[\sigma]_{20} = 196 \text{ МПа}$. Для расчетной температуры, $[\sigma] = 190 \text{ МПа}$.

Следовательно, пробное давление согласно формуле 6 равно:

$$P_{np} = 1,25 \cdot 1,7 \cdot 1,03 = 2,188 \text{ МПа}$$

Проверка необходимости дополнительного расчета на прочность в режиме гидравлического испытания определяется по формуле [32]:

$$P_{np} \leq 1,35 \cdot P \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}, \quad (7)$$

$$1,35 \cdot 1,7 \cdot \frac{196}{190} = 2,36 \text{ МПа}$$

$$2,188 \leq 2,36 \text{ МПа}$$

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14.М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Условие выполняется, следовательно, дополнительный расчет на прочность в режиме испытания не требуется.

При расчете на прочность сварных элементов сосуда, в расчетные формулы включается коэффициент прочности сварных соединений ϕ . Согласно техническим характеристикам по [6], сосуд для хранения пропана относится к 1 группе сосудов, а его сварные швы контролируются в 100% от длины каждого шва. Исходя из этого, значение коэффициента прочности сварных швов обечайки принимаем равным $\phi_p=1,0$.

Толщина стенок рассчитывается по формуле [33]:

$$S_p = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p - P}, \quad (8)$$

где S_p – толщина стенки, мм;

D – внутренний диаметр обечайки, мм;

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

ϕ_p – коэффициент прочности продольных сварных швов.

$$S_p = \frac{1,7 \cdot 2400,0}{2 \cdot 190,0 \cdot 1 - 1,7} = 10,78 \text{ мм}$$

Исполнительную толщину стенки определяют по формуле [33]:

$$S_1 = S_p + C, \quad (9)$$

где S_1 – исполнительная толщина стенки, мм;

C – прибавка к расчетным толщинам, мм.

Прибавка к расчетным толщинам определяется по формуле [33]:

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \quad (10)$$

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

C_2 – прибавка для компенсации минусового допуска, мм;

C_3 – прибавка технологическая, мм.

В выпускной квалификационной работе, прибавка C_3 – не учитывается.

Прибавка для компенсации коррозии определяется по формуле [33]:

$$C_1 = P \cdot \tau_{ap} + C_9, \quad (11)$$

где P – скорость проникновения коррозии, мм/год;

$\tau_{\text{ап}}$ – срок службы аппарата, лет;

C_9 – прибавка для компенсации эрозии, мм. В выпускной квалификационной работе не учитывается.

Вычисляем исполнительную толщину без прибавки для компенсации минусового допуска по формуле 11.

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

Тогда исполнительная толщина стенки по формуле 9 равна:

$$S_1 = S_p + C_1 = 10,78 + 1,0 = 11,78 \text{ мм}$$

Вычисляем исполнительную толщину с учетом компенсации минусового допуска C_2 по формуле [33]:

$$S = S_p + C_1 + C_2, \quad (12)$$

где S – исполнительная толщина с учетом минусового допуска, мм.

Компенсация минусового допуска стального листа толщиной 14,0 мм определяется по формуле [33]:

$$C_2 = 0,05 \cdot S, \quad (13)$$

$$C_2 = 0,5 \cdot 14,0 = 0,8 \text{ мм}$$

Следовательно, производим расчёт по формуле 12.

$$S = 10,78 + 1,0 + 0,8 = 12,58 \text{ мм}$$

Согласно рекомендациям по [33], округляем исполнительную толщину до ближайшего большего значения из стандартного ряда, равного 14,0 мм.

Общая сумма прибавок вычисляется по формуле [33]:

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

$$C = 1,0 + 0,8 = 1,8 \text{ мм}$$

Допускаемое давление рассчитывается по формуле [33]:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p \cdot (S - C)}{D + 0,5 \cdot (S - C)}, \quad (15)$$

где $[P]$ – допускаемое давление, МПа.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$[P] = \frac{2 \cdot 190,0 \cdot 1 \cdot (14,0 - 1,8)}{2400,0 + 0,5 \cdot (14,0 - 1,8)} = 1,92 \text{ МПа}$$

Исходя из условий [32] $P < [P]$; $1,7 < 1,92$ условие прочности – выполняется.

Условие применения расчетных формул согласно ГОСТ Р 52857.2-2007 [33] определяется по формуле:

$$\frac{S - C}{D} \leq 1, \quad (16)$$

$$\frac{14,0 - 1,8}{2400,0} = 0,0051$$

$$0,051 \leq 1$$

Условие применения расчетных формул – выполняется.

Исходя из выполненных расчетов толщины стенки обечайки и заданных геометрических параметров, выбираем по [21] геометрические параметры днища для будущего сосуда и приводим их в таблице 7 и на рисунке 4. Опираясь на [6] принимаем толщину стенки днища равной толщине стенки обечайки 14 мм.

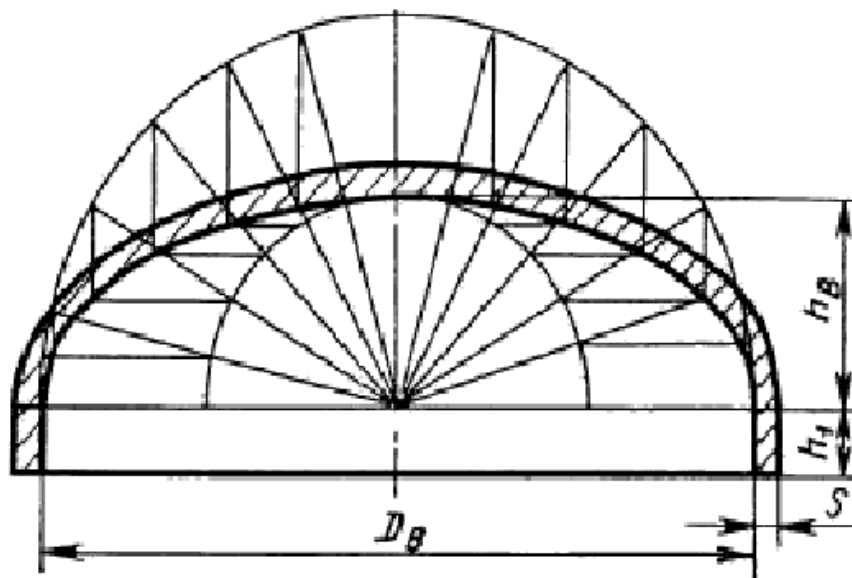


Рисунок 4 – Обозначение геометрических параметров днищ на чертеже:
 D_g – внутренний диаметр днища; S – толщина стенки днища; h_1 – высота отбортовки днища; h_g – высота выпуклой части днища

Таблица 7 – Основные геометрические параметры эллиптических отбортованных днищ

Параметр	D, мм	h_1 , мм	h_b , мм	S, мм	F, м ³	V, м ³	M, кг
Значения	2400,0	60,0	600,0	14,0	6,70	2072,7	746,2

Общая длина сосуда, исходя из алгебраического сложения длины днищ и длины обечаек, $L_{рас} = \sum L + 2 \cdot (h_1 + h_e) = 9700,0 + 660,0 + 660,0 = 11020,0$ мм. Что выходит за рамки длины, принятой по [30] и равной 10980,0 мм. Но, согласно [30], стандарт не распространяется на сосуды, основные размеры которых определены проектным (технологическим) расчетом. Опираясь на это, принимаем длину корпуса равной 11020,0 мм.

Алгебраическая сумма обечаек равна $\Sigma L = 9700,0$ мм. По технологическим соображениям, корпус собирается из 4х обечаек длиной 2425,0 мм.

Окончательное принятие проектной толщины стенки и днищ, необходимо принять после проверочного расчета сварных соединений данного корпуса на прочность при заданных параметрах.

Дальнейший расчет сварных соединений на прочность производится в соответствии с методическими указаниями [34].

Согласно заданной толщине стенок обечаек и днищ, при толщине стенки до 20,0 мм, сваркой типа АФ можно сваривать без разделок кромок. Согласно ГОСТ 8713-79 [35] этому условию отвечают типы соединения С7 представленные на рисунке 5.

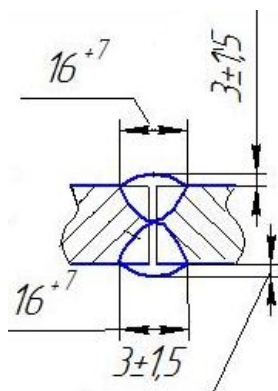


Рисунок 5 – Сварной шов соединения С7

Соединение считается работоспособным при выполнении условия $\sigma \leq [\sigma]$, где $[\sigma]$ – допускаемые напряжения для стали 09Г2С.

Для соединения С7, на примере шва №2 расчет напряжений осуществляется по формуле 17.

$$\sigma = \frac{N}{F}, \quad (17)$$

где σ – напряжение в сварном соединении, МПа;

N – продольная нагрузка, растягивающая шов, МПа;

F – площадь поперечного сечения шва, мм².

К данному моменту неизвестными величинами в формуле 17 являются параметры N и F , которые при известной геометрии конструкции изделия и сварных соединений и при заданном давлении будут рассчитываться далее.

N определяется по формуле 18.

$$N = P_{np} \cdot \Pi, \quad (18)$$

где Π – расчетная площадь поверхности, на которую действует избыточное давление в цистерне, мм²;

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

Так как в конструкции цистерны применяются эллиптические днища, площадь их внутренней (расчетной) поверхности, на которую действует избыточное давление, определяется по правилам геометрии по формуле 19.

$$\Pi = \frac{1}{2} \pi ab, \quad (19)$$

где a – длина большой полуоси, $a = 2400,0$ мм;

b – длина малой полуоси.

Принимаем $a = 2400,0$ мм; $b = 660,0$ мм.

$$\Pi = \frac{1}{2} 3,14 \cdot 2400,0 \cdot 660,0 = 2486880,0 \text{ мм}^2$$

Тогда, исходя из равномерного распределения давления по всей площади поверхности днища цистерны растягивающее усилие по формуле 18.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$N = 2,188 \cdot 2486880,0 = 5441293,44 \text{ Н} \approx 5,44 \text{ МН}$$

Длина рассчитываемого сварного шва находится как длина окружности свариваемых деталей по наружной поверхности за вычетом технологической составляющей $\Delta=10$ мм так как шов выполняется без вводных технологических планок, определяется по формуле 20.

$$L_{ш} = \pi D - 10, \quad (20)$$

$$L_{ш} = 3,14 \cdot 2400,0 - 10,0 = 7526 \text{ мм}$$

Исходя из этого, находим площадь поперечного сечения шва по формуле 21.

$$F = L_{ш} \cdot S, \quad (21)$$

где S – принятая толщина стенки аппарата, мм.

$$F = 14,0 \cdot 7526,0 = 105364 \text{ мм}^2$$

Следовательно по формуле 17 напряжения в сварном шве.

$$\sigma = \frac{5,44 \cdot 10^6}{105364} = 51,25 \text{ МПа}$$

Так как вычисленное значение напряжения в сварном шве, равное 51.25 МПа меньше нормативного значения 196 МПа, условие выполняется, сварные соединения работоспособны.

Для соединения С7, стыкового сварного шва №1, расчет осуществляется по формуле 17.

По геометрическим соображениям, расчетная поверхность Π на которую действует избыточное давление определяется по формуле 22.

$$\Pi = \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \quad (22)$$

где Π – площадь действия избыточного давления, мм²;

D – диаметр нагружаемого элемента, мм.

$$\Pi = \frac{3,14 \cdot 2400,0^2}{4} = 4521600,0 \text{ мм}^2$$

Следовательно, по формуле 18 находим N .

$$N = 2.188 \cdot 4521600,0 = 9893260,8 \text{ Н} \approx 9.9 \text{ МН}.$$

					ЛГЧ.ВКР.15.03.01.14.МО105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Площадь поперечного сечения шва определяется по формуле 21.

$$F = 14 \cdot (3.14 \cdot 2400,0 - 10,0) = 105364,0 \text{ мм}^2$$

Допускаемое напряжение рассчитываем согласно формуле 17.

$$\sigma = \frac{9900000,0}{105364,0} = 93,95 \text{ МПа.}$$

Так как вычисленное значение напряжения в сварном шве, равное 93,95 МПа меньше нормативного значения 196,0 МПа, сварные соединения работоспособны.

Для соединения штуцеров, люков с корпусом обечайки используется соединение Т6 представленное на рисунке 6 согласно рекомендациям [36].

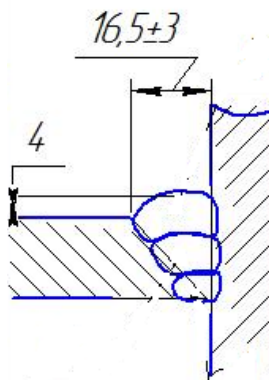


Рисунок 6 – соединение Т6

Угловые швы считаются работоспособными при выполнении условия жесткости $\tau \leq [\tau]$.

Для соединения Т6 сварных швов №3 работающих на срез, расчет на прочность производится по формуле 23.

$$\tau = \frac{N}{F}, \quad (23)$$

F рассчитывается по формуле 24.

$$F = \beta \cdot h_{ш} \cdot L_{ш}, \quad (24)$$

Для рассматриваемого углового сварного соединения величина будет определяться по формуле 25.

$$h_{ш} = \sqrt{e^2 + g^2}, \quad (25)$$

где e – предельное отклонение, мм;

g – предельное отклонение, мм.

Принимаем $e = 12$ мм, $g = 2.1$ мм.

$$h_{ш} = \sqrt{12^2 + 2,1^2} = 12,18 \approx 12,0 \text{ мм}$$

Длина шва приваремого люка равна длине окружности самого люка с вычетом технологического допуска. И будет определяться по формуле 26.

$$L_{ш} = 2 \cdot \pi \cdot R - 10, \quad (26)$$

где R – радиус люка, мм.

$$L_{ш} = 2 \cdot 3,14 \cdot 300,00 - 10 = 1884,0 \text{ мм.}$$

Допускаемое напряжение при срезе $[\tau]$ рассчитывается по формуле 27.

$$[\tau] = (0,5 \dots 0,65) \cdot [\sigma], \quad (27)$$

$$[\tau] = (0,5 \dots 0,65) \cdot 190,0 = 95 \dots 123,5 \text{ Н/мм}^2$$

Значение Π для люка определяем по формуле 22.

$$\Pi = 3,14 \cdot \frac{600,0^2}{4} = 282600,0 \text{ мм}^2$$

Тогда N определяется по формуле 18.

$$N = 2,188 \cdot 282600,0 = 618328,8 \text{ Н}$$

Исходя из этого:

$$\tau = \frac{618,328 \cdot 10^3}{1 \cdot 12 \cdot 1884,0} = 27,3 \text{ Н/мм}^2$$

Условие жесткости выполняется, $27,3 < 123,5$ Н. Сварные швы работоспособны.

Таким образом, сварные швы удовлетворяют условиям прочности и будут обеспечивать надежность и работоспособность аппарата, исходя из этого, принимаем окончательную проектную толщину стенки и днищ равную 14,0 мм.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14.М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Люки с диаметрами отверстий 450,0 мм и 600,0 мм проектируется в соответствии с нормативными документами [18, 19]. Геометрические размеры люклаза представлены на чертеже ПГУ.ВКР.15.03.01.14МО105.ТЧ1.3.

Штуцера проектируются в соответствии с диаметрами отверстий на корпусе, равными 162,0 мм в соответствии с [20].

Исходя из выбранных геометрических параметров стенки, диаметра аппарата – выбираем опоры и подкладные листы по [23]. Размеры и расчет опор на прочность, представлены в Приложении А. Опираясь на указания методического пособия [37], расчет расстояния между опорами производим по формуле [37]:

$$L_{on} = 0,5 \cdot (L_{np} - 2 \cdot L_1), \quad (28)$$

где $L_1 = 0,145 \cdot L_{np}$,

L_{np} - общая длинна аппарата.

$$L_{on} = 0,5 \cdot (11020,0 - 2 \cdot 1500,0) = 4010,0 \text{ мм}$$

Исходя из полученного результата расчета и общей длинны аппарата, корпус сосуда должен быть установлен на 3х опорах с расстоянием не более $3910,0 + 100$ мм между ними.

Таким образом, был проведен проектный расчет и заданы основные геометрические параметры аппарата. Произведен расчет на прочность сварных швов, показывающий, что аппарат при заданном рабочем и пробном давлении работоспособен.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14МО105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4. Разработка технологии сборки и сварки изделия

4.1 Процесс сборки и сварки

Под технологическим процессом согласно ГОСТ 3.1109-82 [38] в машиностроении подразумевается часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и определению состояния предмета труда.

Технологический процесс состоит из целого ряда технологических операций, которые выполняются в строго определенной последовательности.

Обеспечение технологичности конструкции изделия регламентируется ГОСТ 14.201–83 [39], данный стандарт устанавливает основные положения, систему показателей, последовательность и содержание работ по обеспечению технологичности.

Технологический процесс производства проектируемого аппарата состоит из следующих этапов, представленных в таблице 8.

Таблица 8 – Этапы технологического процесса производства аппарата

№	Название операции	Основные технологические переходы
1	2	3
005	Транспортная	Доставка листового проката, днищ, штуцеров, люков, опор на место сборки.
010	Заготовительная	Предварительная правка. Очистка и подготовка поверхности. Разметка. Окончательная правка. Обработка кромок. Вальцовка.
015	Сборочная	Поочередная установка обечаек на роликовый стенд и выполнение прихваток.
020	Сварочная	Поочередная сварка продольных стыков обечаек
025	Сборочная	Центрование обечаек между собой разжимным устройством, выполнение прихваток механизированной сваркой.

Продолжение таблицы 8

1	2	3
030	Сварочная	Сварка кольцевых швов обечаек автоматической сваркой,
035	Заготовительная	Очистка поверхности аппарата. Выполнение разметки под технологические отверстия. Вырезание технологических отверстий для штуцеров и люков на корпусе аппаратом для плазменной резки.
040	Сборочная	Установка и центрование днищ разжимным устройством. Выполнение прихваток.
045	Сварочная	Сварка кольцевых швов обечаек и днищ автоматической сваркой.
050	Сборочная	Установка подкладных листов опор. Выполнение прихваток.
055	Сварочная	Сварка подкладных листов к корпусу аппарата механизированной сваркой в защитном газе
060	Сборочная	Установка опор на подкладные листы и дальнейшие прихватки для сварки. Установка штуцеров в технологические отверстия рядом с опорами и прихватка соединений механизированной сваркой.
065	Сварочная	Сварка опор на подкладные листы и сварка штуцеров в нижние технологические отверстия механизированной сваркой в защитном газе
070	Сборочная	Установка обечайки на опоры мостовым краном. Установка штуцеров и люков в технологические отверстия на вершине корпуса и днища. Выполнение прихваток.
075	Сварочная	Выполнение сварки люков и штуцеров механизированной сваркой в защитном газе. Сварка укрепительных колец к основаниям люков.
080	Контрольная	Контроль качества сварных соединений.
085	Отделочная	Покрытие корпуса аппарата эмалью.
090	Транспортная	Отгрузка изделия на склад и транспортировка заказчику.

К основным операциям заготовительного процесса относят:

а) составление схемы раскроя;

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14.М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- б) предварительная правка;
- в) очистка и подготовка поверхности;
- г) разметка;
- д) окончательная правка;
- е) обработка кромок.

Схема раскроя материала составляется из интересов минимального остатка отходов при раскрое листа.

Материал для обечайки выбирается из имеющихся размерного ряда листов, указанных в [29]. Схема условного обозначения проката изображена на рисунке 7.

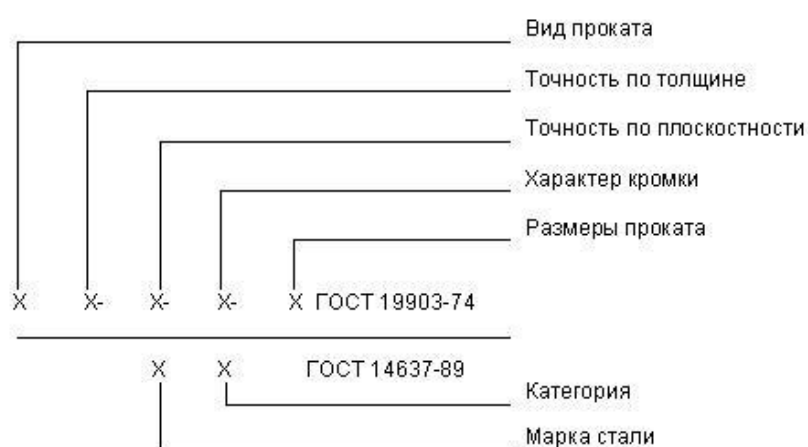


Рисунок 7 – Схема условного обозначения проката

Для рационального выбора и использования заготовки, а также чтобы судить о расходе материала и количестве отходов необходимо согласно ГОСТ 30167-95 [40] определить коэффициент использования материала $K_{и.м}$ по формуле [40]:

$$K_{и.м} = \frac{M_{\phi}}{M_3} \cdot 100\%, \quad (29)$$

где M_{ϕ} – площадь фактического листа;

M_3 – площадь заданного листа.

Площадью фактического листа M_{ϕ} является площади развёртки листа обечайки, для того чтобы её узнать необходимо определить длину листа обечайки которая определяется по формуле [40]:

$$l = \pi (D_{\text{в}} + s), \quad (30)$$

где l – длина листа обечайки, мм;

$D_{\text{в}}$ – внутренний диаметр, мм;

s – толщина стали, мм.

Тогда,

$$l = 3,14 (2400,0 + 14,0) = 7579,96 \text{ мм}$$

Принимаем $l = 7580,0$ мм.

Площадью заданного листа M_z является площадь листа, выбранного из [29]. Коэффициент использования материала (далее КИМ) $K_{\text{и.м}}$ должен быть не менее 70 %. Так как корпус обечайки состоит из четырех листов размером $7580,0 \times 2425,0 \times 14,0$ мм, выбираем листы из стандартного ряда [29], размером $8000,0 \times 2500,0 \times 14,0$. Схема раскроя данных листов представлена на рисунке 8.

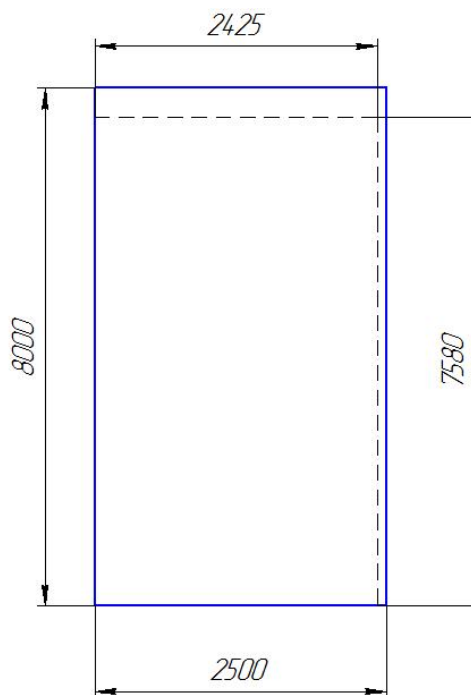


Рисунок 8 – Раскрой листа обечайки

$$K_{и.м} = \frac{7580,0 \cdot 2425,0}{8000,0 \cdot 2500,0} \cdot 100 = 91\%$$

Следовательно, 91 % > 70 % – условие выполняется.

Принимаем данный прокат 8000,0×2500,0×14,0 мм для обечаек.

Для выбора проката стали по [29] для эллиптического днища, необходимо рассчитать диаметр заготовки по формуле [21]:

$$D_1 = 2\sqrt{(D_{BH} - S) \cdot [h_1 + m(D_{BH} - S)]}, \quad (31)$$

где D – диаметр заготовки, мм;

D_{BH} – внутренний диаметр днища, мм;

S – толщина стенки днища, мм;

h_1 – высота цилиндрической части днища, мм;

m – коэффициент для днищ с D_{BH} .

Принимаем $m = 0.345$.

$$D = 2\sqrt{(2400,0 - 14,0) \cdot [60,0 + 0,345 \cdot (2400,0 - 14)]} = 2900 \text{ мм}$$

Так как диаметр заготовки равен 2900,0 мм, то длина и ширина листа заготовки равна 2900,0 мм, согласно [29] при заданной длине листа выбираем прокат стали с параметрами 3000,0×3000,0×14,0, схема раскроя представлена на рисунке 9.

Расчет КИМ производится по формуле 29, где M_ϕ является половина площади окружности, рассчитываемая по формуле [40]:

$$M_\phi = \pi R^2, \quad (32)$$

где M_ϕ – половина площади окружности, мм²;

R – радиус окружности, мм.

$$M_\phi = 3.14 \cdot 1450,0^2 = 6601850,0 \text{ мм}^2$$

Тогда;

$$K_{и.м} = \frac{3000,0 \cdot 3000,0}{6601850,0} \cdot 100\% = 93\%$$

Условие 93 % > 70 % выполняется.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

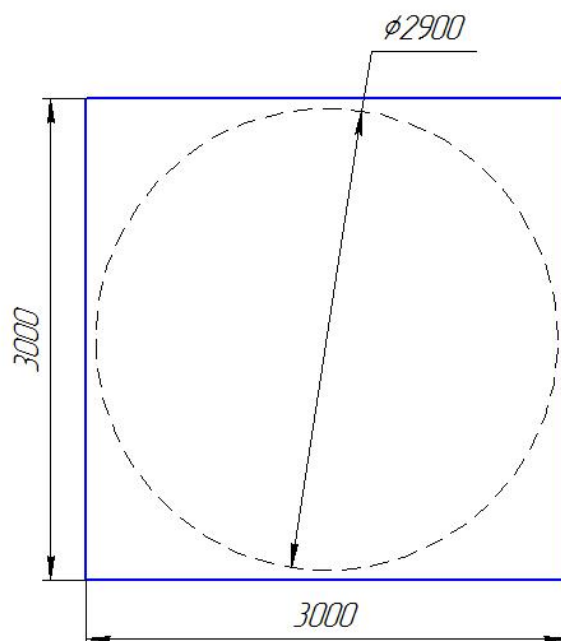


Рисунок 9 – Раскрой заготовки днища

После того как разработана схема раскроя, выбираем оборудование для выполнения операции раскроя. Для раскроя листов размером 8000,0×2500,0×14,0 мм и 3000,0×3000,0×14,0 мм до нужного нам размера, принимаем станок плазменной резки показанный на рисунке 10, так как он обеспечивает наиболее точный и качественный рез, наименьшую деформацию кромок и полную автоматизацию процесса, что экономит время, затрачиваемое на заготовительные операции. Технические характеристики представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Технические характеристики станка плазменной резки с ЧПУ

Параметры	Значения
1	2
Размер обрабатываемого листа, мм	3000,0×8000,0
Габаритные размеры машины, ширина×длина×высота, мм	4400,0×10000,0×1800,0
Разрезаемый материал	черный, нержавеющий, цветной металлопрокат
Толщина реза (плазменная резка), мм	до 32,0 с прожигом, до 70,0 с края листа
Толщина реза (газокислородная), мм	до 150,0 мм
Скорость резки, мм/мин	до 10 000,0
Технология резки	плазменная и газокислородная
Установленная мощность, кВт	до 40,0



Рисунок 10 – Станок плазменной резки с ЧПУ

Для резки технологических отверстий в корпусе аппарата, используется переносной аппарат плазменной резки *PRESTOZIP 2.0* представленный на рисунке 11, он позволяет вырезать отверстия с высокой точностью и наименьшую деформацию кромок отверстия. Технические характеристики представлены в таблице 10.



Рисунок 11 – Аппарат для плазменной резки

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ

Лист

Таблица 10 – Технические характеристики аппарата плазменной резки

Параметры	Значения
Напряжение питания, В	400,0
Частота питающей сети, Гц	50,0/60,0
Номинальный сварочный ток, А	65,0/55,0/45,0
Первичный ток, А	21,9
Продолжительность нагрузки, %	35,0/60,0/100,0
Макс. толщина разрезаемого листа стали, мм	20,0
Давление на выходе, кг/см ² (бар)	5,5
Расход сжатого воздуха, м ³ /мин	0,18
Габаритные размеры, (Д×Ш×В), мм	640,0×260,0×410,0

Для операции вальцовки принимаем листогибочную машину 367-П представленную на рисунке 12, обладающую необходимыми габаритами для подготовки формы листов будущих обечаек. Технические характеристики представлены в таблице 11.



Рисунок 12 – Листогибочная машина 367-П

Таблица 11 – Листогибочная машина 367- П. Технические характеристики

Параметры	Значения
Наибольшая ширина изгибаемого листа, мм	2500,0
Наибольшая толщина изгибаемого листа, мм	25,0
Наименьший радиус гибки, мм	300,0
Скорость гибки, м/мин	7,15
Диаметр верхнего вала, мм	270,0
Габаритные размеры, мм	7695,0×2350,0×2620,0
Масса, кг	4100,0
Мощность, кВт	58,2

Таким образом, выбранное оборудование соответствует техническим требованиям и обеспечивает точную обработку и подготовку металла для дальнейшей сборки изделия.

4.2 Выбор способа сварки с его обоснованием и обоснованием сварочных материалов

Так, как выбранный материал – сталь 09Г2С имеет хороший показатель свариваемости, для ее сварки подойдет большинство способов. Но исходя из перечисленных условий, геометрических размеров и массы свариваемого аппарата, для обеспечения наилучшей защиты металла шва от внешней среды и обеспечения глубокого проплавления – оптимально использовать автоматическую сварку под флюсом для соединения стыковых и кольцевых швов обечаек.

Автоматическая сварка, показанная на рисунке 13, отличается высокой производительности, в том числе скоростью сварки и достойного качества получаемого шва из-за покрытия сварочной ванны слоем флюса.

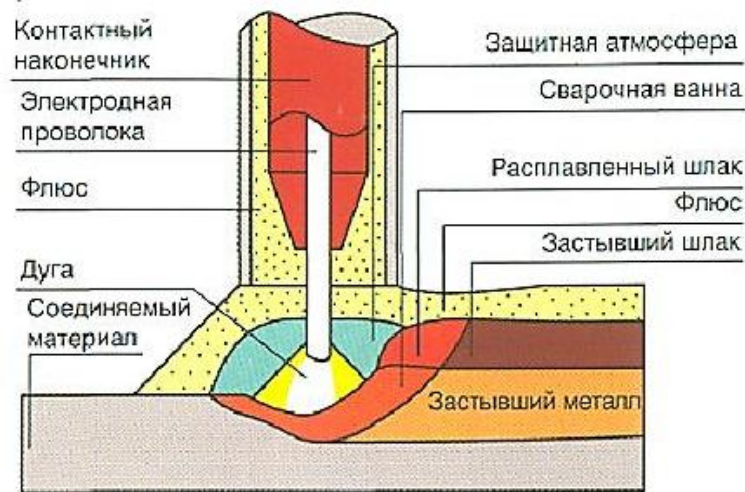


Рисунок 13 - Автоматическая механизированная сварка под слоем флюса

Достоинства выбранного способа:

- а) в 5-10 раз производительнее ручной дуговой сварки за счет тока более значительной силы;
- б) применение флюса способствует получению качественного сварного шва, за счет образования защитной пленки;
- в) процесс автоматизации позволяет уменьшить трудоемкий человеческий труд и снизить фактор риска человеческой ошибки;
- г) электрическая дуга более стабильна, так как находится под защитным слоем;
- д) минимальное разбрызгивание металла, в следствии уменьшение потери материала;
- е) защита специалиста от выделения вредных газов и воздействия яркого свечения дуги.

Недостатки:

- а) возможность сварки только в нижнем положении;
- б) затруднённое применение в монтажных условиях.

Размеры сварных швов, получаемых в результате автоматической сварки под флюсом указаны в [35].

Объем работы при сварном соединении штуцеров и люков с обечайкой не велик, поэтому для этого процесса подойдет механизированная сварка. Учитывая, что будущий аппарат будет работать под давлением, что требует максимального качества шва, то сварка будет протекать в среде защитных газов. Процесс механизированной сварки представлен на рисунке 14, получаемые швы должны соответствовать согласно параметрам [36].

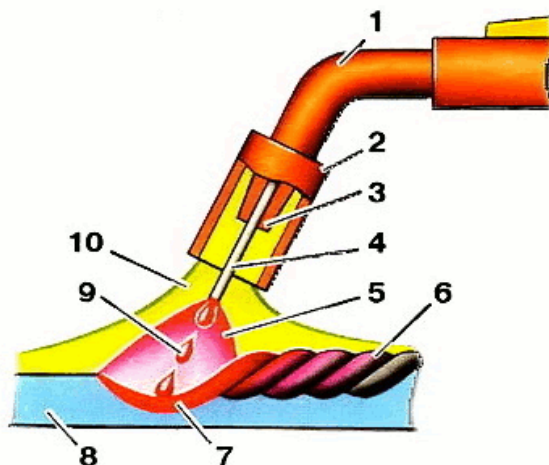


Рисунок 14 – Механизированная сварка в среде защитных газов: 1 – горелка; 2 – сопло; 3 – токоподводящий наконечник; 4 – электродная проволока; 5 – сварочная дуга; 6 - сварной шов; 7 – сварочная ванная; 8 – основной металл; 9 – капли электродного металла; 10 – газовая защита

Достоинства и недостатки ручной дуговой сварки в среде защитных газов:

Достоинства:

- применяется в различных режимах работы, независимо от положения в пространстве;
- высокое качество соединений в широком спектре толщин металлов;
- визуальный контроль за процессом сварки;
- сварка в независимости от положения в пространстве;
- узкое по площади температурное воздействие;
- высокая скорость работы.

Существенные недостатки:

- вредное световое и термическое воздействие на человека;
- высокая стоимость защитных газов;
- негативное воздействие газов на организм человека;
- высокая стоимость оборудования;
- необходимость повышения квалификации сварщика на дополнительных курсах.

Сталь 09Г2С является конструкционной и низколегированной, для наилучшей свариваемости такой стали подойдут легированные проволоки. Исходя из химического состава стали выбранного в разделе 2.2, выбираем по ГОСТ 2246-70 [41] присадочную легированную проволоку Св-08Г2С. Химический состав проволоки указан в таблице 12.

Таблица 12 – Химический состав Св-08Г2С

Состав	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N
Содержание, %	0.05... 0.11	0.7... 0.95	1.8... 2.1	до 0.25	до 0.02	до 0.03	до 0.2	до 0.01

Для сварки штуцеров и люков по выбранному способу сварки (механизированная в среде защитных газов), так же опираясь на специфику работы конструкции и марку стали, выбираем защитный газ согласно сортаменту ГОСТ Р ИСО 14175-2010 [42]. Для получения качественного сварного шва при сварке низколегированных сталей, рекомендуется использовать смесь аргон – углекислый газ в соотношении 75,0/25,0 %, в результате повышается плотность шва и предотвращается образование пор, нежели при сварке под защитой только аргоном.

Для защиты при автоматической сварке стали 09Г2С оптимально подходит флюс марки АН-47 ГОСТ 9087-81 [43].

Данный флюс обладает наименьшей склонностью к образованию трещин и пор в толще сварного шва, и обладает хорошей отделимостью корки шлака от основного шва. Результатом использования такого флюса являются аккуратные

					<i>ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ</i>			Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				

сварные швы, имеющие плавные переходы в местах соединений шва с основным металлом. Основные параметры флюса представлены в таблицах 13 и 14, флюс АН-47 улучшает устойчивость сварных швов сосудов работающих под давлением, обеспечивает ударную вязкость при отрицательных температурах и высокую стойкость хрупкому разрушению при работе аппарата в агрессивной среде.

Таблица 13 - Химический состав флюса АН-47

Элемент	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	CaF ₂	TiO ₂	ZrO ₂
Содержание, %	28,0... 33,0	0,5... 3,0	9,0... 13,0	6,0... 10,0	11,0... 18,0	8,0... 13,0	4,0... 7,0	1,1...2,5

Таблица 14 - Характеристики флюса АН-47

Параметры	Значения
Насыпная плотность, кг/дм ³	1,4-1,8
Содержание инородных частиц, %	не более 0,3
Содержание зерен с цветом, отличающихся от указанного, %	не более 3,0
Размер зерен, мм:	
менее 0,25	не более 3,0
Более 2,5	не менее 3,0
Влажность флюса, %	не более 0,10

Применяемый флюс должен пройти приемку и испытания, соответствовать параметрам согласно [43].

Выбранные способы сварки и назначенные сварные материалы обеспечивают качественное и ресурсоемкое выполнение надежных сварных соединений.

На основе выбранных материалов производим расчет режимов сварки.

4.3 Расчет режимов сварки

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14.М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Расчет режимов сварки в данном разделе производится в соответствии с методическими указаниями [44].

Проводим расчет режимов механизированной сварки в среде защитных газов для соединения Т6.

Исходные данные:

- основной металл: сталь 09Г2С [26];
- толщина металла: 14,0 мм;
- способ сварки: полуавтоматическая ручная дуговая сварка;
- тип соединения: тавровое;
- тип шва: тавровое;
- положение шва: нижнее;
- тип шва по количеству проходов: многопроходный односторонний.

Для соединения люков и штуцеров с корпусом аппарата используется соединение Т6 [36], показанное на рисунке 15.

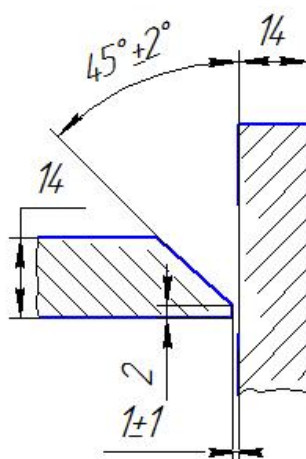


Рисунок 15 – Соединение Т6

Величина сварочного тока определяется в зависимости от диаметра электродной проволоки согласно рекомендациям таблицы 15.

Таблица 15 – Допускаемая величина сварочного тока

Параметры	Значения					
$d_{эл}$, мм	0,5	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0
$I_{св}$, А	25,0... 70,0	50,0... 130,0	70,0...80	100,0... 240,0	150,0... 400,0	200... 500
Расстояние от изделия, мм	5,0... 15,0	5,0...15,0	6,0... 18,0	8,0...18,0	15,0...25,0	15,0... 25,0

Для выполнения первого прохода выбираем сварочную проволоку диаметром 1,6 мм. При расчётах принимаем величину сварочного тока $I_{св} = 250,0$ А.

При многопроходной сварке для проволоки $d_{эл}=1,6$ мм скорость сварки определяется по формуле 33.

$$V_{св} = \frac{(5...8) \cdot 10^3}{I_{св}}, \quad (33)$$

где $V_{св}$ – скорость сварки, м/ч;

$I_{св}$ – сварочный ток, А.

$$V_{св} = \frac{(5...8) \cdot 10^3}{250,0} = 20,0 \dots 32,0 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{св} = 26,0 \text{ м/ч} = 0,72 \text{ см/с}$.

Напряжение дуги рассчитывается по формуле 34.

$$U_{\delta} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_{эл}^{0,5}} \cdot I_{св} \pm 1В, \quad (34)$$

где U_{δ} – напряжение дуги, В;

$d_{эл}$ – диаметр электрода, мм.

$$U_{\delta} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,6^{0,5}} \cdot 250,0 = 29,9 \pm 1В$$

Напряжение рекомендуется ближе к нижнему пределу диапазона значений. Принимаем напряжение дуги 30,0 В.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Определяем коэффициент формы провара по формуле 35.

$$\psi_{\text{пр}} = K' \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{\text{св}}) \cdot \frac{d_{\text{эл}} \cdot U_{\text{д}}}{I_{\text{св}}}, \quad (35)$$

где K' – коэффициент который для постоянного тока обратной полярности.

$$\psi_{\text{пр}} = 0,92 \cdot (19 - 0,01 \cdot 250,0) \cdot \frac{1,6 \cdot 30,0}{250,0} = 2,9$$

При $\psi_{\text{пр}} < 0,8$ швы будут получаться узкими склонными к образованию горячих трещин. При $\psi_{\text{пр}} > 4,0$ швы будут получаться слишком широкие глубина провара мала, тепло дуги испытывается не рационально, увеличиваются деформации. Необходимо стремиться к оптимальным значениям формы провара $\psi_{\text{пр}} = 1,3 \dots 2,0$.

Определим величину погонной энергии по формуле 36.

$$q_{\text{п}} = \frac{I_{\text{св}} \cdot U_{\text{д}} \cdot \eta}{V_{\text{св}}}, \quad (36)$$

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

η – эффективный КПД дуги сварки.

$$q_{\text{п}} = \frac{250,0 \cdot 30,0 \cdot 0,85}{0,72} = 8854,16 \text{ Дж/см}$$

Определим фактическую глубину провара по формуле 37.

$$h = 8,06 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{q_{\text{п}}}{\psi_{\text{пр}}}}, \quad (37)$$

где h – фактическая глубина провара, мм.

$$h = 8,06 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{8854,16}{2,9}} = 0,44 \text{ см} = 4,4 \text{ мм}$$

Определяем ширину шва по формуле 38.

$$b = \psi_{\text{пр}} \cdot h, \quad (38)$$

$$b = 2,9 \cdot 4,4 = 12,7.$$

Определим высоту валика по формуле 39.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14МО105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$c = \frac{F_{\text{HM}}}{0,73 \cdot b}, \quad (39)$$

где c – высота валика, мм;

F_{HM} – площадь поперечного сечения наплавленного металла за данный проход, мм².

Площадь наплавленного металла определяется по формуле 40.

$$F_{\text{HM}} = \frac{\alpha_{\text{H}} \cdot I_{\text{CB}}}{3600 \cdot \gamma \cdot V_{\text{CB}}}, \quad (40)$$

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

α_{H} – коэффициент наплавки.

Коэффициент наплавки определяется по формуле 41.

$$\alpha_{\text{H}} = \alpha_{\text{P}} \left(1 - \frac{\psi}{100} \right), \quad (41)$$

где ψ – потери электродного металла, %;

α_{P} – коэффициент расплавления электродной проволоки.

Коэффициент расплавления определяется по формуле 42.

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

$$\alpha_{\text{P}} = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{250,0}{1,6} \right) \cdot 10^{-4} = 42,6 \cdot 10^{-4} \text{ г/А} \cdot \text{ч} = 15,3 \text{ г/А} \cdot \text{с}$$

Тогда коэффициент наплавки электродной проволоки будет равен по формуле 41.

$$\alpha_{\text{H}} = 15,3 \cdot \left(1 - \frac{10}{100} \right) = 13,77 \text{ мм}^2$$

Определим площадь наплавленного металла по формуле 40.

$$F_{\text{HM}} = \frac{13,77 \cdot 250,0}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,72} = 0,17 \text{ см}^2 = 17,0 \text{ мм}^2$$

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Обладая всеми необходимыми данными, определим высоту валика по формуле 39.

$$c = \frac{17}{0,73 \cdot 12,7} = 1,8 \text{ мм}$$

Принимаем $c = 2,0 \text{ мм}$.

Определим высоту шва по формуле 43.

$$H = h + c, \quad (43)$$

$$H = 4,4 + 2,0 = 6,4 \text{ мм}$$

Определим высоту заполнения разделки с учётом зазора в стыке по формуле 44.

$$q = \sqrt{\frac{F_{\text{НМ}} - H \cdot a}{\text{tg } \alpha}}, \quad (44)$$

где q – высота заполнения разделки, мм;

a – зазор в стыке, мм.

$$q = \sqrt{\frac{17 - 3,5 \cdot 2,0}{\text{tg } 45}} = 3,2 \text{ мм}$$

Определим глубину провара притупления по формуле 45.

$$h_0 = H - q, \quad (45)$$

где h_0 – глубина провара притупления, мм.

$$h_0 = 6,4 - 3,2 = 3,2 \text{ мм}$$

Определим глубину проплавления стенки по формуле 46.

$$h_1 = (0,8 \dots 1) \cdot h_0, \quad (46)$$

где h_1 – глубина проплавления стенки, мм.

$$h_1 = (0,8 \dots 1) \cdot 3,2 = 2,5 \dots 3,2 \text{ мм}$$

Принимаем $h_1 = 2,8 \text{ мм}$.

Определяем скорость подачи проволоки по формуле 47.

$$V_{\text{шп}} = \frac{4 \cdot \alpha_{\text{Н}} \cdot I_{\text{св}}}{\pi \cdot d^2 \cdot \gamma}, \quad (47)$$

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

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14.М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$V_{\text{пп}} = \frac{4 \cdot 13,77 \cdot 250,0}{3,14 \cdot 1,6^2 \cdot 7,8} = 219,6 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{\text{пп}} = 220,0 \text{ м/ч}$.

Определим расстояние от сопла горелки до изделия по формуле 48.

$$l_9 = 8 \cdot d_{\text{эл}}, \quad (48)$$

Согласно ранее приведённым рекомендациям для проволоки $d_{\text{эл}} = 1,6 \text{ мм}$ вылет электрода составляет $15,0 \dots 25,0 \text{ мм}$.

$$l_9 = 8 \cdot 1,6 = 12,8 \text{ мм}$$

Принимаем $15,0 \text{ мм}$.

Рассчитаем режимы сварки последующих проходов со стороны разделки.

Для дальнейших проходов принимаем проволоку $d_{\text{эл}} = 1,6 \text{ мм}$. Повышаем силу сварочного тока до $400,0 \text{ А}$.

Таким образом, при многопроходной сварке скорость сварки при последующих проходах будет определяться по формуле 33.

$$V_{\text{св}} = \frac{(5 \dots 8) \cdot 10^3}{400,0} = 12,5 \dots 20,0 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{\text{св}} = 20,0 \text{ м/ч} = 0,55 \text{ см/с}$.

Определим напряжение дуги для последующих проходов, рассчитаем по формуле 34.

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,6^{0,5}} \cdot 400,0 = 35,8 \pm 1 \text{ В}$$

Принимаем напряжение дуги $U_{\text{д}} = 36,0 \text{ В}$.

Определяем коэффициент формы провара по формуле 35.

$$\psi_{\text{пр}} = 0,92 \cdot (19 - 0,01 \cdot 400,0) \cdot \frac{1,6 \cdot 36,0}{400,0} = 1,9$$

Определим величину погонной энергии по формуле 36.

$$q_{\text{п}} = \frac{400,0 \cdot 36 \cdot 0,85}{0,55} = 22254,5 \text{ Дж/см}$$

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14.М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Определим фактическую глубину провара по формуле 37.

$$h = 8,06 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{22254,5}{1,9}} = 0,53 \text{ см} = 5,3 \text{ мм}$$

Определяем ширину шва по формуле 38.

$$b = 1,9 \cdot 8,7 = 16,53 \text{ мм}$$

Определяем высоту валика, для этого рассчитаем необходимые данные.

Определим коэффициент расплавления электродной проволоки по формуле 42.

$$\alpha_p = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{400,0}{1,6} \right) \cdot 10^{-4} = 63,3 \cdot 10^{-4} \text{ г/А} \cdot \text{ч} = 22,7 \text{ г/А} \cdot \text{с}$$

Тогда коэффициент наплавки электродной проволоки будет равен 41.

$$\alpha_H = 22,7 \cdot \left(1 - \frac{10}{100} \right) = 20,4 \text{ мм}^2$$

Определим площадь наплавленного металла последующих проходов по формуле 40.

$$F_{\text{нм}} = \frac{20,4 \cdot 400,0}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,55} = 0,52 \text{ см}^2 = 52,0 \text{ мм}^2$$

Обладая всеми необходимыми данными, определим высоту валика по формуле 39.

$$c = \frac{52,0}{0,73 \cdot 16,53} = 4,3 \text{ мм}$$

Принимаем $c = 4,0 \text{ мм}$.

Определим высоту шва по формуле 43.

$$H = 16,53 + 4,0 = 20,5 \text{ мм}$$

Определяем скорость подачи проволоки по формуле 47.

$$V_{\text{пп}} = \frac{4 \cdot 20,4 \cdot 400,0}{3,14 \cdot 1,6^2 \cdot 7,8} = 520,0 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{\text{пп}} = 520,0 \text{ м/ч}$.

Расстояние от сопла горелки до изделия остаётся на том же расстоянии что и при первом проходе.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Площадь поперечного сечения наплавленного металла тавровых сварных швов с односторонней разделкой кромок и подваренным корнем шва определяется по формуле 49.

$$F_{\text{нм}} = S \cdot b_0 + \frac{(S - c_{\text{с1}})^2}{2} \cdot \text{tg} \alpha + 0.75 \cdot b_2 \cdot c_{\text{с2}} \quad (49)$$

где S – толщина основного металла, мм;

b_0 – зазор в стыке, мм;

$c_{\text{с1}}$ – высота валика первого прохода, мм;

b_2 – ширина валика шва, мм;

$c_{\text{с2}}$ – высота валика шва.

$$F_{\text{нм}} = 14,0 \cdot 2,0 + \frac{(14,0 - 1,8^2)}{2} \cdot 1 + 0.75 \cdot 16,53 \cdot 4,0 = 82,56 \text{ мм}^2$$

Определим число проходов стыка по формуле 50.

$$n = \frac{82,56 - 17}{52,0} + 1 = 2 \quad (50)$$

Принимаем $n = 2,0$.

Первый проход: Диаметр электрода 1.6 мм. Сварочный ток 250,0 А.

Напряжение дуги 30,0 В. Скорость сварки 26,0 м/ч. Скорость подачи проволоки 220,0 м/ч.

Следующие проходы: Диаметр электрода 1.6 мм. Сварочный ток 400,0 А.

Напряжение дуги 36,0 В. Скорость сварки 20,0 м/ч. Скорость подачи проволоки 520,0 м/ч.

Расчет режимов механизированной сварки в среде защитных газов для соединения Н1.

Исходные данные:

- основной металл: сталь 09Г2С [26];
- толщина металла: 14,0 мм;
- способ сварки: полуавтоматическая ручная дуговая сварка;
- тип соединения: нахлесточное;

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14.М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- тип шва: нахлесточный;
- положение шва: нижнее;
- тип шва по количеству проходов: многопроходный односторонний.

Для соединения подкладного листа с корпусом обечайки используется соединение Н1 [36], показанное на рисунке 16.

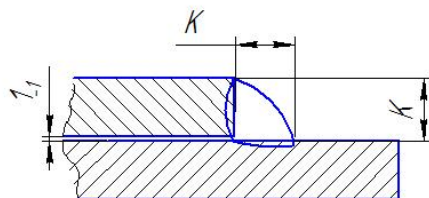


Рисунок 16 – соединение Н1: К=14 мм

Величина сварочного тока определяется в зависимости от диаметра электродной проволоки согласно рекомендациям таблицы 15.

Для выполнения первого прохода выбираем сварочную проволоку диаметром 3 мм. При расчётах принимаем величину сварочного тока $I_{св} = 300,0$ А.

При многопроходной сварке для проволоки $d_{эл} = 1,6$ мм скорость сварки определяется по формуле 33.

$$V_{св} = \frac{(5...8) \cdot 10^3}{300,0} = 16,6 \dots 26,6 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{св} = 22,0$ м/ч = 0,61 см/с.

Напряжение дуги рассчитывается по формуле 34.

$$U_{д} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,6^{0,5}} \cdot 300,0 = 32,0 \pm 1 \text{ В.}$$

Напряжение рекомендуется ближе к нижнему пределу диапазона значений. Принимаем напряжение дуги $U_{д} = 32,0$ В.

Определяем коэффициент формы провара по формуле 35.

$$\psi_{пр} = 0,92 \cdot (19 - 0,01 \cdot 300,0) \cdot \frac{1,6 \cdot 32,0}{300,0} = 2,5$$

Определим величину погонной энергии по формуле 36.

$$q_{\Pi} = \frac{300,0 \cdot 32,0 \cdot 0,85}{0,61} = 13377,0 \text{ Дж/см}$$

Определим фактическую глубину провара по формуле 37.

$$h = 8,06 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{13377,0}{2,5}} = 0,73 \text{ см} = 7,3 \text{ мм}$$

Определяем ширину шва по формуле 38.

$$b = 2,5 \cdot 7,3 = 18,26.$$

Коэффициент расплавления электродной проволоки, определяется по формуле 42.

$$\alpha_p = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{300,0}{1,6} \right) \cdot 10^{-4} = 49,5 \cdot 10^{-4} \text{ г/А} \cdot \text{ч} = 17,8 \text{ г/А} \cdot \text{с}$$

Тогда коэффициент наплавки электродной проволоки будет равен по формуле 41.

$$\alpha_H = 17,8 \cdot \left(1 - \frac{10}{100} \right) = 16,0 \text{ мм}^2$$

Определим площадь наплавленного металла по формуле 40.

$$F_{\text{нм}} = \frac{16,0 \cdot 300,0}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,61} = 0,28 \text{ см}^2 = 28,0 \text{ мм}^2$$

Обладая всеми необходимыми данными определим высоту валика по формуле 39.

$$c = \frac{28,0}{0,73 \cdot 18,26} = 2,1 \text{ мм}$$

Принимаем $c = 2,0 \text{ мм}$.

Определим высоту шва по формуле 43.

$$H = 7,3 + 2,0 = 9,6 \text{ мм}$$

Определим глубину проплавления полки по формуле 51.

$$h_0 = H - g, \quad (51)$$

где $g = \sqrt{F_n}$;

$$h_0 = 9,6 - 5,2 = 4,4 \text{ мм}$$

Определим глубину проплавления стенки по формуле 46.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$h_1 = (0,8...1) \cdot 4,4 = 3,5...4,4 \text{ мм}$$

Принимаем $h_1 = 4,0 \text{ мм}$.

Определяем скорость подачи проволоки по формуле 47.

$$V_{\text{пп}} = \frac{4 \cdot 16,0 \cdot 300,0}{3,14 \cdot 1,6^2 \cdot 7,8} = 306,0 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{\text{пп}} = 306,0 \text{ м/ч}$.

Определим расстояние от сопла горелки до изделия по формуле 48.

Согласно ранее приведённым рекомендациям для проволоки $d_{\text{эл}} = 1,6 \text{ мм}$ вылет электрода составляет $15,0... 25,0 \text{ мм}$.

Таким образом вылет электрода будет равен

$$l_3 = 8 \cdot 1,6 = 9,6 \text{ мм}$$

Принимаем $15,0 \text{ мм}$.

Рассчитаем режимы сварки последующих проходов углового шва.

Для дальнейших проходов принимаем проволоку $1,6 \text{ мм}$. Повышаем силу сварочного тока до $400,0 \text{ А}$.

Таким образом, при многопроходной сварке скорость сварки при последующих проходах будет рассчитываться по формуле 33.

$$V_{\text{св}} = \frac{(5...8) \cdot 10^3}{400,0} = 12,5... 20,0 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{\text{св}} = 20,0 \text{ м/ч} = 0,55 \text{ см/с}$.

Определим напряжение дуги для последующих проходов по формуле 34.

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,6^{0,5}} \cdot 400,0 = 35,0 \pm 1 \text{ В}$$

Принимаем напряжение дуги $U_{\text{д}} = 35,0 \text{ В}$.

Определяем коэффициент формы провара по формуле 35.

$$\psi_{\text{пр}} = 0,92 \cdot (19 - 0,01 \cdot 400,0) \cdot \frac{1,6 \cdot 35,0}{400,0} = 1,9$$

Определим величину погонной энергии по формуле 36.

$$q_{\text{п}} = \frac{400,0 \cdot 35,0 \cdot 0,85}{0,55} = 21636,3 \text{ Дж/см}$$

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14.М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Определим фактическую глубину провара по формуле 37.

$$h = 8,06 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{21636,3}{1,9}} = 0,9 \text{ см} = 9,0 \text{ мм}$$

Определяем ширину шва по формуле 38.

$$b = 1,9 \cdot 9,0 = 17,1 \text{ мм}$$

Определяем высоту валика, для этого рассчитаем необходимые данные.

Определим коэффициент расплавления электродной проволоки по формуле 42.

$$\alpha_p = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{400,0}{1,6} \right) \cdot 10^{-4} = 63,3 \cdot 10^{-4} \text{ г/А} \cdot \text{ч} = 22,7 \text{ г/А} \cdot \text{с}$$

Тогда коэффициент наплавки электродной проволоки будет равен по формуле 41.

$$\alpha_H = 22,7 \cdot \left(1 - \frac{10}{100} \right) = 20,4 \text{ мм}^2$$

Определим площадь наплавленного металла последующих проходов по формуле 40.

$$F_{\text{нм}} = \frac{20,4 \cdot 400,0}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,69} = 0,52 \text{ см}^2 = 52,0 \text{ мм}^2$$

Обладая всеми необходимыми данными определим высоту валика по формуле 39.

$$c = \frac{52,0}{0,73 \cdot 17,1} = 4,1 \text{ мм}$$

Принимаем $c = 5,0 \text{ мм}$.

Определим высоту шва по формуле 43.

$$H = 9,0 + 5,0 = 14,0 \text{ мм}$$

Определяем скорость подачи проволоки по формуле 47.

$$V_{\text{пш}} = \frac{4 \cdot 20,4 \cdot 400,0}{3,14 \cdot 1,6^2 \cdot 7,8} = 520,0 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{\text{пш}} = 520,0 \text{ м/ч}$.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Расстояние от сопла горелки до изделия остаётся на том же расстоянии что и при первом проходе.

Общая площадь поперечного сечения наплавленного металла определяется по формуле 52.

$$F_{\text{н.м}} = \frac{K^2}{2} \cdot 1.05, \quad (52)$$

$$F_{\text{н.м}} = \frac{(14^2)}{2} \cdot 1.05 = 102,0 \text{ мм}^2$$

Определим число проходов по формуле 50.

$$n = \frac{102,0 - 28,0}{52,0} + 1 = 2,3$$

Принимаем $n = 2,0$.

Первый проход: диаметр электрода 1,6 мм. Сварочный ток 300,0 А. Напряжение дуги 32,0 В. Скорость сварки 22,0 м/ч. Скорость подачи проволоки 306,0 м/ч.

Следующие проходы: диаметр электрода 1,6 мм. Сварочный ток 400,0 А. Напряжение дуги 36,0 В. Скорость сварки 20 м/ч. Скорость подачи проволоки 520,0 м/ч.

Расчет режимов автоматической сварки под слоем флюса.

Исходные данные:

- основной металл: сталь 09Г2С [26];
- толщина металла: 14 мм;
- способ сварки: автоматическая сварка под слоем флюса;
- тип соединения: стыковое;
- тип шва: стыковой;
- положение шва: нижнее;
- тип шва по количеству проходов: односторонний, двухсторонний.

Согласно [36] для сварки АФ допускает сварку без разделки кромок до 15 мм. Соединение С7 представлено на рисунке 17.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

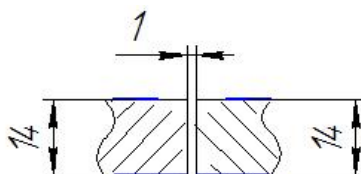


Рисунок 17 – соединение С7

Устанавливаем требуемую глубину провара при сварке с одной стороны по формуле 53.

$$h_1 = \frac{S}{2} , \quad (53)$$

$$h_1 = \frac{14,0}{2} = 7,0 \text{ мм}$$

Определяем величину сварочного тока по эмпирической формуле 54.

$$I_{\text{св}} = (80...100) \cdot h_1 \quad (54)$$

$$I_{\text{св}} = (80...100) \cdot 7,0 = 560,0...700,0 \text{ А.}$$

Для расчетов принимаем $I_{\text{св}} = 600,0 \text{ А}$.

Определяем диаметр электродной проволоки по формуле 55.

$$d_{\text{эл}} = 1.13 \cdot \sqrt{\frac{i_{\text{св}}}{j}} \quad (55)$$

где j – плотность тока, А/мм^2 .

Допускаемая плотность тока при автоматической сварке зависит от диаметра электрода и определяется по таблице 16.

Таблица 16 – Допустимая плотность тока для электродов.

Диаметр электрода, мм	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Плотность тока, А/мм^2	90,0... 400,0	65,0... 200,0	45,0... 90,0	35,0... 60,0	30,0... 50,0	25,0... 45,0

$$d_{\text{эл}} = 1.13 \cdot \sqrt{\frac{600,0}{40,0}} = 4,37 \text{ мм}$$

Принимаем $d_{эл} = 4,0$ мм.

Для проволоки $d_{эл} = 4,0$ мм скорость сварки определяется по формуле 60.

$$V_{св} = \frac{(12...16) \cdot 10^3}{i_{св}}, \quad (60)$$

$$V_{св} = \frac{(12..16) \cdot 10^3}{600,0} = (26,7...33,3) \text{ м/ч}$$

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

Полученный предел скорости сварки соответствует рекомендуемому 4,0...16,0 мм/с при использовании флюса АН-47.

Оптимальное напряжение дуги может быть определено по формуле 34.

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{4,0^{0.5}} \cdot 600,0 = 35,0 \pm 1B$$

Принимаем $U_d = 35,0$ В.

Коэффициент формы провара в зависимости от основных параметров режима сварки может быть определен по формуле 35.

$$\psi_{пр} = K' \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{св}) \cdot \frac{d_{эл} \cdot U_d}{I_{св}},$$

Значение коэффициента (K') определяется по таблице 17 исходя из условий по формуле 56.

Таблица 17 - Значение коэффициента K' .

Род тока	Полярность	Плотность тока j , А/мм ²	Величина коэф- фициента K'
Постоянный	Обратная	< 120	$0,367 \cdot j^{0,1925}$
	Прямая		$2,820 \cdot j^{0,1925}$
	Обратная	≥ 120	0,92
	Прямая		1,12
Переменный	-	< 120; ≥ 120	1

$$K' = 0,367 \cdot j^{0,1925} = 0,367 \cdot \left(\frac{I_{\text{св}} \cdot 4}{\pi \cdot d_{\text{эл}}^2} \right)^{0,1925}, \quad (56)$$

$$K' = 0,367 \cdot \left(\frac{600,0 \cdot 4}{3,14 \cdot 4,0^2} \right)^{0,1925} = 0,77$$

Тогда,

$$\psi_{\text{пр}} = 0,77 \cdot (19 - 0,01 \cdot 600,0) \cdot \frac{4 \cdot 35}{600,0} = 2,3$$

Величина погонной энергии рассчитывается по формуле 36.

$$q_{\text{п}} = \frac{600,0 \cdot 35,0 \cdot 0,8}{0,83} = 20240,9 \text{ Дж/см.}$$

Определяем глубину проплавления по формуле 57.

$$h_{\phi} = 7,6 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{q_{\text{п}}}{\psi_{\text{пр}}}}, \quad (57)$$

$$h_{\phi} = 7,6 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{20240,9}{2,3}} = 0,71 \text{ см} = 7,1 \text{ мм.}$$

Определяем ширину шва по формуле 38.

$$B = 2,3 \cdot 7,1 = 16,3 \text{ мм}$$

Находим коэффициент расплавления электродной проволоки по формуле 42.

$$\alpha_{\text{р}} = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{600,0}{4,0} \right) \cdot 10^{-4} = 41,3 \cdot 10^{-4} \text{ г/А} \cdot \text{ч} = 14,8 \text{ г/А} \cdot \text{с}$$

Определяем коэффициент наплавки по формуле 41.

$$\alpha_{\text{н}} = 14,8 \cdot \left(1 - \frac{10}{100} \right) = 13,32 \text{ мм}^2$$

Определим площадь наплавленного металла по формуле 40.

$$F_{\text{нм}} = \frac{13,32 \cdot 600,0}{3600,0 \cdot 7,8 \cdot 0,83} = 0,34 \text{ см}^2 = 34 \text{ мм}^2.$$

Определяем высоту валика по формуле 39.

$$c = \frac{34,0}{0,73 \cdot 16,3} = 2,8 \text{ мм.}$$

Принимаем $c = 3,0$ мм.

Определим высоту шва по формуле 43.

$$H = 7,1 + 3,0 = 10,1 \text{ мм.}$$

Скорость подачи сварочной проволоки определяется по формуле 47.

$$V_{\text{ш}} = \frac{4 \cdot 13,32 \cdot 600,0}{3,14 \cdot 4^2 \cdot 7,8} = 81,5 \text{ м/ч.}$$

Первый проход и последующий проход: Диаметр электрода 4,0 мм. Сварочный ток 600,0 А. Напряжение дуги 35,0 В. Скорость сварки 30,0 м/ч. Скорость подачи проволоки 82,0 м/ч.

Расчет режимов механизированной сварки в среде защитных газов для соединения С8.

Исходные данные:

- основной металл: сталь 09Г2С [21];
- толщина металла: 14 мм;
- способ сварки: полуавтоматическая ручная дуговая сварка;
- тип соединения: стыковое;
- тип шва: стыковой со скосом кромки;
- положение шва: нижнее;
- тип шва по количеству проходов: многопроходный односторонний.

Для соединения стоек опор с подкладным листом используется соединение С8 [29] представленное на рисунке 18.

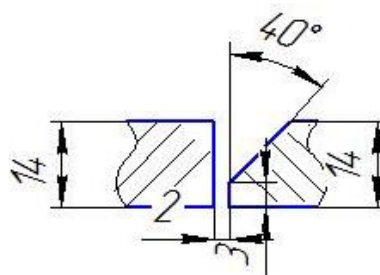


Рисунок 18 – соединение С8

Величина сварочного тока определяется в зависимости от диаметра электродной проволоки согласно рекомендациям таблицы 15.

Для выполнения первого прохода выбираем сварочную проволоку диаметром 1,6 мм. При расчётах принимаем величину сварочного тока $I_{св} = 250,0$ А.

Определим скорость сварки. При многопроходной сварке для проволоки $d_{эл}=1,6$ мм скорость сварки определяется по формуле 33.

$$V_{св} = \frac{(5...8) \cdot 10^3}{250,0} = 20,0 \dots 32,0 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{св} = 26,0 \text{ м/ч} = 0,72 \text{ см/с}$.

Напряжение дуги рассчитывается по формуле 34.

$$U_{д} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,6^{0,5}} \cdot 250,0 = 29,9 \pm 1 \text{ В}$$

Напряжение рекомендуется ближе к нижнему пределу диапазона значений. Принимаем напряжение дуги $U_{д} = 30,0$ В.

Определяем коэффициент формы провара по формуле 35.

$$\psi_{пр} = 0,92 \cdot (19 - 0,01 \cdot 250,0) \cdot \frac{1,6 \cdot 30,0}{250,0} = 2,9$$

Определим величину погонной энергии $q_{п}$ по формуле 36.

$$q_{п} = \frac{250,0 \cdot 30,0 \cdot 0,85}{0,72} = 8854,16 \text{ Дж/см},$$

Определим фактическую глубину провара по формуле 37.

$$h = 8,06 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{8854,16}{2,9}} = 0,44 \text{ см} = 4,4 \text{ мм}$$

Определяем ширину шва по формуле 38.

$$b = 2,9 \cdot 4,4 = 12,7$$

Определим коэффициент расплавления электродной проволоки по формуле 42.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14МО105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\alpha_p = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{250,0}{1,6} \right) \cdot 10^{-4} = 42,6 \cdot 10^{-4} \text{ г/А} \cdot \text{ч} = 15,3 \text{ г/А} \cdot \text{с}$$

Тогда коэффициент наплавки электродной проволоки будет равен 41.

$$\alpha_H = 15,3 \cdot \left(1 - \frac{10}{100} \right) = 13,77 \text{ мм}^2$$

Определим площадь наплавленного металла 40.

$$F_{HM} = \frac{13,77 \cdot 250}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,72} = 0,17 \text{ см}^2 = 17,0 \text{ мм}^2$$

Обладая всеми необходимыми данными, определим высоту валика 39.

$$c = \frac{17,0}{0,73 \cdot 12,7} = 1,8 \text{ мм}$$

Принимаем $c = 2,0 \text{ мм}$.

Определим высоту шва по формуле 43.

$$H = 4,4 + 2,0 = 6,4 \text{ мм}$$

Определим высоту заполнения разделки с учётом зазора в стыке по формуле 44.

$$q = \sqrt{\frac{17,0 - 3,5 \cdot 2,0}{\text{tg } 40}} = 3,2 \text{ мм.}$$

Определим глубину провара притупления по формуле 45.

$$h_0 = 6,4 - 3,2 = 3,2 \text{ мм.}$$

Определим глубину проплавления стенки по формуле 46.

$$h_1 = (0,8 \dots 1) \cdot 3,2 = 2,5 \dots 3,2 \text{ мм}$$

Принимаем $h_1 = 2,8 \text{ мм}$.

Определяем скорость подачи проволоки по формуле 47.

$$V_{\text{пп}} = \frac{4 \cdot 13,77 \cdot 250,0}{3,14 \cdot 1,6^2 \cdot 7,8} = 219,6 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{\text{пп}} = 220,0 \text{ м/ч}$.

Согласно ранее приведённым рекомендациям для проволоки $d_{\text{эл}} = 1,6 \text{ мм}$ вылет электрода составляет $15,0 \dots 25,0 \text{ мм}$.

Определим расстояние от сопла горелки до изделия по формуле 49.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14.М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$l_3 = 8,0 \cdot 1,6 = 12,8 \text{ мм.}$$

Принимаем 15,0 мм.

Рассчитаем режимы сварки последующих проходов со стороны разделки.

Для дальнейших проходов принимаем проволоку $d_{эл} = 1,6$ мм. Повышаем силу сварочного тока до 400,0 А.

Таким образом при многопроходной сварке скорость сварки при последующих проходах будет определяться по формуле 33.

$$V_{св} = \frac{(5...8) \cdot 10^3}{400,0} = 12,5...20,0 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{св} = 20,0 \text{ м/ч} = 0,55 \text{ см/с}$.

Определим напряжение дуги для последующих проходов, рассчитаем по формуле 34.

$$U_{д} = 20 + \frac{50,0 \cdot 10^{-3}}{1,6^{0,5}} \cdot 400,0 = 35,8 \pm 1 \text{ В}$$

Принимаем напряжение дуги $U_{д} = 36,0 \text{ В}$.

Определяем коэффициент формы провара по формуле 35.

$$\psi_{пр} = 0,92 \cdot (19 - 0,01 \cdot 400,0) \cdot \frac{1,6 \cdot 36,0}{400,0} = 1,9$$

Определим величину погонной энергии по формуле 36.

$$q_{п} = \frac{400,0 \cdot 36,0 \cdot 0,85}{0,55} = 22254,5 \text{ Дж/см}$$

Определим фактическую глубину провара по формуле 37.

$$h = 8,06 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{22254,5}{1,9}} = 0,53 \text{ см} = 5,3 \text{ мм}$$

Определяем ширину шва по формуле 38.

$$b = 1,9 \cdot 8,7 = 16,53 \text{ мм}$$

Определяем высоту валика, для этого рассчитаем необходимые данные.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Определим коэффициент расплавления электродной проволоки по формуле 42.

$$\alpha_p = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{400,0}{1,6} \right) \cdot 10^{-4} = 63,3 \cdot 10^{-4} \text{ г/А} \cdot \text{ч} = 22,7 \text{ г/А} \cdot \text{с}$$

Тогда коэффициент наплавки электродной проволоки будет равен 41.

$$\alpha_H = 22,7 \cdot \left(1 - \frac{10}{100} \right) = 20,4 \text{ мм}^2$$

Определим площадь наплавленного металла последующих проходов по формуле 40.

$$F_{HM} = \frac{20,4 \cdot 400,0}{3600,0 \cdot 7,8 \cdot 0,55} = 0,52 \text{ см}^2 = 52,0 \text{ мм}^2$$

Обладая всеми необходимыми данными определим высоту валика по формуле 39.

$$c = \frac{52,0}{0,73 \cdot 16,53} = 4,3 \text{ мм}$$

Принимаем $c = 4,0 \text{ мм}$.

Определим высоту шва по формуле 43.

$$H = 16,53 + 4,0 = 20,5 \text{ мм}$$

Определяем скорость подачи проволоки по формуле 47.

$$V_{\text{пп}} = \frac{4 \cdot 20,4 \cdot 400,0}{3,14 \cdot 1,6^2 \cdot 7,8} = 520,0 \text{ м/ч.}$$

Принимаем $V_{\text{пп}} = 520,0 \text{ м/ч}$.

Расстояние от сопла горелки до изделия остаётся на том же расстоянии что и при первом проходе.

Площадь поперечного сечения наплавленного металла стыковых сварных швов с односторонней разделкой кромок и подваренным корнем шва определяется по формуле 58.

$$F_{HM} = S \cdot b + \frac{(S - c^2)}{2} \cdot \text{tg } \alpha + 0,75 \cdot l \cdot c + 0,75 \cdot l_2 \cdot c_2 \quad (58)$$

где S – толщина основного металла, мм;

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

b – зазор в стыке, мм;

c – высота валика первого прохода, мм;

l – ширина валика шва первого прохода, мм;

c_2 – высота валика основного шва, мм;

l_2 – ширина валика основного шва, мм.

$$F_{\text{нм}} = 14,0 \cdot 2,0 + \frac{(14,0 - 1,8^2)}{2} \cdot 0,83 + 0,75 \cdot 12,7 \cdot 1,8 + 0,75 \cdot 16,53 \cdot 4,0 = 89,5 \text{ мм}^2.$$

Определим число проходов стыка по формуле 50.

$$n = \frac{89,5 - 17,0}{52,0} + 1 = 2,3$$

Принимаем $n = 2,0$.

Первый проход: Диаметр электрода 1.6 мм. Сварочный ток 250,0 А.

Напряжение дуги 30,0 В. Скорость сварки 26,0 м/ч. Скорость подачи проволоки 220,0 м/ч.

Следующие проходы: Диаметр электрода 1.6 мм. Сварочный ток 400,0 А.

Напряжение дуги 36,0 В. Скорость сварки 20,0 м/ч. Скорость подачи проволоки 520,0 м/ч.

Таким образом, произведен расчет режимов сварки для сварочного соединения корпуса и корпусных элементов. Полученные результаты указаны в технологических картах в Приложении Б. На основе рассчитанных параметров, производим выбор сварочного оборудования.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4.4 Выбор сварочного оборудования

Для механизированной сварки в среде защитных газов применяем инверторный сварочный аппарат *AuroraPRO ULTIMATE 500 INDUSTRIAL (MIG/MAG+MMA)* показанный на рисунке 19. Данный сварочный аппарат предназначен для полуавтоматической сварки в широком диапазоне тока от 80,0 А до 500,0 А, что захватывает диапазоны сварочного тока элементов корпуса проектируемой конструкции. Более подробные характеристики представлены в таблице 18.



Рисунок 19 – *AuroraPRO ULTIMATE 500 INDUSTRIAL*

Таблица 18 – Технические характеристики *AuroraPRO ULTIMATE 500 INDUSTRIAL*

Параметры	Значения
Вес	42,0
Габаритные размеры, мм.	670,0×320,0×640,0
Диаметр проволоки, мм.	1.0-1.6
Максимальный ток, А.	37.5
Напряжение питающей сети, В.	380,0
Напряжение, В.	380,0
Потребляемая мощность, кВт.	22,0
Режим работы при 40°, %.	100,0
Рекомендуемая мощность генератора, кВА.	24.7
Сварочный ток, А.	80 – 500,0
Скорость подачи проволоки, м/мин.	3-15,0
Степень защиты	IP21
Температурный диапазон работы, °С.	От минус 20 до 50,0

Для автоматической сварки под слоем флюса принимаем следующее оборудование:

Автоматическая подвесная головка, представленная на рисунке 20, предназначена для сварки под флюсом или в защитных газах продольных и кольцевых швов, как стыковых, при толщине металла от 2,0 до 30,0 мм.

Автомат АБС комплектуется из трех узлов: А, Б и С.

Узел А – подвесная автоматическая головка, которая осуществляет подачу электродной проволоки, в зону дуги. Она имеет механизм подачи, токоподводящий мундштук правильным устройством, пультом управления, систему подвески и корректирования.

Узел Б – бункер с флюсоаппаратом, катушкой для электродной проволоки и механизмом вертикального перемещения.

Узел С – самоходная тележка с электроприводом для перемещения автомата по направляющим.

При использовании автомата применяется проволока диаметром от 2,0 до 6,0 мм, сварочный ток 300,0...1500,0 А, скорость сварки 14,0...110,0 м/час, скорость подачи электродной проволоки 0,48...3,66 м/мин.

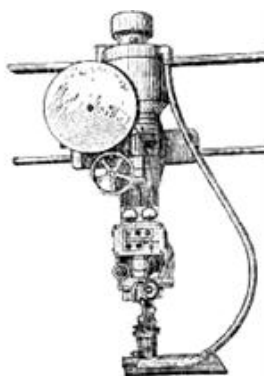


Рисунок 20 – Автоматическая подвесная головка типа АБС

Сварочный трактор ТС-17-М представленный на рисунке 21, является портативным, легким переносным сварочным аппаратом универсального типа, предназначенным для сварки любых швов в нижнем положении: стыковых швов с разделкой и без разделки, угловых швов в лодочку и в тавр (наклонной

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

сварочной проволокой), и нахлесточных швов. Его основные характеристики представлены в таблице 19.

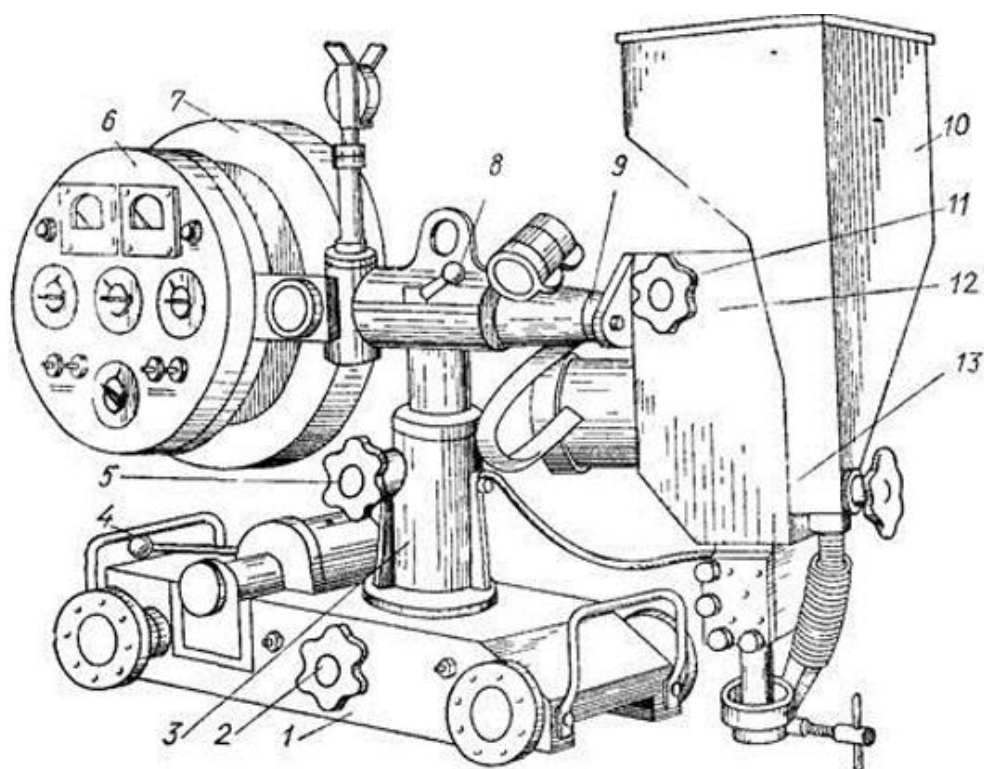


Рисунок 21 – Сварочный трактор ТС-17-М: 1– механизм для проведения поперечной корректировки; 2 – стойка устройства; 3 – ручка управления муфтой; 4 – зажим стойки; 5 – пульт управления; 6 – кассета; 7 – зажим на коромысле; 8 – коромысло; 9 – бункер; 10 – ручка; 11 – механизм для проведения вертикальной корректировки; 12 – головка для сварки

Таблица 19 – Основные характеристики сварочного трактора ТС-17-М

Мо- дель	Величина напряже- ния	Номиналь- ный свароч- ный ток	Регулиров- ка скоро- сти	Диаметр присадоч- ного мате- риала	Вес устро- йства	Габариты
ТС- 17-М	38,0 В	До 1000 А	16-126,0 м/ч	2-5,0 мм	45,0 кг	702×360×590 мм

Выбранное сварочное оборудование соответствует техническим требованиям для заданных режимов сварки, и обеспечивает автоматизацию процесса и сокращение основного времени на сварочные операции.

Для полученных сварных соединений назначаем контроль качества.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

5. Контроль качества сварных соединений

Качество сварки и сварных соединений – это основной показатель, которому должно соответствовать изделие.

Для оценки качества сварного соединения, осуществляют контроль, что подразумевает проверку условий и порядок выполнения сварочных работ, а также контроль качества выполнения сварных соединений в соответствии с техническими требованиями.

В процессе установления сварного соединения, в ходе нарушения технологии, применения не качественных сварных материалов или из-за ошибок неквалифицированного сварщика, в сварном шве могут образоваться дефекты, снижающие прочностные показатели сварного шва и всего аппарата.

Контроль качества сварных соединений проходит в несколько основных этапов:

1) предварительный – это первичный контроль сварного соединения для определения качества сварки. Такой контроль предупреждает образование дефектов, он заключается в контроле электродов, флюсов, соблюдения режимов работы и т.д.;

2) окончательный – это контроль, который оценивает результаты технологического процесса, его суть заключается в определении качества швов и выявлении дефектов.

Окончательный контроль подразделяется на разрушающий и неразрушающий.

Неразрушающий метод контроля является наиболее используемый, так как не требует разрушения сварного соединения. Используются следующие виды неразрушающего контроля:

- внешний осмотр (применяется независимо от назначения конструкции, и способа сварки);
- ультразвуковая дефектоскопия;
- капиллярная дефектоскопия;

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Разрушающий метод контроля сварных соединений является менее распространённым, потому что требует разрушения сварного соединения или же конструкции в целом. К этим методам контроля относят:

- механические испытания;
- металлографические исследования;
- специальные испытания

Выбор способа и объема контроля для аппарата, работающего под давлением происходит по рекомендациям и требованиям [6].

Учитывая конструкторские особенности, назначение проектируемой конструкции, а также принятые способы сварки, поверхности сварных швов и околошовных зон, подлежат контролю неразрушающими и разрушающими методами

5.1 Контрольные сварные соединения

Механические испытания проводятся согласно требованиям пунктам 8.3, 8.10 [6]. Перед началом процесса сборки корпуса сосуда, необходимо убедиться на практике, правильно ли выполнен расчет конструкции. Для этого свариваются контрольные соединения стыковых швов №1, №2 по тем режимам и параметрам что были заданы в процессе проектирования. Образцы испытывают на статическое растяжение, изгиб при максимальной и минимальной рабочей температуре стенки, и на ударную вязкость при минимальной рабочей температуре.

При получении неудовлетворительных результатов по какому-либо виду механических испытаний допускается проведение повторного испытания на удвоенном количестве образцов, вырезанных из того же контрольного сварного соединения, по тому виду механических испытаний, которые дали неудовлетворительные результаты. Если при повторном испытании получены неудовлетворительные результаты хотя бы на одном образце, сварное соединение считают непригодным.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14.М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

5.2 Визуальный и измерительный контроль

Визуальный контроль, проводится согласно пункту 8.2 [6] и инструкции по визуально-измерительному контролю РД 03-606-03 [45].

Контролю подвергаются 100% швов по требованию [6]. На этом этапе, проходят внешний осмотр, проходящий невооруженным глазом или с использованием увеличительных приборов, шаблонов и измерительных инструментов. Проверяются геометрические размеры швов, наличие подрезов, трещин, непроваров, кратеров и других наружных дефектов.

5.3 Капиллярный метод

Капиллярная дефектоскопия, проводится согласно РДИ 38.18.019-95 [46].

Вторым этапом, после прохождения визуально оптического контроля, является капиллярный метод. Контролю капиллярным методом подвергаются швы №1, №2, №3, № 4 (накладных колец усиления), №6 в объеме 10%.

Капиллярный контроль позволяет обнаружить дефекты, выходящие на поверхность: трещины, поры, раковины, не провары, и другие несплошности.

Капиллярный метод основан на явлении капиллярной активности, т. е способности жидкости втягиваться в мельчайшие отверстия и каналы. При попадании жидкости в канал её поверхность искривляется, образуя мениск, отверстие удаётся обнаружить за счёт индикаторных рисунков. Выявление дефектов, имеющих ширину раскрытия более 0,5 мм, капиллярным методом не гарантируется. Схема проведения капиллярного метода представлена на рисунке 22.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14.М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОПЕРАЦИЙ ПРИ КАПИЛЛЯРНОМ КОНТРОЛЕ

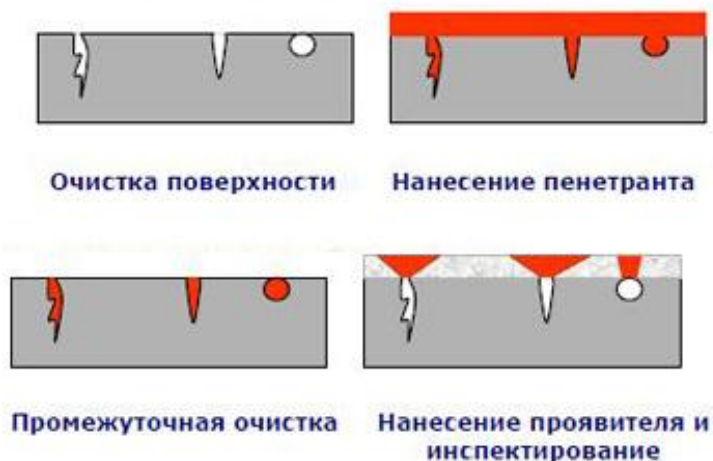


Рисунок 22 – Схема проведения капиллярного метода контроля

5.4 Ультразвуковая дефектоскопия

Ультразвуковая дефектоскопия, проводится согласно пункту 8.7 [6] по методике СТО 00220256-005-2005 [47].

Третьим этапом, будет прохождение ультразвуковой дефектоскопии. Данному методу подвергаются 100% сварных швов. Контроль проходят швы №1, №2, №3, №6 в местах где это доступно. Контроль сварных соединений осуществляется при помощи ультразвуковых дефектоскопов, которыми можно выявлять трещины, не провар, газовые и шлаковые включения. Ультразвуковая технология испытания основана на способности высокочастотных колебаний (около 20 000 Гц) проникать в металл и отражаться от поверхности царапин, пустот и других неровностей. Если на пути прохождения ультразвука встретится дефект, то часть волн отразится от него раньше, чем донный сигнал достигнет приемника. Эта часть волн усиливается приемным усилителем, подается на электроннолучевую трубку и на ее экране между начальным и донным импульсами возникнет пик импульса от дефекта, что представлено на рисунке 23.

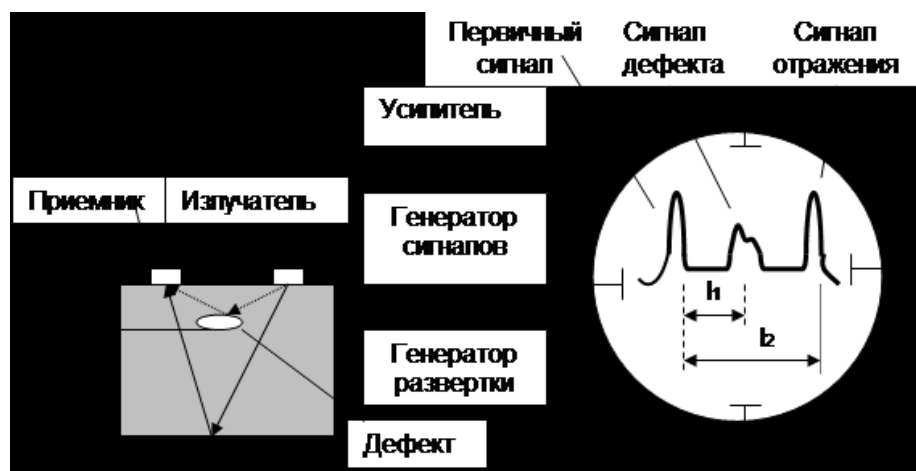


Рисунок 23 – Ультразвуковая дефектоскопия

На данном этапе для используется эхо-метод, основанный на регистрации сигнала отраженного от дефекта.

5.5 Испытания на герметичность

Испытания на герметичность сосуда проводятся в соответствии с пунктом 8.11 [6], и соблюдением норм безопасности согласно РД 24.200.11-90 [48].

После выявления и устранения всех дефектов сварных соединений, сосуд отправляют на гидравлическое испытание. Данному контролю подвергаются швы №1, №2, №3. Испытания сварочных швов в аппаратах, которые предназначены для работы под давлением и проводятся двумя способами.

Емкость полностью или частично заполняется водой на 30 минут под пробным давлением. Сварной шов считается качественным, если в течение вышеуказанного времени не дал течи и остался с внешней стороны в сухом виде.

После истечения вышеуказанного времени давление снижается до рабочего, а около шовную зону снаружи обстукивают молотком. Влажные и запотевшие участки – дефекты, отмечаются мелом. Затем вода сливается из сосуда, а некачественные швы завариваются.

После устранения дефектов швы снова подвергаются испытаниям для выявления незамеченных или новых дефектов.

Швы №4 (накладного кольца усиления) и №6 подвергаются пневматическому испытанию. В кольце жесткости просверливается отверстие М10, через которое подается сжатый воздух в полость под кольцом. Снаружи сварные швы кольца покрывают раствором, образующим пену. При дефектах сварного шва, в этой зоне будет излишнее образование пузырей. После испытания отверстие заваривают, а дефектную зону помечают мелом для дальнейшего устранения.

					<i>ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

6 Выбор средств технологического оснащения

Для снижения основного машинного времени, сокращения ресурсозатрат и повышения автоматизации процесса изготовления изделия, сборку и сварку корпуса горизонтального аппарата осуществляют на сборочной установке представленной на рисунке 24, смонтированной из роликового стенда Т-30М, велотележки ВТ-3, центрование обечаек производится разжимным устройством.

После процесса вальцовки заготовленных листов стали и установления прихваток на места наложения сварных швов, мостовым краном полученные обечайки перемещают и устанавливают на роликовый сборочный стенд Т-30М, для конечного формирования стыкового соединения и сборки обечаек. Установка обечайки на роликовый стенд показана на рисунке 25. Установив внутри сварочный трактор по направляющим шва внутри обечайки, наносят внутренний шов на стыковое соединение со скоростью движения сварочного трактора равной сварочной скорости 30 м/ч. Затем обечайку поворачивают на маршевой скорости роликового стенда на 180 градусов вверх, стыковыми соединениями обечаек вверх. Внешние сварные швы сваривают при помощи движения велотележки ВТ-3, сварочной головкой типа АБС смонтированными на подвесной системе велотележки. Так как скорость сварки продольных швов обечаек 30 м/ч, велотележка ВТ-3 с закрепленной сварочной головкой АБС движется со сварочной скоростью.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14.М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

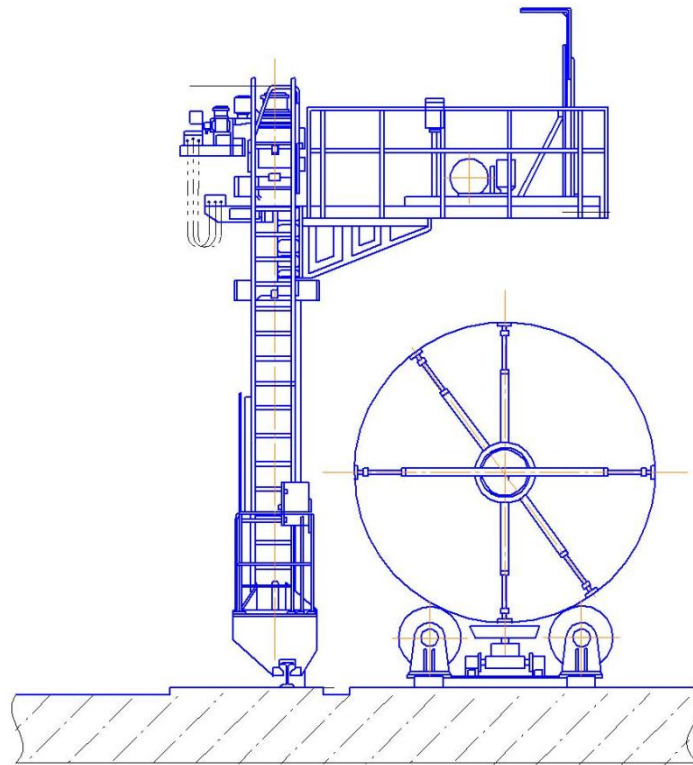


Рисунок 24 – установка для сборки и сварки обечаек

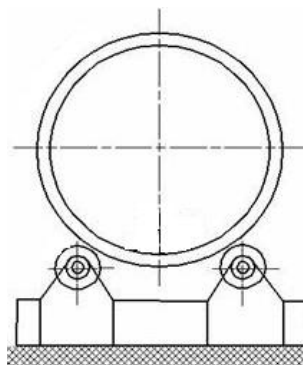


Рисунок 25 –Обечайка, установленная на роликовый стенд

После сварки продольных стыковых соединений, обечайки располагают на роликовом стенде для сварки кольцевых соединений и окончательной сборки корпуса. Внутри размещенные обечайки центруют разжимным устройством, в местах установления кольцевых сварных соединений делают прихватки механизированной сваркой. Сварку внутренней стороны кольцевых швов производят сварочным трактором ТС-17-М со скоростью сварки 30 м/ч как показано на рисунке 26. Сварку внешних кольцевых швов обечаек производят автоматиче-

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ской головкой АБС представленной на рисунке 27. Зависимость скорости вращения аппарата и роликов стенда от скорости сварки рассчитывается по формуле 59 и приведена в таблице 21.

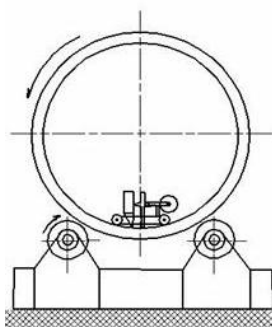


Рисунок 26 – Сварка внутренней части двухстороннего стыкового шва, кольцевого соединения обечаек, сварочным трактором

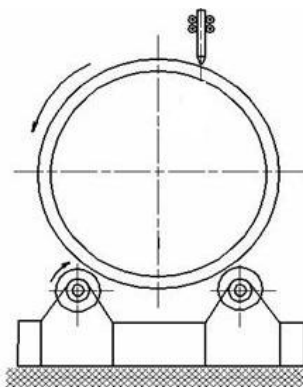


Рисунок 27 – Сварка внешней части двухстороннего стыкового шва, кольцевого соединения обечаек, автоматической сварочной головкой

После сварки всех швов обечайки, вырезают технологические отверстия в нужных позициях на корпусе аппарата, после происходит установка днищ сосуда. Оба днища доставляются мостовым краном к стенду сборки, их прижимают к обечайке и центруют разжимным устройством изнутри, делают прихватки механизированной сваркой, после двухсторонние швы сваривают автоматической сваркой. По окончании операции соединения днища с обечайкой внутренним швом, производят операции наложения наружных швов автоматической головкой АБС. Скорость сварки швов 30 м/с.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Расчет скорости вращения аппарата на роликовом стенде, и скорость вращения роликов определяется по формуле 59:

$$\omega = \frac{V_{св}}{2\pi R} , \quad (59)$$

где ω – частота вращения, об/мин;

$V_{св}$ – скорость сварки, м/мин;

R – радиус корпуса аппарата/ролика, м.

Скорость вращения аппарата будет равна:

$$\omega = \frac{30}{2 \cdot 3,14 \cdot 1200} = 0,06 \text{ об/мин}$$

Скорость вращения роликов стенда:

$$\omega = \frac{30}{2 \cdot 3,14 \cdot 205} = 0,4 \text{ об/мин}$$

Таблица 21 – Зависимость скорости вращения аппарата и роликов стенда от скорости сварки

Скорость сварки, м/ч;	Скорость вращения аппарата, Об/мин;	Скорость вращения роликов стенда, Об/мин.
30	0.06	0.4

По окончании операций сварки, сварочное и сборочное оборудование извлекают из корпуса сосуда через люк – лаз, сварные соединения проверяют и контролируют на соответствие размеров и качество сварных швов установленным требованиям, и перемещают изготовленное устройство в цех покраски для завершения дальнейших операций.

Закключение

На основании теоретических знаний, полученных при изучении данной дисциплины, а также других сварочных и общетехнических дисциплин, умения пользоваться справочной, нормативно-технической, технической литературой и интернет источниками, в данной выпускной квалификационной работе был подробно разобран процесс сборки и сварки горизонтального аппарата, работающего под давлением и решены основные задачи его проектирования.

Проектируемый сосуд был подробно проанализирован в соответствии с нормативной документацией и предъявляемыми требованиями. На основе технических требований был назначен основной материал корпуса сосуда – сталь 09Г2С, а так же материал для опорных элементов – Ст3сп.

Проведен проектный расчет на прочность в условиях рабочего и пробного давления, в соответствии с расчетным давлением были назначены толщины стенок аппарата и выбраны соответствующие днища по геометрическим параметрам. Был проведен проектный расчет сварных соединений на работоспособность, показавший что заданные геометрические размеры сосуда – верны.

В соответствии с назначенными материалами и их габаритными размерами, был осуществлен выбор сварочного оборудования, повышающих автоматизацию процесса и сокращения время на технологические операции, а также соответствующих сварочных материалов, подходящих по химическому составу к основному материалу. Осуществлен технологический расчет режимов сварки для всех сварных соединений проектируемого сосуда.

На основе заданных параметров и режимов, предложена наиболее рациональная последовательность сборки – сварки, основываясь на это, были назначены методы контроль качества сварных соединений и выбраны средства технологического оснащения.

Также были разработаны чертежи в соответствии с правилами ЕСКД. Проведен дополнительный расчет конструкции в программе ПАССАТ 2.13.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Список литературы

1. **Способ управления процессом механизированной сварки в среде защитных газов с подачей сварочной проволоки** [Текст]: пат. 2597855 Рос. Федерация: МПК *H B23K9/095, B23K 9/12* Солодский С.А и д.р.; заявитель и патентообладатель Томск, национ. - исслед. политех-ий. универ-т. - № 2015110215/02; заявл. 23.05.15; опубл. 20.09.16, Бюл. № 23 (II ч.). - 3 с.: ил.

2. **Способ сварки обечаек сосудов и устройство для его осуществления** [Текст]: пат. 97106723 Рос. Федерация : МПК *H B23K9/14* Эльпатроник А.Г и д.р.; заявитель и патентообладатель Москва, Эльпатроник А.Г - № 97106723/02; заявл. 24.09.2005; опубл. 12.05.2006. Бюл. №33 (I ч.). - 1 с.: ил.

3. **Состав флюса для сварки и наплавки низколегированной стали** [Текст]: пат. 2530107 Рос. Федерация: МПК *H B23K9/18* Карзов Г.П и д.р.; заявитель и патентообладатель Санкт - Петербург, нучн. - исслед. инст-т «ПРОМЕТЕЙ». - № 2013112989/02; заявл. 22.11.2016; опубл. 29.01.2018. Бюл №16 (I ч.). - 2 с.: ил.

4. **Способ многодуговой сварки металлических изделий под слоем флюса** [Текст]: пат.2613831 Рос. Федерация: МПК *H B23K9/18, B23K9/002* Дремов В.П и д.р.; заявитель и патентообладатель Выкса, Выксунский металлургический завод - №2015152007; заявл. 03.12.2015; опубл. 21.03.2017. Бюл №27 (I ч.). - 3 с.: ил.

5. **Способ изготовления сосудов высокого давления** [Текст]: пат. 2002118719 Рос. Федерация: МПК *H F17C1/00, B21D 51/24* Федулов С.А; заявитель и патентообладатель Тула, научно производственная компания «Бланко» - № 2002118719/06; заявл. 20.01.2004; опубл. 27.07.2005. Бюл № 43 (I ч.). - 3 с.: ил.

6. **Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия** [Текст]: ГОСТ Р 52630-2012. - Введ. 2013-04-01 - М.: Стандаринформ, 2013. - II, 80 с.: ил.

					<i>ПГУ.ВКР.15.03.01.14.М0105.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

7. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности [Текст]: ГОСТ 12.1.007-76. - Введ. 1977-01-01 - М.: Изд-во стандартов, 1977. - II, 5 с.
8. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования [Текст]: ГОСТ 12.1.-004-91. - Введ. 1992-07-01 - М.: Изд-во стандартов, 2006. - II, 64 с.: ил.
9. Система стандартов безопасности труда. Смеси взрывоопасные. Классификация и методы испытаний [Текст]: ГОСТ 12.1.001-78. - Введ. 1979-07-01 - М.: Изд-во стандартов, 1991. - III, 21 с.: ил.
10. Машины, приборы и другие технические изделия [Текст]: ГОСТ 15150-69. - Введ. 1971-01-01. - М.: Изд-во стандартов, 1999. - VI, 69 с.: ил.
11. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Группы, технические требования и обозначения [Текст]: ГОСТ 9.032-74.- Введ. 1975-07-01. - М.: Стандартиформ, 2018. - V, 20 с.
12. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Группы условий эксплуатации [Текст]: ГОСТ 9.104-79. - Введ. 1980-07-01. - М.: Изд-во стандартов, 1983. - II, 25 с.
13. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Классификация и основные параметры методов окрашивания [Текст]: ГОСТ 9.105-80. - Введ. 1981-07-01. - М.: Изд-во стандартов, 1991. - III, 32 с.
14. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные изделий, предназначенных для эксплуатации в районах с тропическим климатом. Общие требования и методы ускоренных испытаний [Текст]: ГОСТ 9.401-89. - Введ. 1990-07-01. - М.: Изд-во стандартов, 1990. - I, 25 с.
15. Единая система защиты от коррозии и старения Покрытия лакокрасочные. Подготовка металлических поверхностей к окрашиванию [Текст]: ГОСТ 9.402-2004. - Введ.2006.01.01. - М.: Стандартиформ, 2006. - II, 37 с.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14МО105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

16. **Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрытия лакокрасочные. Классификация и основные параметры методов окрашивания** [Текст]: ГОСТ 9.105-80. - Введ. 1981-07-01. - М.: Изд-во стандартов, 1990. - III, 15 с.
17. **Эмаль ЭП-1267. Технические условия** [Текст]: ТУ 2312-122-00209711-02 . - Введ. 2002-08-01. - М.: Стандартиформ, 2002. - I, 4 с.
18. **Люки стальных сварных сосудов и аппаратов. Общие технические требования** [Текст]: ОСТ 26-2011-83. - Введ. 1983-05-23. - М.: Изд-во стандартов, 1990. - V, 22 с.
19. **Люки с плоскими крышками стальных сварных сосудов и аппаратов. Конструкция** [Текст]: ОСТ 26-2002-83. - Введ. 1983-05-23. - М.: Издат-во стандартов, 1992. - V, 11 с.: ил.
20. **Штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных. Типы, основные параметры, размеры и общие технические требования** [Текст]: АТК 24.218.06-90. - Введ. 1995-12-01. - М.: Издат-во стандартов, 1995. - I, 49 с.: ил.
21. **Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры** [Текст]: ГОСТ 6533-78. - Введ. 1980-01-01. - М.: Издат-во стандартов, 1985. - II, 39 с.: ил.
22. **Устройства строповые для сосудов и аппаратов. Штуцера монтажные удлиненные. Конструкция и размеры** [Текст] ГОСТ 14115-85. - Введ. 1986-01-01. - М.: Издат-во стандартов, 1990. - II, 9 с.: ил.
23. **Опоры горизонтальных сосудов и аппаратов. Конструкция** [Текст]: ОСТ 26-2091-93. - Введ. 1993-07-01. - М.: Издат-во стандартов, 1993. - I, 37 с.: ил.
24. **Таблички прямоугольные для машин и приборов. Размеры** [Текст]: ГОСТ 12971-67. - Введ. 1969-01-01. - М.: Издат-во стандартов, 1980. - III, 6 с.: ил.

					<i>ПГУ.ВКР.15.03.01.14МО105.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

25. **Строительная климатология. Свод правил** [Текст]: СП 131.13330.2012. - Введ. 2013-01-01. - М.: Стандартинформ, 2013. - I, 116с.
26. **Прокат листовой из углеродистой, низколегированной и легированной стали для котлов и сосудов, работающих под давлением. Технические условия** [Текст]: ГОСТ 5520-79. - Введ. 1980-01-01. - М.: Издат-во стандартов, 1980. - V, 15 с.
27. **Прокат толстолистовой из углеродистой стали обыкновенного качества. Технические условия** [Текст]: ГОСТ 14637-89. - Введ. 1991-01-01. - М.: Издат-во стандартов, 1990. - II, 8 с.
28. **Прокат повышенной прочности. Общие технические условия** [Текст]: ГОСТ 19281- 2014. - Введ. 2014.03.28. - М.: Стандартинформ, 2015. - I, 46 с.
29. **Прокат листовой горячекатаный. Сортамент** [Текст]: ГОСТ 19903-2015. - Введ. 2016-09-01. - М.: Стандартинформ, 2016г - I, 46 с.: ил.
30. **Корпуса цилиндрические стальных сварных сосудов и аппаратов. Типы, основные параметры и размеры** [Текст]: ГОСТ 9931-85. - Введ. 1987-01-01. - М.: Издат-во стандартов, 1987. - II, 42 с.: ил.
31. **Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность** [Текст]: ГОСТ 14249–89. - Введ. 1990-01-01. - М.: Издат-во стандартов, 1990. - I, 72 с.: ил.
32. **Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования** [Текст]: ГОСТ Р 52857.1-2007. - Введ. 2007-12-27. - М.: Стандартинформ, 2009. - I, 22 с.
33. **Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек** [Текст]: ГОСТ Р 52857.2-2007. - Введ. 2007-12-27. - М.:, Стандартинформ, 2007. - I, 26 с.: ил.
34. **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.

					<i>ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

35. **Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры** [Текст]: ГОСТ 8713-79. - Введ. 1981-01-01. - М.: Стандартиформ, 2007. - IV, 63 с.: ил.
36. **Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры** [Текст]: ГОСТ 14771-76. - Введ. 1977-07-01. - М.: Стандартиформ, 2007. - IV, 39 с.: ил.
37. **Леонтьев А.П. Прочностные расчеты аппаратов нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов** [Текст]: учебное пособие для студентов химических специальностей/ А.П. Леонтьев - Тюмень: Изд-во ТюмГНГУ, 1998. – 100 с.
38. **Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий** [Текст]: ГОСТ 3.1109–82. - Введ. 1983-01-01. - М.: Стандартиформ, 2012. - II, 14 с.: ил.
39. **Обеспечение технологичности конструкции изделий. Общие требования** [Текст]: ГОСТ 14.201-83. - Введ. 1984-01-01. - М.: Издат-во стандартов, 1984. - I, 10 с.: ил.
40. **Ресурсосбережение. Порядок установления показателей ресурсосбережения в документации на продукцию** [Текст]: ГОСТ 30167-95.-Введ. 2002.01.01.- М.: Изд-во стандартов, 2001. - I, 27 с.: ил.
41. **Проволока стальная сварочная. Технические условия** [Текст]: ГОСТ 2246-70. - Введ. 1973-01-01. - М.: Стандартиформ, 2008. - III, 15 с.
42. **Материалы сварочные. Газы и газовые смеси для сварки плавлением и родственных процессов** [Текст]: ГОСТ Р ИСО 14175-2010. - Введ. 2010-11-30. - М.: Стандартиформ, 2011. - I, 11 с.
43. **Флюсы сварочные плавленые. Технические условия** [Текст]: ГОСТ 9087-81. - Введ. 1982-01-01. - М.: Издат-во стандартов, 1998. - II, 9 с.
44. **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.

					<i>ПГУ.ВКР.15.03.01.14МО105.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

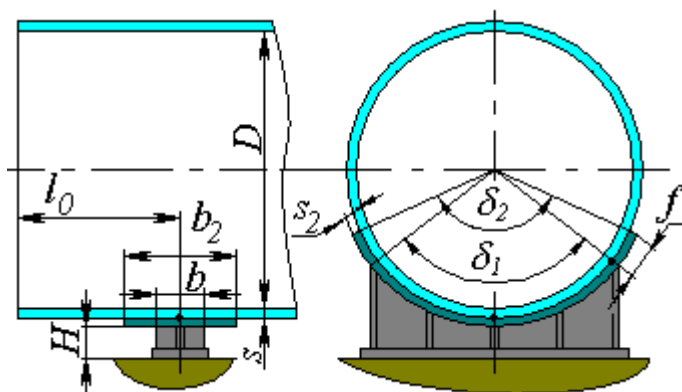
45. **Инструкция по визуальному и измерительному контролю** [Текст]: РД 03-606-03. - Введ. 2003-07-17. - М: Горгостехнадзор, 2004. - I, 101 с.
46. **Инструкция по капиллярному контролю деталей технологического оборудования, сварных соединений и наплавки** [Текст]: РДИ 38.18.019-95.- Введ. 1996-07-24. - Волгоград: Горгостехнадзор 1996. - I, 29 с.
47. **Швы стыковых, угловых и тавровых сварных соединений сосудов и аппаратов, работающих под давлением. Методика ультразвукового контроля** [Текст]: СТО 00220256-005-2005. - Введ. 2006-11-04. - Иркутск: Ростехнадзор, 2006. - I, 111 с.: ил.
48. **Правила и нормы безопасности при проведении гидравлических испытаний на прочность и герметичность** [Текст]: РД 24.200.11-90. - Введ. 1991-07-01. - М.: Издат-во стандартов, 1991. - I, 45 с.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14.М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Приложение А.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14.М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Расчет элемента конструкции в программе ПАССАТ 2.13



Исходные данные

Элемент, связанный с опорой:	Обечайка цилиндрическая №4
Внутренний диаметр обечайки, D:	2400 мм
Толщина стенки обечайки, s:	14 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c ₁ :	1 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, c ₂ :	0,8 мм
Прибавка технологическая, c ₃ :	0 мм
Сумма прибавок к стенке обечайки, c:	1,8 мм
Ширина опоры, b:	300 мм
Угол охвата опоры, δ_1 :	120 °
Расстояние от края элемента, l ₀ :	1400 мм
Расстояние до днища, a:	1025 мм
Высота опоры, H:	300 мм
Толщина листа, s ₂ :	14 мм
Ширина листа, b ₂ :	450 мм
Угол охвата листа, δ_2 :	140 °
Длина выступающей части листа, f:	214,3 мм

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения (см. Эпюры сил и моментов):

Расчётная температура, T:	20 °C
Коэффициент заполнения жидкостью, ξ :	1
Плотность жидкости, $\rho_{ж}$:	1,99 кг/м ³
Расчётное внутреннее избыточное давление, действующее в элементе над опорой, p:	1,7 МПа
Изгибающий момент в сечении оболочки над опорой, M:	1,705·10 ⁴ Н м
Опорное усилие, F:	3,382·10 ⁴ Н
Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой, Q:	1,775·10 ⁴ Н

Допускаемые нагрузки для элемента, связанного с обечайкой (см. расчёт “Обечайка цилиндрическая №4”):

Допускаемое наружное давление, [p]:	0,07500 МПа
Допускаемый изгибающий момент, [M] _{уст} :	8,922·10 ⁶ Н м
Допускаемое осевое сжимающее усилие, [F]:	1,438·10 ⁷ Н
Допускаемое поперечное усилие, [Q]:	3,41·10 ⁶ Н

Расчёт обечайки на прочность и устойчивость от опорных нагрузок по ГОСТ Р 52857.5-2007

Опора с подкладным листом

Проверка условия: $b_2 \geq K_{19} \cdot D + 1.5 \cdot b$

$$K_{19} = \frac{5}{6 \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{s-c}} \cdot \delta_1} = 5 / [6 \cdot (2400 / (14 - 1,8))^{1/3} \cdot 2,094] = 0,06841$$

$$K_{19} \cdot D + 1.5 \cdot b = 0,06841 \cdot 2400 + 1.5 \cdot 300 = 614,2 \text{ мм}$$

Условие не выполнено, проводятся два расчёта

Расчёт №1:

Подкладной лист рассматривают как седловую опору шириной b_2 с углом охвата δ_2 . Во всех формулах принимают $b = b_2 = 450$ мм, $\delta_1 = \delta_2 = 140^\circ$ (2,443 рад)

$$K_{13} = \frac{\max \left\{ 1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0 \right\}}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = \max \{ 1.7 - 2.1 \cdot 2,443 / 3,142; 0 \} / \sin(0.5 \cdot 2,443) = 0,07095$$

Параметр, определяемый расстоянием до днища:

$$\gamma = 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2.83 \cdot 1025 / 2400 \cdot ((14 - 1,8) / 2400)^{1/2} = 0,08617$$

Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до днища (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{15} = \min \left\{ 1.0; \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma + 6 \cdot \gamma}}{\delta_1} \right\} = \min \{ 1.0; (0.8 \cdot 0,08617^{1/2} + 6 \cdot 0,08617) / 2,443 \} = 0,3077$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{12} = \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.15 - 0.1432 \cdot 2,443) / \sin(0.5 \cdot 2,443) = 0,8514$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры:

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s-c)}} = 0.91 \cdot 450 / (2400 \cdot (14 - 1,8))^{1/2} = 2,393$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25 \right\} = \max \{ e^{-2,393} \cdot \sin(2,393) / 2,393; 0.25 \} = 0,25$$

$$\Phi_1 = - \frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.23 \cdot 0,07095 \cdot 0,3077 / (0,8514 \cdot 0,25) = (-0,02359)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\sigma_{\max} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s-c)} = 4 \cdot 1,705 \cdot 10^4 / (3,142 \cdot 2400^2 \cdot (14 - 1,8)) = 0,3088 \text{ МПа}$$

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14.М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\vartheta_{21} = -\bar{\sigma}_{\max} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -0,3088 / (1,25 \cdot 183) = (-0,001350)$$

$$\vartheta_{22} = \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\max} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [1,7 \cdot 2400 / (4 \cdot (14 - 1,8)) - 0,3088] / (1,2 \cdot 183) = 0,3793$$

Примечание: при $\vartheta_{2i} < 0$ в расчёте K_1 знаки ϑ_1 и ϑ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1}} = 1,498 \quad \text{при } \vartheta_2 = \vartheta_{21}$$

$$= 1,318 \quad \text{при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{1,498, 1,318\} = 1,318$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1,318 \cdot 1,25 \cdot 183 = 301,5 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0,7 \cdot [\sigma]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0,7 \cdot 301,5 \cdot (2400 \cdot (14 - 1,8))^{1/2} \cdot (14 - 1,8) / (0,25 \cdot 0,8514) = 2,07 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-2,393} \cdot \cos(2,393)) / 2,393 = 0,4458$$

$$K_{14} = \frac{1,45 - 0,43 \cdot \delta_1}{\sin(0,5 \cdot \delta_1)} = (1,45 - 0,43 \cdot 2,443) / \sin(0,5 \cdot 2,443) = 0,4249$$

$$K_{16} = 1 - \frac{0,65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0,65 / (1 + (6 \cdot 0,08617)^2) \cdot [3,142 / (3 \cdot 2,443)]^{1/2} = 0,6642$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0,6 \cdot \sqrt{\frac{D}{s - c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0,6 \cdot (2400 / (14 - 1,8))^{1/3} \cdot 450 / 2400 \cdot 2,443] = 0,3848$$

$$\vartheta_1 = -\frac{0,53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0,5 \cdot \delta_1)} = -0,53 \cdot 0,4458 / [0,4249 \cdot 0,6642 \cdot 0,3848 \cdot \sin(0,5 \cdot 2,443)] = (-2,315)$$

$$\vartheta_{21} = 0$$

$$\vartheta_{22} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s - c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 1,7 \cdot 2400 / (2 \cdot (14 - 1,8)) \cdot 1 / (1,25 \cdot 183) = 0,731$$

Примечание: при $\vartheta_{2i} < 0$ в расчёте K_1 знаки ϑ_1 и ϑ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1}} = 0,3742 \quad \text{при } \vartheta_2 = \vartheta_{21}$$

$$= 0,6424 \quad \text{при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2}$$

$$K_1 = \min\{0,3742, 0,6424\} = 0,3742$$

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_3 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0,3742 \cdot 1,25 \cdot 183 = 85,6 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении :

$$[F]_3 = \frac{0.9 \cdot [\sigma_i]_3 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c)} \cdot (s-c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0.9 \cdot 85,6 \cdot (2400 \cdot (14-1,8))^{1/2} \cdot (14-1,8) / (0,4249 \cdot 0,6642 \cdot 0,3848) = 1,481 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$s_{ef} = (s-c) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{s_2}{s-c}\right)^2} = (14-1,8) \cdot (1 + (14/(14-1,8))^2)^{1/2} = 18,57 \text{ мм}$$

Расчёт №2:

Подкладной лист рассматривают как усиление стенки сосуда. Во всех формулах принимают $b = 300 \text{ мм}$, $\delta_1 = 120^\circ$ (2,094 рад), $s = s_{ef} + c = 18,57 + 1,8 = 20,37 \text{ мм}$.

$$K_{13} = \frac{\max\left\{1,7 - \frac{2,1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0\right\}}{\sin(0,5 \cdot \delta_1)} = \max\{1,7 - 2,1 \cdot 2,094 / 3,142; 0\} / \sin(0,5 \cdot 2,094) = 0,3464$$

Параметр, определяемый расстоянием до днища :

$$\gamma = 2,83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2,83 \cdot 1025 / 2400 \cdot ((20,37-1,8) / 2400)^{1/2} = 0,1063$$

Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до днища (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{15} = \min\left\{1,0; \frac{0,8 \cdot \sqrt{\gamma + 6 \cdot \gamma}}{\delta_1}\right\} = \min\{1,0; (0,8 \cdot 0,1063^{1/2} + 6 \cdot 0,1063) / 2,094\} = 0,4291$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{12} = \frac{1,15 - 0,1432 \cdot \delta_1}{\sin(0,5 \cdot \delta_1)} = (1,15 - 0,1432 \cdot 2,094) / \sin(0,5 \cdot 2,094) = 0,9816$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры :

$$\beta_1 = 0,91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s-c)}} = 0,91 \cdot 300 / (2400 \cdot (20,37-1,8))^{1/2} = 1,293$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max\left\{\frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0,25\right\} = \max\{e^{-1,293} \cdot \sin(1,293) / 1,293; 0,25\} = 0,25$$

$$\vartheta_1 = -\frac{0,23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0,23 \cdot 0,3464 \cdot 0,4291 / (0,9816 \cdot 0,25) = (-0,1393)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{\max} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s-c)} = 4 \cdot 1,705 \cdot 10^4 / (3,142 \cdot 2400^2 \cdot (20,37-1,8)) = 0,2029 \text{ МПа}$$

$$\vartheta_{2,1} = -\bar{\sigma}_{\max} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -0,2029 / (1,25 \cdot 183) = (-0,887 \cdot 10^{-3})$$

$$\vartheta_{2,2} = \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot (s-c)} - \bar{\sigma}_{\max}\right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [1,7 \cdot 2400 / (4 \cdot (20,37-1,8)) - 0,2029] / (1,2 \cdot 183) = 0,2492$$

Примечание: при $\vartheta_{2,i} < 0$ в расчёте K_1 знаки ϑ_1 и ϑ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1}} = 1,439 \quad \left| \begin{array}{l} \text{при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1} \\ \text{при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2} \end{array} \right|$$

$$= 1,498$$

$$K_1 = \min\{1,439, 1,498\} = 1,439$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1,439 \cdot 1,25 \cdot 183 = 329,2 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0,7 \cdot [\sigma]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c)} \cdot (s-c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0,7 \cdot 329,2 \cdot (2400 \cdot (20,37 - 1,8))^{1/2} \cdot (20,37 - 1,8) / (0,25 \cdot 0,9816) = 3,681 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-1,293} \cdot \cos(1,293)) / 1,293 = 0,7151$$

$$K_{14} = \frac{1,45 - 0,43 \cdot \delta_1}{\sin(0,5 \cdot \delta_1)} = (1,45 - 0,43 \cdot 2,094) / \sin(0,5 \cdot 2,094) = 0,6344$$

$$K_{16} = 1 - \frac{0,65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0,65 / (1 + (6 \cdot 0,1063)^2) \cdot [3,142 / (3 \cdot 2,094)]^{1/2} = 0,6733$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0,6 \cdot \sqrt{\frac{D}{s-c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0,6 \cdot (2400 / (20,37 - 1,8))^{1/3} \cdot 300 / 2400 \cdot 2,094] = 0,5574$$

$$\vartheta_1 = -\frac{0,53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0,5 \cdot \delta_1)} = -0,53 \cdot 0,7151 / [0,6344 \cdot 0,6733 \cdot 0,5574 \cdot \sin(0,5 \cdot 2,094)] = (-1,838)$$

$$\vartheta_{21} = 0$$

$$\vartheta_{22} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s-c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 1,7 \cdot 2400 / (2 \cdot (20,37 - 1,8)) \cdot 1 / (1,25 \cdot 183) = 0,4803$$

Примечание: при $\vartheta_{2i} < 0$ в расчёте K_1 знаки ϑ_1 и ϑ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1}} = 0,4542 \quad \left| \begin{array}{l} \text{при } \vartheta_2 = \vartheta_{21} \\ \text{при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2} \end{array} \right|$$

$$= 0,6667$$

$$K_1 = \min\{0,4542, 0,6667\} = 0,4542$$

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_3 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0,4542 \cdot 1,25 \cdot 183 = 103,9 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении :

$$[F]_3 = \frac{0,9 \cdot [\sigma]_3 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c)} \cdot (s-c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0,9 \cdot 103,9 \cdot (2400 \cdot (20,37 - 1,8))^{1/2} \cdot (20,37 - 1,8) / (0,6344 \cdot 0,6733 \cdot 0,5574) = 1,54 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Условие прочности:

$$F \leq [F] = \min\{[F]_{2(1)}, [F]_{3(1)}, [F]_{2(2)}, [F]_{3(2)}\}$$

$$[F] = 1,481 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$3,382 \cdot 10^4 \text{ Н} \leq 1,481 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Проверка условия устойчивости

Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений :

$$F_e = F \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(s-c)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 3,382 \cdot 10^4 \cdot 3,142 / 4 \cdot (2400 / (14 - 1,8))^{1/2} \cdot 0,07095 \cdot 0,3077 = 8134 \text{ Н}$$

Сосуд работает под внутренним давлением, при проверке устойчивости принимают $p=0$.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14.М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Условие устойчивости: $\frac{|p|}{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{уст}} + \left(\frac{Q}{[Q]}\right)^2 \leq 1$

$$\frac{|p|}{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{уст}} + \left(\frac{Q}{[Q]}\right)^2 = 0 / 0,07500 + 8134 / 1,438 \cdot 10^7 + 1,705 \cdot 10^4 / 8,922 \cdot 10^6 + (1,775 \cdot 10^4 / 3,41 \cdot 10^6)^2 = 0,002503$$

0,002503 ≤ 1.0

Заключение: **Условие устойчивости выполнено**

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

Условия нагружения при испытаниях (см. Эпюры сил и моментов):

Расчётная температура, T:	20 °C
Коэффициент заполнения жидкостью, ξ :	1
Плотность жидкости, $\rho_{ж}$:	1·10 ³ кг/м ³
Расчётное внутреннее избыточное давление, действующее в элементе над опорой, p:	2,215 МПа
Расчётное внутреннее избыточное давление, действующее в элементе над опорой, p:	
Изгибающий момент над опорой, M:	4,966·10 ⁴ Н м
Опорное усилие, F:	1,684·10 ⁵ Н
Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой, Q:	8,723·10 ⁴ Н

Допускаемые нагрузки для элемента, связанного с обечайкой (см. расчёт “Обечайка цилиндрическая №4”):

Допускаемое наружное давление, [p]:	0,1217 МПа
Допускаемый изгибающий момент, [M] _{уст} :	1,365·10 ⁷ Н м
Допускаемое осевое сжимающее усилие, [F]:	2,208·10 ⁷ Н
Допускаемое поперечное усилие, [Q]:	5,206·10 ⁶ Н

Расчёт обечайки на прочность и устойчивость от опорных нагрузок по ГОСТ Р 52857.5-2007

Опора с подкладным листом

Проверка условия: $b_2 \geq K_{19} \cdot D + 1.5 \cdot b$

$$K_{19} = \frac{5}{6 \cdot 3 \sqrt{\frac{D}{s-c}} \cdot \delta_1} = 5 / [6 * (2400 / (14 - 0,8))^{1/3} * 2,094] = 0,07023$$

$$K_{19} \cdot D + 1.5 \cdot b = 0,07023 * 2400 + 1.5 * 300 = 618,6 \text{ мм}$$

Условие не выполнено, проводятся два расчёта

Расчёт №1:

Подкладной лист рассматривают как седловую опору шириной b_2 с углом охвата δ_2 . Во всех формулах принимают $b = b_2 = 450$ мм, $\delta_1 = \delta_2 = 140^\circ$ (2,443 рад)

$$K_{13} = \frac{\max \left\{ 1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0 \right\}}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = \max \{ 1.7 - 2.1 * 2,443 / 3,142; 0 \} / \sin(0.5 * 2,443) = 0,07095$$

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14.М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Параметр, определяемый расстоянием до днища :

$$\gamma = 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2.83 \cdot 1025 / 2400 \cdot ((14 - 0,8) / 2400)^{1/2} = 0,08964$$

Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до днища (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{15} = \min \left\{ 1,0; \frac{0,8 \cdot \sqrt{\gamma + 6 \cdot \gamma}}{\delta_1} \right\} = \min \{ 1,0; (0,8 \cdot 0,08964^{1/2} + 6 \cdot 0,08964) / 2,443 \} = 0,3181$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{12} = \frac{1,15 - 0,1432 \cdot \delta_1}{\sin(0,5 \cdot \delta_1)} = (1,15 - 0,1432 \cdot 2,443) / \sin(0,5 \cdot 2,443) = 0,8514$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры :

$$\beta_1 = 0,91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s-c)}} = 0,91 \cdot 450 / (2400 \cdot (14 - 0,8))^{1/2} = 2,301$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0,25 \right\} = \max \{ e^{-2,301} \cdot \sin(2,301) / 2,301; 0,25 \} = 0,25$$

$$\vartheta_1 = - \frac{0,23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0,23 \cdot 0,07095 \cdot 0,3181 / (0,8514 \cdot 0,25) = (-0,02439)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{\text{мх}} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s-c)} = 4 \cdot 4,966 \cdot 10^4 / (3,142 \cdot 2400^2 \cdot (14 - 0,8)) = 0,8316 \text{ МПа}$$

$$\vartheta_{21} = - \bar{\sigma}_{\text{мх}} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -0,8316 / (1,05 \cdot 254,5) = (-0,003111)$$

$$\vartheta_{22} = \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot (s-c)} - \bar{\sigma}_{\text{мх}} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [2,215 \cdot 2400 / (4 \cdot (14 - 0,8)) - 0,8316] / (1 \cdot 254,5) = 0,3923$$

Примечание: при $\vartheta_{2i} < 0$ в расчёте K_1 знаки ϑ_1 и ϑ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1}} \quad \left| \begin{array}{l} \text{при } \vartheta_2 = \vartheta_{21} \\ \text{при } \vartheta_2 = \vartheta_{22} \end{array} \right|$$

$$= 1,305$$

$$K_1 = \min \{ 1,498, 1,305 \} = 1,305$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1,305 \cdot 1,05 \cdot 254,5 = 348,8 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0,7 \cdot [\sigma]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c)} \cdot (s-c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0,7 \cdot 348,8 \cdot (2400 \cdot (14 - 0,8))^{1/2} \cdot (14 - 0,8) / (0,25 \cdot 0,8514) = 2,695 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-2,301} \cdot \cos(2,301)) / 2,301 = 0,4637$$

$$K_{14} = \frac{1,45 - 0,43 \cdot \delta_1}{\sin(0,5 \cdot \delta_1)} = (1,45 - 0,43 \cdot 2,443) / \sin(0,5 \cdot 2,443) = 0,4249$$

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$K_{16} = 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0.65 / (1 + (6 \cdot 0.08964)^2) \cdot [3.142 / (3 \cdot 2.443)]^{1/2} = 0.6699$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot 3 \sqrt{\frac{D}{s-c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (2400 / (14 - 0.8))^{1/3} \cdot 450 / 2400 \cdot 2.443] = 0.391$$

$$\vartheta_1 = -\frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0.4637 / [0.4249 \cdot 0.6699 \cdot 0.391 \cdot \sin(0.5 \cdot 2.443)] = (-2.349)$$

$$\vartheta_{21} = 0$$

$$\vartheta_{22} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s-c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 2.215 \cdot 2400 / (2 \cdot (14 - 0.8)) \cdot 1 / (1.05 \cdot 254.5) = 0.7534$$

Примечание: при $\vartheta_{2i} < 0$ в расчёте K_1 знаки ϑ_1 и ϑ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1}} = 0.3695 \quad \left| \begin{array}{l} \text{при } \vartheta_2 = \vartheta_{21} \\ \text{при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2} \end{array} \right|$$

$$= 0.6425$$

$$K_1 = \min\{0.3695, 0.6425\} = 0.3695$$

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_B = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0.3695 \cdot 1.05 \cdot 254.5 = 98.77 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении :

$$[F]_3 = \frac{0.9 \cdot [\sigma]_3 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c)} \cdot (s-c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0.9 \cdot 98.77 \cdot (2400 \cdot (14 - 0.8))^{1/2} \cdot (14 - 0.8) / (0.4249 \cdot 0.6699 \cdot 0.391) = 1.876 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$s_{ef} = (s-c) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{s_2}{s-c}\right)^2} = (14 - 0.8) \cdot (1 + (14 / (14 - 0.8))^2)^{1/2} = 19.24 \text{ мм}$$

Расчёт №2:

Подкладной лист рассматривают как усиление стенки сосуда. Во всех формулах принимают $b = 300 \text{ мм}$, $\delta_1 = 120^\circ$ (2,094 рад), $s = s_{ef} + c = 19.24 + 0.8 = 20.04 \text{ мм}$.

$$K_{13} = \frac{\max\left\{1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0\right\}}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = \max\{1.7 - 2.1 \cdot 2.094 / 3.142; 0\} / \sin(0.5 \cdot 2.094) = 0.3464$$

Параметр, определяемый расстоянием до днища :

$$\gamma = 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2.83 \cdot 1025 / 2400 \cdot ((20.04 - 0.8) / 2400)^{1/2} = 0.1082$$

Коэффициенты, учитывающие влияние расстояния до днища (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{15} = \min\left\{1.0; \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma + 6 \cdot \gamma}}{\delta_1}\right\} = \min\{1.0; (0.8 \cdot 0.1082^{1/2} + 6 \cdot 0.1082) / 2.094\} = 0.4357$$

Коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{12} = \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.15 - 0.1432 \cdot 2.094) / \sin(0.5 \cdot 2.094) = 0.9816$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры :

$$\beta_1 = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s - c)}} = 0.91 \cdot 300 / (2400 \cdot (20,04 - 0,8))^{1/2} = 1,27$$

Коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры (δ_1 подставляют в радианах):

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin \beta_1}{\beta_1}; 0.25 \right\} = \max \{ e^{-1,27} \cdot \sin(1,27) / 1,27; 0.25 \} = 0,25$$

$$\vartheta_1 = - \frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.23 \cdot 0,3464 \cdot 0,4357 / (0,9816 \cdot 0,25) = (-0,1415)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{\text{мк}} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 4 \cdot 4,966 \cdot 10^4 / (3,142 \cdot 2400^2 \cdot (20,04 - 0,8)) = 0,5705 \text{ МПа}$$

$$\vartheta_{21} = - \bar{\sigma}_{\text{мк}} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = -0,5705 / (1,05 \cdot 254,5) = (-0,002134)$$

$$\vartheta_{22} = \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} - \bar{\sigma}_{\text{мк}} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = [2,215 \cdot 2400 / (4 \cdot (20,04 - 0,8)) - 0,5705] / (1 \cdot 254,5) = 0,2691$$

Примечание: при $\vartheta_{2i} < 0$ в расчёте K_1 знаки ϑ_1 и ϑ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1}} = 1,437 \quad \left| \begin{array}{l} \text{при } \vartheta_2 = \vartheta_{21} \\ \text{при } \vartheta_2 = \vartheta_{22} \end{array} \right|$$

= 1,495

$$K_1 = \min \{ 1,437, 1,495 \} = 1,437$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1,437 \cdot 1,05 \cdot 254,5 = 384 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 \cdot 384 \cdot (2400 \cdot (20,04 - 0,8))^{1/2} \cdot (20,04 - 0,8) / (0,25 \cdot 0,9816) = 4,529 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos \beta_1}{\beta_1} = (1 - e^{-1,27} \cdot \cos(1,27)) / 1,27 = 0,7218$$

$$K_{14} = \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.45 - 0.43 \cdot 2,094) / \sin(0.5 \cdot 2,094) = 0,6344$$

$$K_{16} = 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0.65 / (1 + (6 \cdot 0,1082)^2) \cdot [3,142 / (3 \cdot 2,094)]^{1/2} = 0,6767$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot 3 \sqrt{\frac{D}{s - c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (2400 / (20,04 - 0,8))^{1/3} \cdot 300 / 2400 \cdot 2,094] = 0,5603$$

$$\vartheta_1 = - \frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0,7218 / [0,6344 \cdot 0,6767 \cdot 0,5603 \cdot \sin(0.5 \cdot 2,094)] = (-1,836)$$

$$\vartheta_{21} = 0$$

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14МО105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\vartheta_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s - c)} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot [\sigma]} = 2,215 \cdot 2400 / (2 \cdot (20,04 - 0,8)) \cdot 1 / (1,05 \cdot 254,5) = 0,5168$$

Примечание: при $\vartheta_{2,i} < 0$ в расчёте K_1 знаки ϑ_1 и ϑ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \cdot \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2) \cdot \vartheta_1}} = 0,4546 \quad \left| \begin{array}{l} \text{при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,1} \\ \text{при } \vartheta_2 = \vartheta_{2,2} \end{array} \right|$$

$$= 0,6832$$

$$K_1 = \min\{0,4546, 0,6832\} = 0,4546$$

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_B = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 0,4546 \cdot 1,05 \cdot 254,5 = 121,5 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении :

$$[F]_3 = \frac{0,9 \cdot [\sigma]_3 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = \frac{0,9 \cdot 121,5 \cdot (2400 \cdot (20,04 - 0,8))^{1/2} \cdot (20,04 - 0,8)}{0,5603 \cdot 0,6344 \cdot 0,6767} = 1,88 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Условие прочности:

$$F \leq [F] = \min\{[F]_{2[1]}, [F]_{3[1]}, [F]_{2[2]}, [F]_{3[2]}\}$$

$$[F] = 1,876 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$1,684 \cdot 10^5 \text{ Н} \leq 1,876 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Проверка условия устойчивости

Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений :

$$F_e = F \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \frac{D}{\sqrt{(s - c)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 1,684 \cdot 10^5 \cdot 3,142 / 4 \cdot (2400 / (14 - 0,8))^{1/2} \cdot 0,07095 \cdot 0,3181 = 4,025 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Сосуд работает под внутренним давлением, при проверке устойчивости принимают $p=0$.

$$\text{Условие устойчивости: } \frac{|p|}{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{уст}}} + \left(\frac{Q}{[Q]}\right)^2 \leq 1$$

$$\frac{|p|}{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{уст}}} + \left(\frac{Q}{[Q]}\right)^2 = 0 / 0,1217 + 4,025 \cdot 10^4 / 2,208 \cdot 10^7 + 4,966 \cdot 10^4 / 1,365 \cdot 10^7 + (8,723 \cdot 10^4 / 5,206 \cdot 10^6)^2 = 0,005741$$

$$0,005741 \leq 1,0$$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено**

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14.М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Приложение Б.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

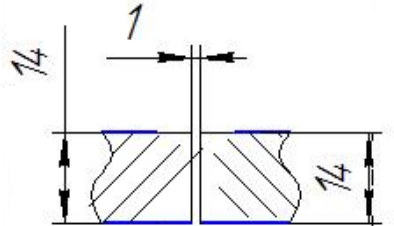
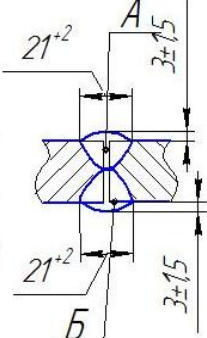
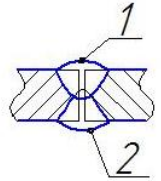
УТВЕРЖДАЮ

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ (НАПЛАВКИ)
ИЗДЕЛИЯ (УЗЛА, СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ)

№ 1

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ 8713-79
2	Способ сварки	АФ
3	Основной материал (марки)	09Г2С
4	Основной материал (группа)	М01
5	Сварочные материалы	СВ-08Г2С ; АН-47
6	Толщина свариваемых деталей	14,0
7	Диаметр деталей в зоне сварки	2400
8	Тип шва	СШ
9	Тип соединения	Стыковое, С7ГОСТ 8713-79
10	Вид шва соединения	дс, зк
11	Форма подготовки кромок	Без подготовки
12	Положение при сварке	Н1 (не поворотное)
13	Вид покрытия электродов (для РД)	Основное (Б)
14	Режимы подогрева	Подогрев отсутствует
15	Режимы термообработки	Термообработка отсутствует
16	Дополнительные параметры	нет

Таблица 1. – Последовательность выполнения и форма сварного соединения.

Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

Сварочное оборудование (тип): тип: автоматическая сварочная головка АБС, сварочный трактор ТС-17-М.

Метод подготовки и очистки: Зачистка механическим способом до металлического блеска участков металла от кромок разделки на ширину не менее 20 мм с наружной и внутренней стороны.

Требования к прихватке: прихватки равномерно по периметру. Длина каждой прихватки – 20–30 мм; высота – 5,0-6,0 мм, интервал 300-500 мм.

Защита сварочной ванны/защита корня шва: защита сварочной ванны

Газ/флюс: флюс АН-47.

					Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ПГУ.ВКР.15.03.01.14 М0105.ПЗ

Неплавящийся электрод (тип, размер): нет.

Детали формирования корня шва: Шов выполняется без подкладки.

Технологические параметры сварки*

Номер слоя (валика)	Диаметр проволоки, мм	Род и полярность тока	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи проволоки м/ч
1	2	3	4	5	7	8
1	4	по	600-650	33-35	30-33	78-82
2	4	по	600-650	33-35	30-33	78-82

Примечания: 1) – скорость сварки дана для справки.

Технологические требования к сварке АФ:

1. Промыть присадочную проволоку в течение 10 мин. в щелочном растворе, состоящем из 20–25 г едкого натрия и 20–30 г углекислого натрия на 1 л воды при температуре 65°C.

2. Перед сваркой прокалить сварочный флюс при $t=300\ldots 400$ оС в течении 1,0-1,5 часов.

3. Флюс необходимо подать перед зажиганием сварочной дуги.

4. Слой флюса в зоне сварки должен быть не менее 40-60 мм.

5. Каждый последующий валик стыка накладывают в противоположном направлении.

6. После каждого прохода произвести зачистку слоев от шлака и брызг металла мех.способом.

7. Геометрические размеры собранного под сварку соединения и соединения после сварки должны удовлетворять требованиям таблицы 2.

Примечание. Приводятся требования к последовательности выполнения валиков (слоев) шва, температурному режиму сварки, наличию поворота и перемещению изделия при сварке, толщине корневой части шва, толщине и ширине валиков (слоев) шва и т.п.

Требования к контролю качества

Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный	РД 03-606-03	РД 03-606-03 РДИ 38.18.019-95 СТО 00220256-005-2005 ГОСТ 52630-2012	100 %
Измерительный	РД 03-606-03		100 %
Капиллярный	РДИ 38.18.019-95		<10 %
Ультразвуковой	СТО 00220256-005-2005		100 %
Гидравлические испытания	ГОСТ 52630-2012		100%

Разработал:

/Егорычев Г.А./

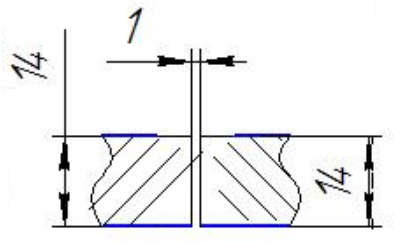
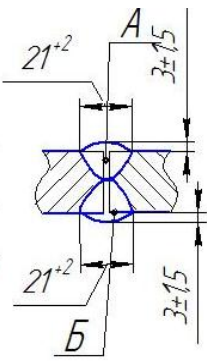
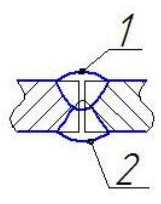
					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

УТВЕРЖДАЮ

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ (НАПЛАВКИ)
ИЗДЕЛИЯ (УЗЛА, СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ)
№ 2

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ 8713-79
2	Способ сварки	АФ
3	Основной материал (марки)	09Г2С
4	Основной материал (группа)	М01
5	Сварочные материалы	СВ-08Г2С ; АН-47
6	Толщина свариваемых деталей	14,0
7	Диаметр деталей в зоне сварки	2400
8	Тип шва	СШ
9	Тип соединения	стыковое, С7ГОСТ 8713-79
10	Вид шва соединения	дс, зк
11	Форма подготовки кромок	Без подготовки
12	Положение при сварке	Н1 (поворотное)
13	Вид покрытия электродов (для РД)	Основное (Б)
14	Режимы подогрева	Подогрев отсутствует
15	Режимы термообработки	Термообработка отсутствует
16	Дополнительные параметры	нет

Таблица 1. – Последовательность выполнения и форма сварного соединения.

Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

Сварочное оборудование (тип): тип: автоматическая сварочная головка АБС, сварочный трактор ТС-17-М.

Метод подготовки и очистки: Зачистка механическим способом до металлического блеска участков металла от кромок разделки на ширину не менее 20 мм с наружной и внутренней стороны.

Требования к прихватке: 8 прихваток равномерно по периметру. Длина каждой прихватки – 20–30 мм; высота – 5,0–6,0 мм, интервал 250–300 мм.

Защита сварочной ванны/защита корня шва: защита сварочной ванны

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Газ/флюс: флюс АН-47.

Неплавящийся электрод (тип, размер): нет.

Детали формирования корня шва: Шов выполняется без подкладки.

Технологические параметры сварки*

Номер слоя (валика)	Диаметр проволоки, мм	Род и полярность тока	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи проволоки м/ч
1	2	3	4	5	7	8
1	4	по	600-650	33-35	30-33	78-82
2	4	по	600-650	33-35	30-33	78-82

Примечания: 1) – скорость сварки дана для справки.

Технологические требования к сварке АФ:

1. Промыть присадочную проволоку в течение 10 мин. в щелочном растворе, состоящем из 20–25 г едкого натрия и 20–30 г углекислого натрия на 1 л воды при температуре 65°C.

2. Перед сваркой прокалить сварочный флюс при $t=300...400$ оС в течении 1,0-1,5 часов.

3. Флюс необходимо подать перед зажиганием сварочной дуги.

4. Слой флюса в зоне сварки должен быть не менее 40-60 мм.

5. Каждый последующий валик стыка накладывают в противоположном направлении.

6. После каждого прохода произвести зачистку слоев от шлака и брызг металла мех.способом.

7. Геометрические размеры собранного под сварку соединения и соединения после сварки должны удовлетворять требованиям таблицы 2.

Примечание. Приводятся требования к последовательности выполнения валиков (слоев) шва, температурному режиму сварки, наличию поворота и перемещению изделия при сварке, толщине корневой части шва, толщине и ширине валиков (слоев) шва и т.п.

Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный	РД 03-606-03	РД 03-606-03 РДИ 38.18.019-95 СТО 00220256-005-2005 ГОСТ 52630-2012	100 %
Измерительный	РД 03-606-03		100 %
Капиллярный	РДИ 38.18.019-95		<10 %
Ультразвуковой	СТО 00220256-005-2005		100 %
Гидравлические испытания	ГОСТ 52630-2012		100%

Разработал:

(подпись)

/Егорычев Г.А./

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

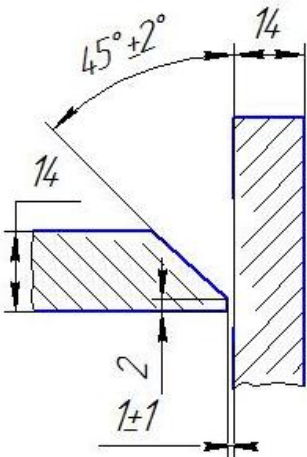
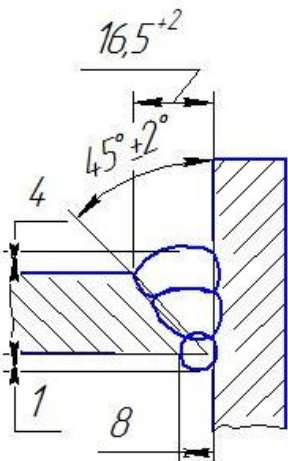
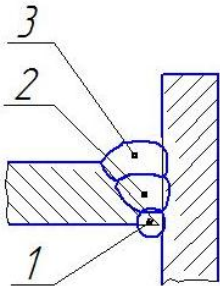
УТВЕРЖДАЮ

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ (НАПЛАВКИ)
ИЗДЕЛИЯ (УЗЛА, СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ)

№ 3

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ 14771-76
2	Способ сварки	ИП
3	Основной материал (марки)	09Г2С
4	Основной материал (группа)	М01
5	Сварочные материалы	СВ-08Г2С; К-18 ;
6	Толщина свариваемых деталей	14,0 ; 14,0
7	Диаметр деталей в зоне сварки	600;450;161
8	Тип шва	УШ
9	Тип соединения	Тавровое Т6ГОСТ 14771-76
10	Вид шва соединения	дс, зк
11	Форма подготовки кромок	С односторонней разделкой кромок при угле раскрытия 45 град.
12	Положение при сварке	Н1 (не поворотное)
13	Вид покрытия электродов (для РД)	Основное (Б)
14	Режимы подогрева	Подогрев отсутствует
15	Режимы термообработки	Термообработка отсутствует
16	Дополнительные параметры	нет

Таблица 1. – Последовательность выполнения и форма сварного соединения.

Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ

Лист

Сварочное оборудование (тип): AuroraPRO ULTIMATE 500 INDUSTRIAL

Метод подготовки и очистки: Зачистка механическим способом до металлического блеска участков металла от кромок разделки на ширину не менее 20 мм с наружной и внутренней стороны.

Требования к прихватке: прихватки равномерно по периметру. Длина каждой прихватки – 20–30 мм; высота – 5,0-6,0 мм, интервал 200-300 мм.

Защита сварочной ванны/защита корня шва: защита сварочной ванны

Газ/флюс: газ Аргон+CO₂

Детали формирования корня шва: Шов выполняется без подкладки.

Технологические параметры сварки*

Номер слоя (валика)	Диаметр электрода, мм	Род и полярность тока	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи проволоки м/ч
1	2	3	4	5	7	8
1	1.6	по	230-250	29-31	23-26	215-220
2	1.6	По	400-420	34-36	20-23	515-520
3	1.6	No	400-420	34-36	20-23	9-12

Примечания: 1) – скорость сварки дана для справки.

Технологические требования к сварке РД:

1. Перед выполнением прихваток и сваркой продуть защитным газом газовые коммуникации. Подачу защитного газа начинать на 15-20 сек. раньше зажигания дуги.

2. Газовой защите подлежит сварочная ванна, корень шва, а также все участки металла, которые в процессе выполнения прихваток и при сварке подвергаются нагреву свыше 350 °С.

3. Сварку выполнять короткой дугой длиной 1,0-3,0 мм. В процессе сварки необходимо как можно реже обрывать дугу. Перед гашением дуги сварщик должен заполнить кратер путем постепенного отвода электрода и вывода дуги на наложенный шов на 20-25 мм позади кратера. Последующее зажигание дуги производится на кромке свариваемого элемента или на металле шва.

4. Сварку корневого шва выполнять с амплитудой колебаний горелки и присадочной сварочной проволоки, равной 2-5 мм. При наложении последующих слоев горелка должна совершать колебательные поперечные движения; амплитуда колебаний равна 6-10 мм. Угол между электродом и сварочной проволокой поддерживать в пределах 90-105°. Сварку выполнять "левым" способом (ось электрода наклонена в сторону, противоположную направлению сварки). Подачу сварочной проволоки вести непрерывно. Сварочную проволоку вводить навстречу сварочной горелке, не допуская вывода ее торца из зоны газовой защиты.

5. Каждый последующий валик стыка накладывают в противоположном направлении. При сварке деталей цилиндрической формы "замковые" участки последующих валиков смещают относительно предыдущих швов на 10-18 мм. После каждого прохода произвести зачистку слоев от брызг металла мех. способом.

6. Снятие газовой защиты проводить не ранее, чем при снижении температуры до 350 °С.

7. Геометрические размеры собранного под сварку соединения и соединения после сварки должны удовлетворять требованиям таблицы 2.

Примечание. Приводятся требования к последовательности выполнения валиков (слоев) шва, температурному режиму сварки, наличию поворота и перемещению изделия при сварке, толщине корневой части шва, толщине и ширине валиков (слоев) шва и т.п.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный	РД 03-606-03	РД 03-606-03 РДИ 38.18.019-95 СТО 00220256-005-2005 ГОСТ 52630-2012	100 %
Измерительный	РД 03-606-03		100 %
Капиллярный	РДИ 38.18.019-95		<10 %
Ультразвуковой	СТО 00220256-005-2005		100 %
Испытания на гер- метичность	ГОСТ 52630-2012		100%

Разработал:

(подпись)

/Егорычев Г.А./

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14 М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

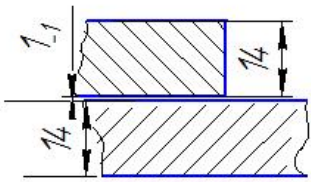
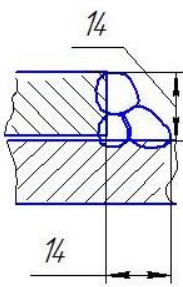
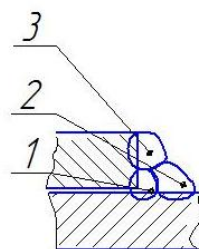
УТВЕРЖДАЮ

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ (НАПЛАВКИ)
ИЗДЕЛИЯ (УЗЛА, СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ)

№ 4

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ 14771-76
2	Способ сварки	ИП
3	Основной материал (марки)	09Г2С
4	Основной материал (группа)	М01
5	Сварочные материалы	СВ-08Г2С; К-18 ;
6	Толщина свариваемых деталей	14,0 ; 14,0
7	Диаметр деталей в зоне сварки	600;450;161
8	Тип шва	УШ
9	Тип соединения	Нахлесточное Н1ГОСТ 14771-76
10	Вид шва соединения	дс, зк
11	Форма подготовки кромок	Без подготовки
12	Положение при сварке	Н1 (не поворотное)
13	Вид покрытия электродов (для РД)	Основное (Б)
14	Режимы подогрева	Подогрев отсутствует
15	Режимы термообработки	Термообработка отсутствует
16	Дополнительные параметры	нет

Таблица 1. – Последовательность выполнения и форма сварного соединения.

Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

Сварочное оборудование (тип): AuroraPRO ULTIMATE 500 INDUSTRIAL

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Метод подготовки и очистки: Зачистка механическим способом до металлического блеска участков металла от кромок разделки на ширину не менее 20 мм с наружной и внутренней стороны.

Требования к прихватке: прихватки равномерно по периметру. Длина каждой прихватки – 20–30 мм; высота – 5,0–6,0 мм, интервал 500–600 мм.

Защита сварочной ванны/защита корня шва: защита сварочной ванны

Газ/флюс: газ Аргон+CO₂

Детали формирования корня шва: Шов выполняется без подкладки.

Технологические параметры сварки*

Номер слоя (валика)	Диаметр электрода, мм	Род и полярность тока	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи проволоки м/ч
1	2	3	4	5	7	8
1	1.6	по	300-320	30-32	22-25	301-306
2	1.6	по	400-420	34-36	20-23	515-520
3	1.6	по	400-420	34-36	20-23	515-520

Примечания: 1) – скорость сварки дана для справки.

Технологические требования к сварке РД:

1. Перед выполнением прихваток и сваркой продуть защитным газом газовые коммуникации. Подачу защитного газа начинать на 15-20 сек. раньше зажигания дуги.

2. Газовой защите подлежит сварочная ванна, корень шва, а также все участки металла, которые в процессе выполнения прихваток и при сварке подвергаются нагреву свыше 350 °С.

3. Сварку выполнять короткой дугой длиной 1,0-3,0 мм. В процессе сварки необходимо как можно реже обрывать дугу. Перед гашением дуги сварщик должен заполнить кратер путем постепенного отвода электрода и вывода дуги на наложенный шов на 20-25 мм позади кратера. Последующее зажигание дуги производится на кромке свариваемого элемента или на металле шва.

4. Сварку корневого шва выполнять с амплитудой колебаний горелки и присадочной сварочной проволоки, равной 2-5 мм. При наложении последующих слоев горелка должна совершать колебательные поперечные движения; амплитуда колебаний равна 6-10 мм. Угол между электродом и сварочной проволокой поддерживать в пределах 90-105°. Сварку выполнять "левым" способом (ось электрода наклонена в сторону, противоположную направлению сварки). Подачу сварочной проволоки вести непрерывно. Сварочную проволоку вводить навстречу сварочной горелке, не допуская вывода ее торца из зоны газовой защиты.

5. Каждый последующий валик стыка накладывают в противоположном направлении. При сварке деталей цилиндрической формы "замковые" участки последующих валиков смещают относительно предыдущих швов на 10-18 мм. После каждого прохода произвести зачистку слоев от брызг металла мех. способом.

6. Снятие газовой защиты проводить не ранее, чем при снижении температуры до 350 °С.

7. Геометрические размеры собранного под сварку соединения и соединения после сварки должны удовлетворять требованиям таблицы 2.

Примечание. Приводятся требования к последовательности выполнения валиков (слоев) шва, температурному режиму сварки, наличию поворота и перемещению изделия при сварке, толщине корневой части шва, толщине и ширине валиков (слоев) шва и т.п.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный	РД 03-606-03	РД 03-606-03	100 %
Измерительный	РД 03-606-03		100 %

Разработал:

(подпись)

/Егорычев Г.А./

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14 М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

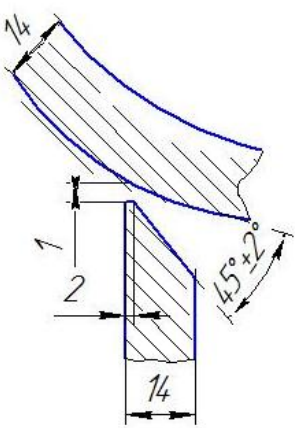
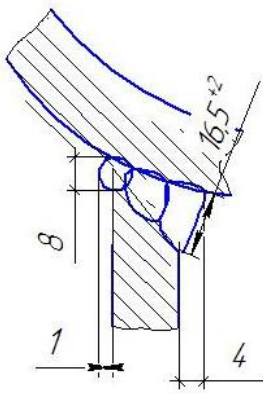
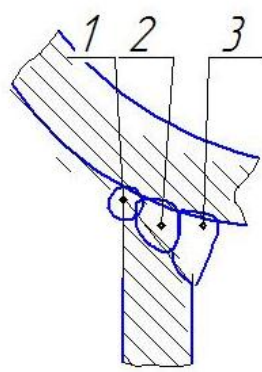
УТВЕРЖДАЮ

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ (НАПЛАВКИ)
ИЗДЕЛИЯ (УЗЛА, СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ)

№ 5

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ 14771-76
2	Способ сварки	ИП
3	Основной материал (марки)	09Г2С
4	Основной материал (группа)	М01
5	Сварочные материалы	СВ-08Г2С; К-18 ;
6	Толщина свариваемых деталей	14,0 ; 14,0
7	Диаметр деталей в зоне сварки	600;450;161
8	Тип шва	УШ
9	Тип соединения	Тавровое Т6ГОСТ 14771-76
10	Вид шва соединения	дс, зк
11	Форма подготовки кромок	С односторонней разделкой кромок при угле раскрытия 45 град.
12	Положение при сварке	Н1 (не поворотное)
13	Вид покрытия электродов (для РД)	Основное (Б)
14	Режимы подогрева	Подогрев отсутствует
15	Режимы термообработки	Термообработка отсутствует
16	Дополнительные параметры	нет

Таблица 1. – Последовательность выполнения и форма сварного соединения.

Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

Сварочное оборудование (тип): AuroraPRO ULTIMATE 500 INDUSTRIAL

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Метод подготовки и очистки: Зачистка механическим способом до металлического блеска участков металла от кромок разделки на ширину не менее 20 мм с наружной и внутренней стороны.

Требования к прихватке: прихватки равномерно по периметру. Длина каждой прихватки – 20–30 мм; высота – 5,0-6,0 мм, интервал 200-300мм.

Защита сварочной ванны/защита корня шва: защита сварочной ванны

Газ/флюс: газ Аргон+CO₂.

Детали формирования корня шва: Шов выполняется без подкладки.

Технологические параметры сварки*

Номер слоя (валика)	Диаметр электрода, мм	Род и полярность тока	Сварочный ток, А	Напряже-ние дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи проволоки м/ч
1	2	3	4	5	7	8
1	1.6	по	230-250	29-31	23-26	215-220
2	1.6	По	400-420	34-36	20-23	515-520
3	1.6	No	400-420	34-36	20-23	515-520

Примечания: 1) – скорость сварки дана для справки.

Технологические требования к сварке РД:

1. Перед выполнением прихваток и сваркой продуть защитным газом газовые коммуникации. Подачу защитного газа начинать на 15-20 сек. раньше зажигания дуги.

2. Газовой защите подлежит сварочная ванна, корень шва, а также все участки металла, которые в процессе выполнения прихваток и при сварке подвергаются нагреву свыше 350 °С.

3. Сварку выполнять короткой дугой длиной 1,0-3,0 мм. В процессе сварки необходимо как можно реже обрывать дугу. Перед гашением дуги сварщик должен заполнить кратер путем постепенного отвода электрода и вывода дуги на наложенный шов на 20-25 мм позади кратера. Последующее зажигание дуги производится на кромке свариваемого элемента или на металле шва.

4. Сварку корневого шва выполнять с амплитудой колебаний горелки и присадочной сварочной проволоки, равной 2-5 мм. При наложении последующих слоев горелка должна совершать колебательные поперечные движения; амплитуда колебаний равна 6-10 мм. Угол между электродом и сварочной проволокой поддерживать в пределах 90-105°. Сварку выполнять "левым" способом (ось электрода наклонена в сторону, противоположную направлению сварки). Подачу сварочной проволоки вести непрерывно. Сварочную проволоку вводить навстречу сварочной горелке, не допуская вывода ее торца из зоны газовой защиты.

5. Каждый последующий валик стыка накладывают в противоположном направлении. При сварке деталей цилиндрической формы "замковые" участки последующих валиков смещают относительно предыдущих швов на 10-18 мм. После каждого прохода произвести зачистку слоев от брызг металла мех.способом.

6. Снятие газовой защиты проводить не ранее, чем при снижении температуры до 350 °С.

7. Геометрические размеры собранного под сварку соединения и соединения после сварки должны удовлетворять требованиям таблицы 2.

Примечание. Приводятся требования к последовательности выполнения валиков (слоев) шва, температурному режиму сварки, наличию поворота и перемещению изделия при сварке, толщине корневой части шва, толщине и ширине валиков (слоев) шва и т.п.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный	РД 03-606-03	РД 03-606-03	100 %
Измерительный	РД 03-606-03		100 %

Разработал:

(подпись)

/Егорычев Г.А./

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14 М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

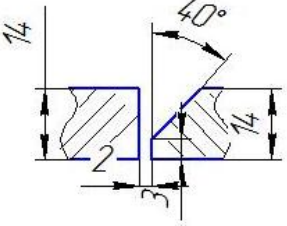
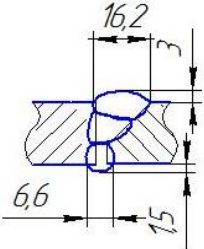
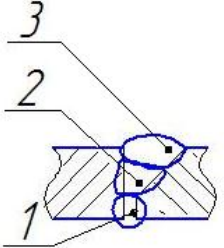
УТВЕРЖДАЮ

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ (НАПЛАВКИ)
ИЗДЕЛИЯ (УЗЛА, СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ)

№ 6

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ 14771-76
2	Способ сварки	ИП
3	Основной материал (марки)	09Г2С
4	Основной материал (группа)	М01
5	Сварочные материалы	СВ-08Г2С; К-18 ;
6	Толщина свариваемых деталей	14,0 ; 14,0
7	Диаметр деталей в зоне сварки	600;450;161
8	Тип шва	УШ
9	Тип соединения	Стыковое С8 ГОСТ 14771-76
10	Вид шва соединения	дс, зк
11	Форма подготовки кромок	С односторонней разделкой кромок при угле раскрытия 40 град.
12	Положение при сварке	Н1 (не поворотное)
13	Вид покрытия электродов (для РД)	Основное (Б)
14	Режимы подогрева	Подогрев отсутствует
15	Режимы термообработки	Термообработка отсутствует
16	Дополнительные параметры	нет

Таблица 1. – Последовательность выполнения и форма сварного соединения.

Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

Сварочное оборудование (тип): AuroraPRO ULTIMATE 500 INDUSTRIAL

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14 М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Метод подготовки и очистки: Зачистка механическим способом до металлического блеска участков металла от кромок разделки на ширину не менее 20 мм с наружной и внутренней стороны.

Требования к прихватке: прихватки равномерно по периметру. Длина каждой прихватки – 20–30 мм; высота – 5,0-6,0 мм, интервал 500-600 мм.

Защита сварочной ванны/защита корня шва: защита сварочной ванны

Газ/флюс: газ Аргон+CO₂

Детали формирования корня шва: Шов выполняется без подкладки.

Технологические параметры сварки*

Номер слоя (валика)	Диаметр электрода, мм	Род и полярность тока	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи проволоки м/ч
1	2	3	4	5	7	8
1	1.6	по	230-250	29-31	23-26	215-220
2	1.6	По	400-420	34-36	20-23	515-520
3	1.6	No	400-420	34-36	20-23	515-520

Примечания: 1) – скорость сварки дана для справки.

Технологические требования к сварке РД:

1. Перед выполнением прихваток и сваркой продуть защитным газом газовые коммуникации. Подачу защитного газа начинать на 15-20 сек. раньше зажигания дуги.

2. Газовой защите подлежит сварочная ванна, корень шва, а также все участки металла, которые в процессе выполнения прихваток и при сварке подвергаются нагреву свыше 350 °С.

3. Сварку выполнять короткой дугой длиной 1,0-3,0 мм. В процессе сварки необходимо как можно реже обрывать дугу. Перед гашением дуги сварщик должен заполнить кратер путем постепенного отвода электрода и вывода дуги на наложенный шов на 20-25 мм позади кратера. Последующее зажигание дуги производится на кромке свариваемого элемента или на металле шва.

4. Сварку корневого шва выполнять с амплитудой колебаний горелки и присадочной сварочной проволоки, равной 2-5 мм. При наложении последующих слоев горелка должна совершать колебательные поперечные движения; амплитуда колебаний равна 6-10 мм. Угол между электродом и сварочной проволокой поддерживать в пределах 90-105°. Сварку выполнять "левым" способом (ось электрода наклонена в сторону, противоположную направлению сварки). Подачу сварочной проволоки вести непрерывно. Сварочную проволоку вводить навстречу сварочной горелке, не допуская вывода ее торца из зоны газовой защиты.

5. Каждый последующий валик стыка накладывают в противоположном направлении. При сварке деталей цилиндрической формы "замковые" участки последующих валиков смещают относительно предыдущих швов на 10-18 мм. После каждого прохода произвести зачистку слоев от брызг металла мех. способом.

6. Снятие газовой защиты проводить не ранее, чем при снижении температуры до 350 °С.

7. Геометрические размеры собранного под сварку соединения и соединения после сварки должны удовлетворять требованиям таблицы 2.

Примечание. Приводятся требования к последовательности выполнения валиков (слоев) шва, температурному режиму сварки, наличию поворота и перемещению изделия при сварке, толщине корневой части шва, толщине и ширине валиков (слоев) шва и т.п.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный	РД 03-606-03	РД 03-606-03 РДИ 38.18.019-95 СТО 00220256-005-2005 ГОСТ 52630-2012	100 %
Измерительный	РД 03-606-03		100 %
Капиллярный	РДИ 38.18.019-95		<10 %
Ультразвуковой	СТО 00220256-005-2005		100 %
Испытания на герметичность	ГОСТ 52630-2021		100%

Разработал:

(подпись)

/Егорычев Г.А./

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14 М0105.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		