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

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 корпуса одоранта из стали 09Г2С»

Студент _____ (подпись, дата) *Бондарчук Роман Сергеевич* (фио полностью)

Научный руководитель
к.т.н., профессор _____ (подпись, дата) *Казанцев И.А.* (фамилия, инициалы)

Нормоконтролёр
к.т.н., доцент _____ (подпись, дата) *Хорин А.В.* (фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от 24.12.2024 № 6)

Заведующий кафедрой _____ (подпись, дата) *Розен А.Е.* (фамилия, инициалы)
д.т.н., профессор

Работа защищена с отметкой отлично (протокол заседания ГЭК от 23.06.2025 № 1)

Секретарь ГЭК _____ 23.06.2025 (подпись, дата) *Гуськов М.С.* (фамилия, инициалы)
к.т.н., доцент

Пенза 2025

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

«Утверждаю»
Заведующий кафедрой СЛПиМ
д.т.н., профессор А. Е. Розен
подпись
«24» декабря 2024 г.

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу

Студента гр. 21ЗМО41 Политехнического института ПГУ, заочной формы обучения по направлению подготовки 15.03.01 «Машиностроение»

Бондарчук Романа Сергеевича.

Научный руководитель работы: *к.т.н., проф. Казанцев И.А.*
Время выполнения ВКР: *с 24.05.25 г. по 04.07.2025 г.*
Место преддипломной практики: *ООО «Пензенский региональный научно-технический центр по сварочному производству и промышленной безопасности «Сура».*
Тема работы: *Разработка технологии сборки и сварки корпуса одоранта из стали 09Г2С.*
Тема утверждена приказом ректора № 1341а/о от 24.12.2024 г.

Техническое задание на работу (назначение изделия, технология сборки и сварки): Разработать технологию сборки и сварки корпуса одоранта из стали 09Г2С:
– Одорант предназначен для хранения меркаптанов;
– рабочее давление 1.6 МПа;
– температура окружающей среды от плюс 40 до минус 47°С.
Объём и содержание основной части работы
Пояснительная записка (перечень вопросов, подлежащих разработке, расчетов, обоснований, описаний):
- введение с обоснованием актуальности темы исследования, установления объекта и предмета, постановкой цели и задач исследования;
- литературно-патентный обзор с выявлением патентной и научно-технической информации, исследованием технического уровня и тенденций развития технологии сварки;
- анализ объекта производства с обоснованием выбора основного материала корпуса и корпусных элементов;
- конструкторская часть – проектные расчеты корпуса колонки и корпусных элементов, расчеты на прочность сварных соединений;
- технологическая часть с расчетами режимов сварки, выбором сварочного оборудования и сварочных материалов, назначение методов контроля качества сварных соединений и выбор средств технологического оснащения;

- заключение – выводы и обоснования по теме работы и полученным результатам.

Графическая часть бакалаврской работы (перечень и содержание плакатов)

- общий вид резервуара	*1л А1;*
- технологические параметры режимов сварки	*1л А1;*
- расчет на прочность обечайки в программе ПАССАТ	*1л А1;*
- сборка и сварка корпуса одоранта	*1л А1;*
- средства технологического оснащения	*1л А1;*
- методы контроля сварных соединений и КСС	*1л А1;*

Рекомендуемая литература:

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

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

Руководитель ВКР:

к.т.н., проф Казанцев И.А.

Задание к исполнению принял студент

гр. 213МО41 Бондарчук Р.С.

24 мая 2025 г.

Выпускную квалификационную работу к защите допустить

Директор Политехнического института ПГУ Г.В. Козлов

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

«Утверждаю»
Руководитель ВКР
к.т.н., проф. Казанцев ИА.
подпись
«24» декабря 2024 г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН
на выпускную квалификационную работу

Студенту гр. 213МО41 Политехнического института ПГУ заочной формы обучения по направлению подготовки 15.03.01 «Машиностроение»

Бондарчук Роману Сергеевичу.

Тема работы: *Разработка технологии сборки и сварки корпуса одоранта из стали 09Г2С*

Наименование этапа работы	Срок исполнения		Отметка о выполнении
	начало	окончание	
1. Получение задания, его уяснение, беседа с руководителем. Подготовка к выполнению ВКР.	24.05.25	24.05.25	выполнено
2. Подбор и изучение рекомендованной литературы.	24.05.25	26.05.25	выполнено
3. Изучение объекта исследования, постановка цели и задачи работы. Написание введения.	26.05.25	28.05.25	выполнено
4. Проведение литературно-патентного обзора. Выбор основных нормативно-технических документов.	28.05.25	30.05.25	выполнено
5. Проектирование и расчет элементов конструкции изделия. Оформление соответствующего раздела.	30.05.25	01.06.25	выполнено
6. Разработка технологии сборки и сварки изделия. Контроль качества сварных соединений. Оформление соответствующих разделов.	01.06.25	02.06.25	выполнено
7. Завершение оформления пояснительной записки, схем и рисунков.	02.06.25	03.06.25	выполнено
8. Представление завершенной ВКР нормоконтролеру	10.06.25	11.06.25	выполнено
9. Представление ВКР руководителю на просмотр и проверку на плагиат.	13.05.25	14.05.25	выполнено
10. Предварительная защита ВКР	04.06.25	04.06.25	выполнено

11. Полное завершение всех работ и представление зав. кафедрой на подпись пояснительной записки (совместно с графической частью, протоколом проверки на плагиат и отзывом руководителя)	20.06.25	22.06.25	выполнено
12. Защита выпускной квалификационной работы	23.06.25	04.07.25	выполнено

Прохождение каждого этапа подготовки ВКР подтверждается подписью руководителя.

Студент учебной группы 213МО41 Бондарчук Р.С.

"24" мая 2025 г.

Ректору Пензенского государственного университета
А. Д. Гулякову
от студента 4 курса ФПТЭТ заочной формы обучения

Бондарчук Романа Сергеевича
(фамилия, имя, отчество)

ЗАЯВЛЕНИЕ

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

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

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

Бондарчук
(подпись студента)
14.05.2025
(дата)

ВКР представлена на проверку 14.05.2025
(дата)

Руководитель ВКР _____ И.А.Кадамцев
Подпись И.О.Фамилия

Протокол

Проверки на оригинальность в системе «Антиплагиат. ВУЗ» выпускной квалификационной работы на тему «Разбработка технологии сборки и сварки корпуса одоранта из стали 09Г2С» студента 4 курса Бондарчук Романа Сергеевича, направления подготовки 15.03.01 «Машиностроение», профиля подготовки «Оборудование и технология сварочного производства».

Руководитель ВКР: Казанцев Игорь Алексеевич, к. т. н, профессор каф. «Сварочное, литейное производство и материаловедение».

Результат проверки на плагиат бакалаврской работы Бондарчук Романа Сергеевича составляет 67,38% оригинальности, что соответствует существующим требованиям стандарта СТО ПГУ 3.12-2018.Выпускная квалификационная работа может быть рекомендована к защите.

АНТИПЛАГИАТ

Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат» - http://ptma.antiplagiat.ru

Отчет о проверке

Автор: Казанцев И. А.

Проверяющий: Казанцев И. А.

Название документа: Р.С. Бондарчук ВКР

Организация: Пензенский государственный университет

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ

32.62%

67.38%

2.29%

0%

«Совпадения», «Цитирования», «Самоцитирования», «Оригинальность» являются отдельными показателями, отображаются в процентах и в сумме дают 100%, что соответствует проверенному тексту документа.

- **Совпадения** — фрагменты проверяемого текста, полностью или частично сходные с найденными источниками, за исключением фрагментов, которые система относит к цитированию или самоцитированию. Показатель «Совпадения» – это доля фрагментов проверяемого текста, отмеченных как совпадения, в общем объеме текста.
- **Самоцитирования** — фрагменты проверяемого текста, совпадающие или почти совпадающие с фрагментами текста источника, автором или соавтором которого является автор проверяемого документа. Показатель «Самоцитирования» – это доля фрагментов текста, отмеченных как самоцитирования, в общем объеме текста.
- **Цитирования** — фрагменты проверяемого текста, которые не являются авторскими, но которые система отмечает как корректно оформленные. К цитированиям относятся также шаблонные фразы, библиография, фрагменты текста, найденные исключительно из-за общей терминологии предметной области. Показатель «Цитирования» – это доля фрагментов проверяемого текста, отмеченных как цитирование, в общем объеме текста.
- **Текстовые пересечения** — фрагмент текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника.
- **Источник** — документ, проиндексированный системой и содержащийся в модуле поиска, по которому проводится проверка.
- **Оригинальный текст** — фрагменты проверяемого текста, не обнаруженные ни в одном из источников, по которым проводилась проверка. После нахождения фрагментов заимствований в тексте, отмеченных как совпадения, производится анализ корректности их оформления. Фрагменты, которые не были идентифицированы как заимствования, или обнаруженные фрагменты, которые были признаны корректно оформленными цитатами, относятся к оригинальному тексту.

Обращаем Ваше внимание, что система находит текстовые совпадения проверяемого документа с проиндексированными в системе источниками. Причины, по которым система может находить фрагменты, не являющиеся заимствованиями, могут быть различными: некорректное использование программного обеспечения, отсутствие нормативных ссылок на стандартные фразы, библиографические списки, а также авторство части или всего фрагмента проверяемого документа относится к компетенции проверяющего.

ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

Номер документа: 51

Количество страниц: 29

Тип документа: Не указано

Символов в тексте: 19665

Дата проверки: 14.05.2025 16:59:55

Слов в тексте: 2506

Дата корректировки: Нет

Число предложений: 198

Комментарий: не указано

Работу проверил: Казанцев И.А.

Дата подписи: 14.05.2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«Пензенский государственный университет»

ОТЗЫВ

РУКОВОДИТЕЛЯ О ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА

Студент: Бондарчук Роман Сергеевич.

Тема: Разработка технологии сборки и сварки корпуса одоранта из стали 09Г2С.

Направление подготовки– 15.03.01 «Машиностроение», группа 213МО41.

Профиль подготовки – «Оборудование и технология сварочного производства».

Выпускная квалификационная работа содержит 86 с., 27 рис., 28 табл., 42 использованных источника, 3 приложения, 6 листов графического материала.

Предметом работы является: разработка технологии сборки и сварки корпуса одоранта, обеспечивающая повышение производительности, простоты, надежности и безопасности в работе, уменьшение энерго- и металлоемкости.

Задачи работы:

– спроектировать сварную конструкцию корпуса одоранта и средства технологического оснащения для выполнения операций сборки и сварки;

– разработать технологию сборки и сварки корпуса одоранта.

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

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

Конструкция корпуса одоранта является технологичной, выбранные способы и режимы сварки позволяют выполнить сварные соединения требуемого качества.

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

Разработанная технология может применяться для изготовления корпуса одоранта.

Бондарчук Р.С. относится к числу инициативных студентов, умеющих планировать время выполнения работы и способных самостоятельно принимать рациональные решения. Адекватен, убеждаем, с коллегами поддерживает доверительные отношения.

За время выполнения выпускной квалификационной работы Бондарчук Р.С. показал себя технически грамотным специалистом, обладающим современными методами решения профессиональных задач.

Выполненная работа соответствует требованиям, предъявляемым к выпускным квалификационным работам.

Считаю, что выпускная квалификационная работа заслуживает оценки «хорошо», а ее автор Бондарчук Р.С. присвоения квалификации бакалавр по направлению подготовки 15.03.01 «Машиностроение» и профилю подготовки «Оборудование и технология сварочного производства».

Отзыв составил профессор каф. «СЛПиМ»

ФГБОУ ВО «ПГУ» к.т.н., профессор_____ Казанцев И.А.

Аннотация

Выпускная квалификационная работа содержит 86 с., 27 рис., 28 табл., 42 использованных источника, 3 прил. Графическая часть из 6 листов формата А1.

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

Объектом разработки является корпус одоранта из стали 09Г2С.

Предметом исследования является процесс сборки и сварки корпуса одоранта из стали 09Г2С.

Цель работы – разработка технологии сборки и сварки корпуса одоранта из стали 09Г2С в соответствии с НТД.

Задачи выпускной квалификационной работы:

а) провести анализ объекта производства, определить назначение и технические требования конструкции;

б) произвести выбор основных материалов сварочной конструкции;

в) спроектировать сварную конструкцию;

г) произвести выбор способов сварки;

д) разработать технологию сборки и сварки изделия с выбором материалов;

е) рассчитать режимы сварки с последующим выбором оборудования и средств технологического оснащения;

ж) назначить методы контроля качества сварных соединений. В выпускной квалификационной работе был проанализирован типовой вариант конструкции и разработана усовершенствованная технология сборки и сварки корпуса одоранта путём замены ручной сварки на автоматическую под флюсом.

Содержание

Введение……...4
1 Патентный обзор……...6
2 Анализ объекта производства. Назначение конструкции и технические требования……...10
3 Обоснование выбора основных материалов сварной конструкции……..13
4 Расчёт и проектирование сварной конструкции……..15
5 Выбор способа сварки……32
6 Обоснование выбора сварочных материалов……..…35
7 Техника и технология сборки и сварки изделия…….…39
8 Расчёт параметров режимов сварки……..42
9 Выбор сварочного оборудования и технологической оснастки……55
10 Контроль качества сварных соединений……76
Заключение…….81
Список использованных источников ……...…….....82
Приложение А Карты технологического процесса сварки……...87
Приложение Б Графическая часть…….105
Приложение В Расчеты на прочность в программе ПАССАТ……106

Введение

Цель выпускной квалификационной работы – разработать технологию сборки и сварки корпуса одоранта и проект сварочного участка, предназначенного для его изготовления. Корпус будет производиться из стали 09Г2С в условиях серийного выпуска.

Технология должна учитывать современные достижения в области сварки, включая использование автоматизированной оснастки, современных приспособлений и внедрение роботизированных систем. Это позволит создать эффективные роботизированные решения и сократить численность персонала в цехе [1].

Актуальность исследования обусловлена необходимостью значительного улучшения уровня сварочного производства. Перед нами стоят важные задачи освоения новых ресурсосберегающих технологий и конструкций, отвечающих мировым стандартам сварочной индустрии [2].

Производимые сварные корпуса должны соответствовать всем требованиям заказчиков, нормативам ГОСТ и другим регламентирующим документам. Новые технические решения в процессах сборки и сварки должны улучшить ключевые показатели качества продукции, повысив её конкурентоспособность на внутреннем и внешнем рынке. Снижение стоимости, материалоемкости и трудоёмкости изготовления корпусов также являются приоритетными целями.

Успех модернизации технологических процессов зависит от инвестиций в современное оборудование и подготовку кадров. Важно вкладывать средства в обновление производственных мощностей и повышение квалификации сотрудников сварочного цеха [3].

Разработка технологии стремится к обеспечению оптимальных условий выполнения каждой отдельной операции и всего процесса в целом. Для разных сварных конструкций представления об оптимальности технологического процесса могут сильно отличаться, поэтому вопросы рационального проектирования процесса изготовления сварных конструкций рассматриваются на

примерах их изготовления. Особую важность при этом приобретают вопросы аттестации сварочного производства. Разработка и оформление технологического процесса изготовления сварной конструкции должны соответствовать требованиям единой системы технологической документации (ЕСТД) [4].

Достижение поставленных целей, включая снижение себестоимости и трудозатрат, планируется через автоматизацию и роботизацию производства, минимизируя долю ручного труда.

1 Патентный обзор

Патентный обзор представляет собой исследование технического уровня и направлений развития объектов хозяйственной деятельности, оценку их патентоспособности, патентной чистоты и конкурентоспособности (эффективности использования по назначению). Исследование базируется на анализе патентной и иной технической информации. В рамках настоящей выпускной квалификационной работы рассматривается технологический процесс сборки и сварки корпуса одоранта из стали 09Г2С в заводских условиях.

Процесс проведения патентного исследования включает следующие этапы:

– Формулирование чёткого задания.

– Разработка регламента поиска.

– Обоснование индекса международной патентной классификации (МПК).

– Систематизация и анализ собранной информации.

– Обобщение результатов.

– Разработка рекомендаций.

– Составление отчёта.

Цель данного патентного исследования – изучение технического уровня и тенденций развития оборудования для сборки и сварки корпуса одоранта из стали 09Г2С. Регламент поиска определяет вид поиска, глубину (ретроспективность) поиска в годах, перечень стран, ограничивающих объем поиска, выбор источников информации для анализа аналогов объекта, а также индекс МПК.

Дата составления регламента – 28.05.2025.

Объект поиска – стенды для сварки обечаек.

Начало поиска – 09.12 2010.

Завершение поиска – 30.05.2025.

Страны поиска – Россия.

Ретроспективность – 15 лет.

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

а) *G01N29/26* – Способ ультразвукового контроля сварных соединений труб малого диаметра [5].

б) *B*23*K*37/04 – Стенд для сборки и сварки цилиндрической обечайки с днищем.

в) *B*23*Q* 3/152, *B*23*Q* 3/06, *B*23*Q*7/05, *B*23*K*37/04, *B*23*K*101/12 – роликовый стенд для совмещения обечайки с обечайкой и обечайки с днищем.

г) *B*23*K*37/04 – Способ сварки цилиндрических обечаек.

д) *B*23*K*37/00(2006.01), *G*01*B*15/08(2006.01), *B*23*K*9/10(2006.01) – Устройство для оценки качества сварного шва.

е) *B*23*K*37/00 – Способ сварки неплавящимся электродом в среде защитных газов.

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

Результаты проведённого поиска отображены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты поиска патентной информации

Предмет поиска (объект исследования, его составные части)	Страна выдачи и номер охранного документа. Классификационный индекс МПК	Заявитель (патентообладатель), номер заявки, дата публикации	Название изобретения (полной модели, образца)
1	2	3	4
Технология сборки и сварки емкостного оборудования	Россия, Патент №541215 *C*1 *B*23*K* 37/04	Публичное акционерное общество «Татнефть» им. В.Д. Шашина. Номер заявки №2005103101/22, 07.02.2005, 27.06.2005	Способ сварки цилиндрических обечаек [6]

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Ультразвуковой контроль сварных соединений	Россия, Патент №2394235, *G*01*N*29/26	Медведев Дмитрий Петрович, Стеблев Юрий Иванович, Репин Андрей Аркадьевич, Модин Андрей Юрьевич, Тимохин Александр Владимирович, Номер заявки 2009113276/28 приоритете от 09.04.2009, 10.07.2010	Способ ультразвукового контроля сварных соединений труб малого диаметра [5]
Технология сборки и сварки емкостного оборудования	Россия, Патент №2550673*C*2, *B*23 *K* 37/00 (2006.01) *G*01 *B* 15/08 (2006.01) *B*23 *K* 9/10 (2006.01)	ООО «ТЕХМАШСЕРВИС» Номер заявки №2013143488/02; 26.09.2013, 10.02.2015	Устройство для оценки качества сварного шва [7]
Технология сборки и сварки емкостного оборудования	Россия, Патент № 2550673*C*2, *B*23*K* 37/00 (2006.01) *G*01*B* 15/08 (2006.01) *B*23*K* 9/10 (2006.01)	ООО«ТЕХМАШСЕРВИС» Публичное акционерное общество «Татнефть» им. В.Д. Шашина. Номер заявки №2015131974, 01.07.2016, 03.02.2017	Способ сварки неплавящимся электродом в среде защитных газов [8]

Таким образом, проанализировав найденную информацию можно сделать вывод что технология сборки и сварки емкостного оборудования идёт в сторону увеличения степени автоматизации.

Применение в сборочно-сварочных операциях специального оборудования повышает производительность труда и качество выпускаемой продукции.

Проведя патентный обзор, было выявлено, что современный уровень техники находится на высоком техническом уровне и развивается.

2 Анализ объекта производства. Назначение конструкции и технические требования

Объектом проектирования, является одорант. Одорант проектируется в соответствии с Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности [9] и ГОСТ 34347–2017 [10]. Изделие конструктивно представляет собой горизонтальный резервуар объёмом 3,0 м³.

Одорант предназначен для хранения меркаптанов, под рабочим давлением 1,6 МПа. По степени воздействия на организм человека относится к 2-му классу опасности и при высоких концентрациях пары действуют наркотически. Меркаптан относится к легковоспламеняющимся жидкостям. Меркаптан выделяет легковоспламеняющиеся пары, которые образуют с воздухом взрывоопасную смесь.

По ГОСТ 30852.11–2002 [11], категория взрывоопасности и группа взрывоопасных смесей одоранта II А–ТЗ.

Проектируемый горизонтальный резервуар состоит из следующих основных частей:

– сварной обечайки, изготавливаемой из проката сортового горячекатаного из стали 09Г2С по ГОСТ 19281–2014 [12];

– двух эллиптических днищ, изготавливаемых из той же стали по ГОСТ 6533–78 [13];

– трех штуцеров различного технологического назначения;

– одного люка-лаза;

двух опор для установки резервуара по месту назначения, по ГОСТ 26296-84 [14] Опоры горизонтальных сосудов и аппаратов. Конструкция из стали Ст3сп5.

Основные размеры для данной ёмкости, номинальный объём которой составляет 3,0 м³ (3000 л), выбираются в соответствии с ГОСТ 9931–85 [15] и приведены на рисунке 1.

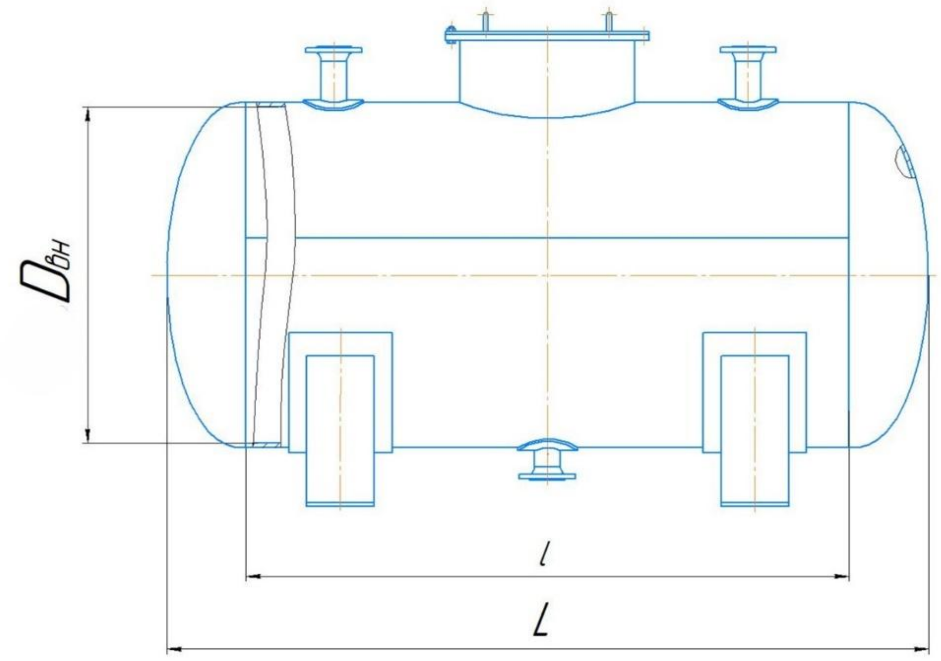


Рисунок 1 – Основные параметры и размеры корпуса горизонтального резервуара: *Dвн* – внутренний диаметр резервуара; *L* – наружная длина резервуара; *l* – длина обечайки

Основные размеры резервуара приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные размеры резервуара

Параметры	*V*, м³	*D*вн, мм	*L*, мм	*l*, мм
Значения	3,0	1200,0	2800,0	2100,0

Днища проектируемой ёмкости имеют эллиптическую форму. Основные геометрические размеры необходимо выбрать по [13].

Согласно [10], данный резервуар должен проходить гидравлические испытания. Внутренняя поверхность резервуара должна быть гладкой, без следов окалины, нагара, шлака. Маркировку резервуаров осуществляют в соответствии с требованиями [10].

На корпус резервуара наносится:

– наименование предприятия-изготовителя;

– заводской номер изделия;

– год изготовления;

– клеймо ОТК.

Резервуары должны иметь приспособления, предотвращающие самоопрокидывание.

Для защиты от коррозии на время транспортирования и хранения наружную поверхность резервуара (кроме крепёжных изделий, резьб, опорных поверхностей) покрыть грунтовкой ГОСТ 9109–81 [16].

На внутреннюю поверхность резервуара нанести антикоррозионное покрытие.

Гарантийный срок эксплуатации резервуара не менее 18 месяцев со дня ввода в эксплуатацию, но не более 24 месяцев после отгрузки с предприятия.

Схема размещения и крепления резервуара на транспортных средствах должна соответствовать требованиям «Технических условий погрузки и крепления грузов», утверждённых Министерством транспорта Российской Федерации по ГОСТ 34347–2017 [10]. Резервуары транспортируют транспортом всех видов в соответствии с правилами перевозок грузов, действующими на каждом виде транспорта.

3 Обоснование выбора основных материалов сварной конструкции

Выбор основного материала для корпуса одоранта производим в соответствии с ГОСТ 34347–2017 [10].

Так как рабочей средой резервуара является газ одорант, рабочее давление составляет 1,6 МПа, а диапазон рабочих температур от плюс 40 ºС до минус 47 ºС, то для изготовления корпуса данного резервуара в качестве материала целесообразно принять конструкционную низколегированную сталь марки 09Г2С.

Полный химический состав стали 09Г2С представлен в таблице 3 и регламентируется по ГОСТ 19281–2014 [12].

Таблица 3 – Химический состав в процентах стали 09Г2С

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

Механические свойства стали 09Г2С представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Механические свойства стали 09Г2С при Т = 20 °С

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

По ГОСТ 17032–2022 [17] проверим склонность стали 09Г2С к образованию холодных трещин и на свариваемость.

Расчет произведем по формуле:

$$C_{экв} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cu}{13} + \frac{V}{14} + \frac{P}{2}, \% \qquad (3.1)$$

где $C_{экв}$ – углеродный эквивалент, %;

C – углерод, %;

Mn – марганец, %;

Si – кремний, %;

Cr – хром, %;

Mo – молибден, %;

Ni – никель, %;

Cu – медь, %;

V – ванадий, %;

P – фосфор, %.

Для стали 09Г2С углеродистый эквивалент будет равен:

$$C_{экв} = 0,12 + \frac{0,5}{24} + \frac{0,3}{5} + \frac{0,3}{40} + \frac{0,3}{13} + \frac{0,08}{14} + \frac{0,03}{2} = 0,32\ \%.$$

Углеродный эквивалент для стали 09Г2С по ГОСТ 17032-2022 [17], не должен превышать 0,43%, следовательно, сталь хорошей свариваемости и не склонна к образованию холодных трещин.

4 Расчет и проектирование сварной конструкции

Проектируемый корпус представлен на рисунке 2.

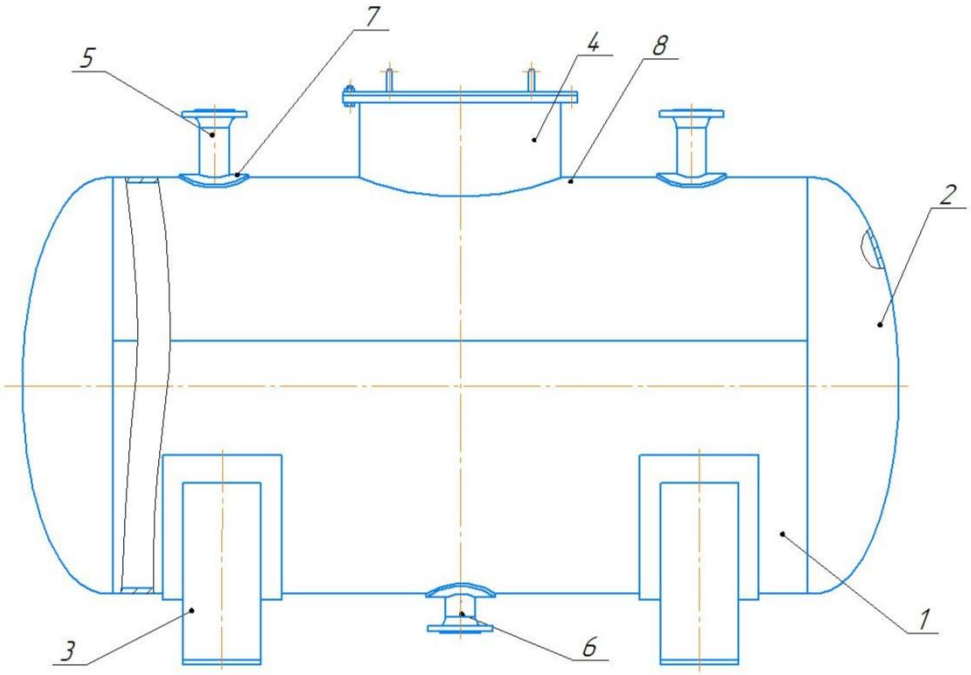


Рисунок 2 – Корпус одоранта: 1 – обечайка, 2 – днище, 3 – опора седловая, 4 – люк, 5 – штуцер, 6 – штуцер, 7 – кольцо усилительное, 8 – кольцо усилительное

По ГОСТ 34233.1–2017 [18] давление в сосуде при действии предохранительного клапана определяется по формуле [18]:

$$P_к = 1{,}15 \cdot P_{раб}, \quad (4.1)$$

где $P_{раб}$ – рабочее давление в сосуде, МПа;

$P_к$ – давление предохранительного клапана, МПа.

Подставляем полученные значения в формулу 4.1:

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

при $0{,}3 < P_{раб} \leq 6{,}0$ МПа,

следовательно, условие выполняется.

Расчетное давление без учёта гидростатического давления определяется по формуле:

$$P_p = 0{,}9 \cdot P_{к,}, \quad (4.2)$$

где $P_р$ – расчётное давление МПа;

$P_к$ – давление предохранительного клапана МПа.

Подставляем полученные значения в формулу 4.2:

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

при $P_{раб} \leq 6,0$ МПа,

следовательно, условие выполняется.

Если на элементы сосуда или аппарата действует гидростатическое давление, составляющее 5 % или более от рабочего давления, то расчётное давление повышают на величину гидростатического давления.

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

$$P_г = \rho_с \cdot q \cdot H_с \cdot 10^{-6}, \quad (4.3)$$

где $P_г$ – гидростатическое давление, МПа;

$\rho_с$ – плотность рабочей среды в аппарате, кг/м^3;

q –ускорение свободного падения, м/с;

$H_с$ –высота среды в аппарате, м.

Подставляем полученные значения в формулу 4.3.

$$P_г = 840 \cdot 9,81 \cdot 1,343 \cdot 10^{-6} = 0,011 \text{ МПа}$$

Посчитаем гидростатическое давление среды:

$$P_г = 0,011 < 0,05 \cdot 1,66 = 0,083 \text{ МПа}$$

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

$$P_р = P_{раб}, \quad (4.4)$$

где $P_{раб}$ – рабочее давление в сосуде, МПа;

$P_р$ – расчётное давление, МПа.

Подставляем полученные значения в формулу:

$$P_р = 1,66 \text{ МПа}$$

Пробное давление определяется по формуле:

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

где $P_{\text{р}}$ – расчетное давление сосуда, МПа;

$P_{\text{пр}}$ – пробное давление, МПа;

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

$[\sigma]_{40}$ – допускаемое напряжение для материала сосуда при расчетной температуре 40 °С МПа.

Определяем допускаемое напряжение для стали 09Г2С при расчетной температуре t = 40 ºС. Допускаемые напряжения при расчетной температуре t = 40 ºС определяем методом линейной интерполяции. Для этого определим допускаемые напряжения для стали 09Г2С по ГОСТ 34233.1-2017 [18].

при температуре t_1 =20 ºС $[\sigma]_{20} = 196$ МПа

при температуре t_2 =100 ºС $[\sigma]_{100}$ =177 МПа

Допускаемое напряжение при температуре 40 ºС находим по формуле:

$$[\sigma]_{40} = [\sigma]_{20} + \frac{[\sigma]_{100} - [\sigma]_{20}}{t_2 - t_1} \cdot (t_2 - t_1) \quad (4.6)$$

Подставляем полученные значения в формулу 4.6.

$$[\sigma]_{40} = 196 + \frac{177 - 196}{100 - 20} \cdot (40 - 20) = 191 \text{ МПа}$$

$$P_{\text{пр}} = 1{,}25 \ 1{,}66 \ \frac{196}{191} = 2{,}12 \text{ МПа}$$

Гидростатическое давление воды в условиях испытания определяем по формуле 4.3.

$$P_{\text{Гводы}} = 1000 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}58 \cdot 10^{-6} = 0{,}0155 \text{ МПа},$$

где $P_{\text{Гводы}}$ – гидростатическое давление воды, МПа.

Так как гидростатическое давление воды

$$P_{\text{Гводы}} < P_{\text{пр}} \cdot 0{,}05, \quad (4.4)$$

Подставляем полученные значения в формулу:

$$0{,}0155 < 2{,}12 \cdot 0{,}05 = 0{,}106 \text{ МПа}$$

составляет менее 5% от пробного давления, то расчетное давление в условиях испытания P_u определяем без учета гидростатического.

$$P_{\text{и}} = P_{\text{пр}} \tag{4.7}$$

Тогда расчетное давление в условиях испытаний равно пробному давлению: $P_{\text{и}} = 2{,}12$ МПа

Если выполняется условие, то расчет на прочность в условиях испытаний проводить не требуется.

$$P_{\text{и}} < 1{,}35 \cdot P_{\text{р}} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_{40}}, \tag{4.8}$$

Подставляем полученные значения в формулу 4.8:

$$2{,}12 < 1{,}35 \;\; 1{,}66 \;\; \frac{196}{191} = 2{,}3\,\text{МПа}$$

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

Рассчитаем толщину стенки обечайки по ГОСТ34233.2–2017 [19].

По безмоментной теории расчёта оболочек рассчитываем толщину стенки S по формуле (4.9).

$$S = \frac{P_{\text{р}} \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_R - P_{\text{р}}} \tag{4.9}$$

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

D – диаметр корпуса, мм;

φ_R– коэффициент прочности сварных швов обечайки;

Подставляем полученные значения в формулу 4.9.

$$S = \frac{1{,}66 \;\; 1200}{2 \;\; 191 \;\; 1 - 1{,}66} = 5{,}23\,\text{мм}$$

Прибавка для компенсации коррозии C_1 определяем по формуле:

$$C_1 = E_1 \;\; \tau, \tag{4.10}$$

где E_1 – скорость коррозии, мм/год;

τ – срок службы изделия, лет

Подставляем полученные значения в формулу 4.10.

$$C_1 = 0{,}1\ 30 = 3 \text{ мм}$$

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

$$S_1 = S_p + C_1 \quad (4.11)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.11.

$$S_1 = 5{,}23 + 3 = 8{,}23 \text{ мм}$$

Предварительно принимаем лист толщиной 9 мм.

Прибавка для компенсации минусового допуска C_2 определяется по ГОСТ 19903–2015 [20] и при толщине проката от 7,5 до 10 мм составляет $c_2 = 0{,}8$мм.

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

$$C_2 = 0{,}8 > 0{,}05 \cdot S_1, \quad (4.12)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.12:

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

Прибавка C_2 учитывается, так как составляет более 5% от толщины листа, согласно ГОСТ 34233.1–2017 [18].

Расчётную толщину стенки обечайки S вычисляем по формуле:

$$S = S_1 + C_2 \quad (4.13)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.13.

$$S = 9 + 0{,}8 = 9{,}8 \text{ мм}$$

Принимаем толщину стенки обечайки $S = 10$ мм

Допускаемое давление $[p]$ рассчитываем по формуле:

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

Подставляем полученные значения в формулу 4.14:

$$[p] = \frac{2\ 191\ 1\ (10 - 3{,}8)}{1200 + (10 - 3{,}8)} = 1{,}96 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполняется:

$$P_{\text{р}} = 1{,}66 < [p] = 1{,}96 \quad (4.15)$$

Проверяем условие применения расчётных формул 4.15.

$$\frac{S-C}{D} = \frac{10-3{,}8}{1200} = 0{,}0052 < 0{,}1$$

Условие выполняется.

Определяем величину развёртки обечайки определяется по формуле:

$$L_{\text{р}} = \pi \cdot \left(D_{ВН} + S + \frac{a}{2}\right) - b_1 - b_2 \quad (4.16)$$

где $L_{\text{р}}$ – длина развёртки обечайки, мм;

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

a – 1% от внешнего диаметра;

b_1 – припуск на зазор;

b_2 – припуск на механическую обработку.

Подставляем полученные значения в формулу 4.16.

$$L_{\text{р}} = \pi \cdot \left(1200 + 10 + \frac{12{,}2}{2}\right) - 2 - 2 = 3815\text{мм}$$

В качестве заготовки используем лист 4000×2100×10 по ГОСТ 19903–2015 [20], представленный на рисунке 3.

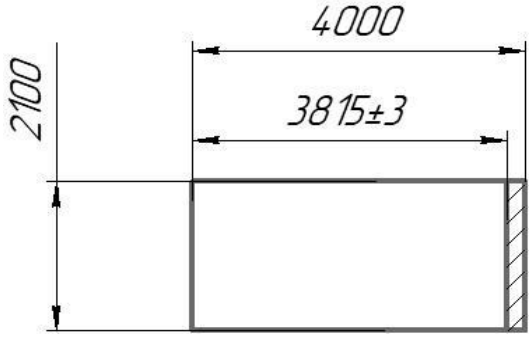


Рисунок 3 – Раскрой выбранного для обечайки листа

Определяем коэффициент использования материала (КИМ) по формуле:

$$\text{КИМ} = \frac{S_И}{S_З}, \quad (4.17)$$

где $S_{\text{И}}$ – площадь изделия, мм^2;

$S_{\text{З}}$ – площадь заготовки, мм^2.

Площадь изделия определяем по формуле 4.17.

$$КИМ = \frac{3815 \cdot 2100}{4000 \cdot 2100} = 0{,}95\%$$

По ГОСТ 14.322–83 [21] должно выполнятся условие:

$$КИМ > 0{,}7 \quad (4.18)$$

Так как КИМ больше 0,7, делаем вывод, что о технологичности выбора заготовки.

Произведем расчет днищ. Днища имеют эллиптическую форму. Выбор основных геометрических размеров днища проводят в соответствии с ГОСТ 6533–78 [13].

Расчётную толщина стенки эллиптических днищ S_{1P} определяем по формуле:

$$S_{1P} = \frac{P_р \cdot R}{2\varphi \cdot [\sigma] - 0{,}5 \cdot P_р} + C_1 + C_2 \quad (4.19)$$

где R – радиус кривизны в вершине днища, м;

φ – коэффициент для днищ в зависимости от формы;

$P_р$ – расчетное давление, МПа;

C_1 – прибавка для компенсации коррозии;

C_2 – прибавка для компенсации минусового допуска.

Радиус кривизны в вершине днища R рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{D^2}{4H_Д} \quad (4.20)$$

Размер $H_Д$ рассчитывается по формуле:

$$H_Д = 0{,}25 \cdot D \quad (4.21)$$

Подставляем полученные значения в формулу 4.21.

$$H_Д = 0{,}25 \cdot 1200 = 300 мм$$

Подставляем полученные значения в формулы 4.20.

$$R = \frac{1200^2}{4 \ \ 300} = 1200 \ \text{мм}$$

Подставляем полученные значения в формулы 4.19.

$$S_{1P} = \frac{1,66 \;\; 1200}{2 \;\; 1 \;\; 191 - 0,5 \;\; 1,66} + 3 + 0,8 = 9,02 \text{ мм}$$

Принимаем толщину стенки днища S = 10 мм. Выбираем днище 1200×10×300 ГОСТ 6533–78 [13].

Проверяем условие применения расчетных формул:

$$0,002 \quad \frac{S - C}{D} \quad 0,01 \tag{4.22}$$

Подставляем полученные значения в формулы 4.22.

$$0,002 \quad \frac{10 - 3,8}{1200} \quad 0,01$$

или

$$0,002 \quad 0,0052 \quad 0,01$$

Условие выполняется.

Определяем диаметр исходной заготовки D из листа по формуле, приведённой в ГОСТ 6533–78 [13]:

$$D = 2 \cdot \sqrt{\left(D_{\text{В}} + s\right) \cdot \left(h_1 + 0,345 \cdot \xi \cdot \left(D_{\text{В}} + s\right)\right)}, \tag{4.23}$$

где $D_{\text{В}}$ – внутренний диаметр днища, мм;

s – толщина стенки днища, мм;

h_1 – высота отбортовки днища, мм;

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

Подставляем полученные значения в формулу 4.23.

$$D = 2 \;\; \sqrt{\left(1200 + 10\right) \;\; \left(40 + 0,345 \;\; 1,002 \;\; \left(1200 + 10\right)\right)} = 1489 \text{ мм}$$

Заготовка для одного днища будет иметь размеры 1500×1500 из сортового проката по ГОСТ 19903–2015 [20]. Принимаем стандартный лист 1500×3000×10 мм.

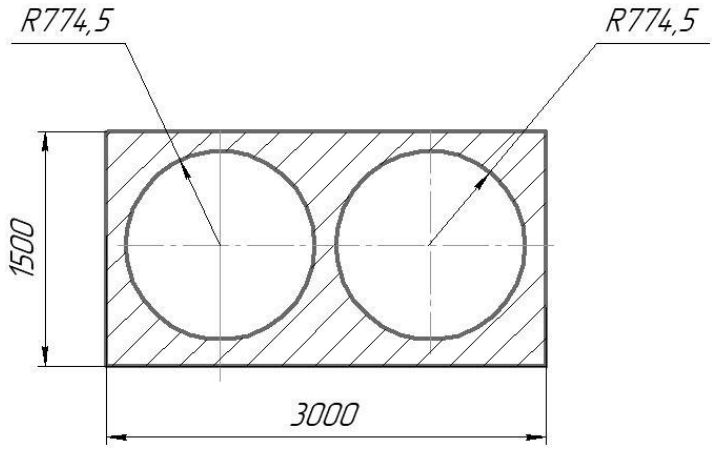


Рисунок 4 – Схема раскроя листа размером 3000×1500 мм для изготовления двух эллиптических отбортованных днищ

Коэффициент использования материала для изготовления обоих днищ определяться по формуле:

$$\text{КИМ} = \frac{2 \cdot \pi \cdot r^2}{2 \cdot S_3}, \quad (4.24)$$

Определяем площадь заготовки по формуле 4.24.

$$\text{КИМ} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 745^2}{2 \cdot (1500 \cdot 1500)} = 0{,}77$$

По ГОСТ 14.322–83 [21] должно выполнятся условие по формуле 4.18. Так как КИМ больше 0,7 делаем вывод, что о технологичности выбора заготовки.

Расчёт укрепления отверстия проводится согласно ГОСТ 34233.3–2017 [22] при внутренним давлении, равным $P = 1{,}66$ МПа. Схема укрепления отверстия накладным кольцом изображена на рисунке 5.

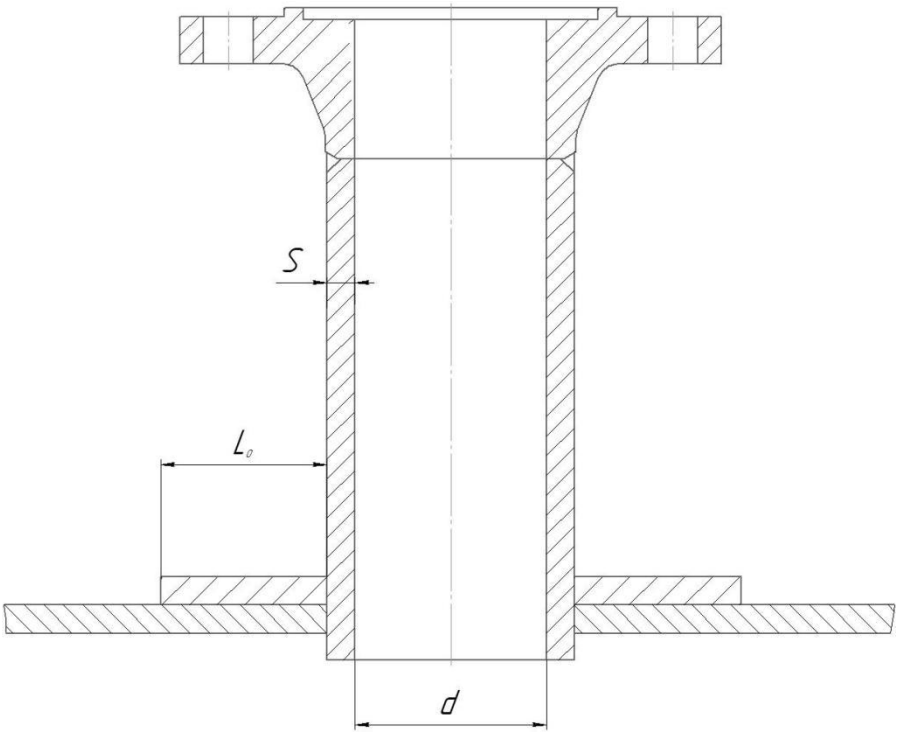


Рисунок 5 – Укрепление отверстия накладным кольцом

Расчётный внутренний диаметр укрепляемого элемента определяется по формуле:

$$D_{\text{р}} = D \tag{4.25}$$

где $D_{\text{р}}$ – Расчётный внутренний диаметр укрепляемого элемента, мм,

$D = 1200$ – внутренний диаметр цилиндрической обечайки, мм.

Расчётный диаметр отверстия определяется по формуле:

$$d_{\text{р}} = d + 2 \cdot c_S \tag{4.26}$$

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

d – внутренний диаметр штуцера, мм.

Подставляем полученные значения в формулу 4.26.

$$d_{\text{р}} = 80 + 2 \cdot 3{,}8 = 87{,}6 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки штуцера S_{1p} определяется по формуле:

$$S_{1\text{р}} = \frac{P_{\text{р}} \cdot (d + 2 \cdot c_S)}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \quad - P_{\text{р}}} \tag{4.27}$$

Подставляем полученные значения в формулу 4.27.

$$S_{1p} = \frac{1,66 \ \ (1200 + 2 \ \ 3,8)}{2 \ \ 191 \ \ 1 - 1,66} = 5,27 \text{ мм}$$

Фактическое значение толщины стенки штуцера будет равно:

$$S_p = S_{1p} + c \tag{4.28}$$

Подставляем полученные значения в формулу 4.28.

$$S_{\text{р}} = 5,27 + 3,8 = 9,07 \text{мм}$$

Принимается значение толщины штуцера равной $S_1 = 10$.

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

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{S-c}{S_p} - 0,8\right) \cdot \sqrt{D_{\text{р}} \cdot (S-c)} \tag{4.29}$$

Подставляем полученные значения в формулу 4.29.

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{10-3,8}{9,7} - 0,8\right) \cdot \sqrt{1200 \cdot (10-3,8)} = 27,74 \text{мм}$$

Ориентируясь на Dу и давление, принимаем в соответствии с АТК 24.218.06–90 [23] толщину стенки штуцера равной 10 мм.

Так как $d_0 < d_{\text{р}}$ отверстие нуждается в укреплении

Определяем ширину зоны укрепления в обечайке по формуле:

$$L_0 = \sqrt{D_{\text{р}} \cdot (S-c)} \tag{4.30}$$

Подставляем полученные значения в формулу 4.30.

$$L_0 = \sqrt{87,6 \cdot (10-3,8)} = 23,3 \text{мм}$$

Принимаем ширину зоны укрепления равной 60 мм.

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

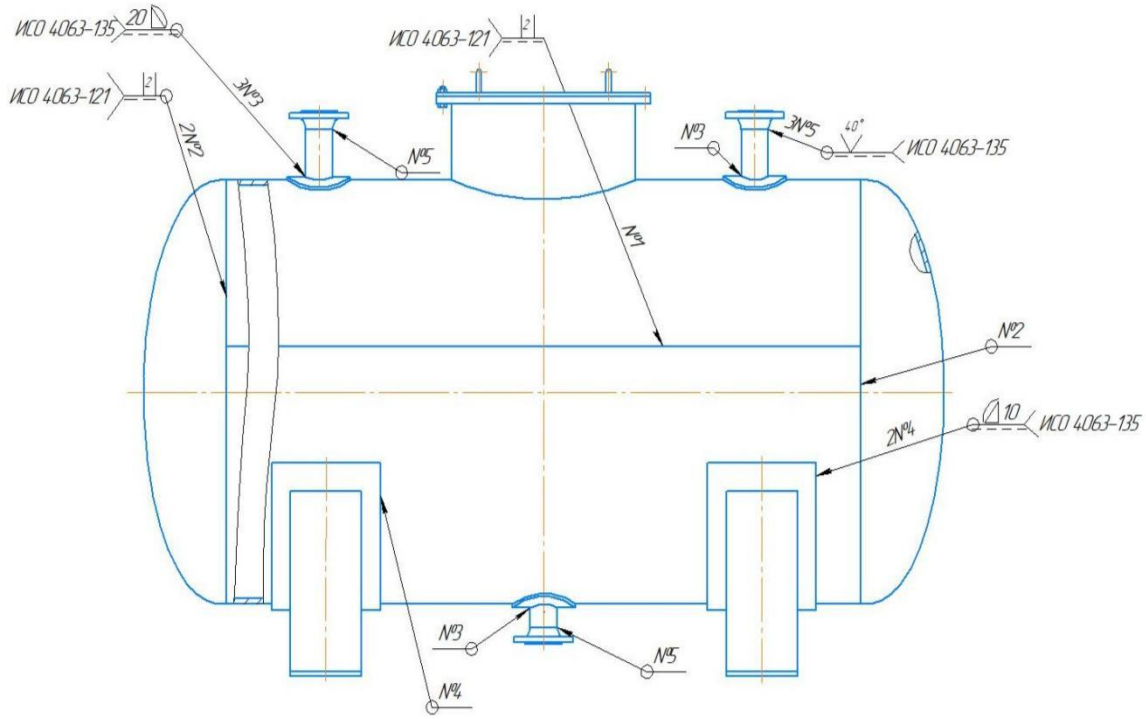


Рисунок 6 – Схема сварки корпуса одоранта

В рамках выпускной квалификационной работы рассмотрим в конструкции корпуса одоранта пять основных соединений:

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

– 2 кольцевых (соединяющее обечайку с днищами);

– 4 угловых (соединяющие штуцера и люк с обечайкой);

– 2 нахлесточных (соединяющие опоры с обечайкой);

– 3 стыковых (соединяющие фланец штуцера с трубой).

В начале выполнения технологического процесса спроектируем обечайку.

Анализ типов соединений по ГОСТ 8713–79 [24] при известной толщине стенок обечайки и днищ показывает, что проплавление корня шва обеспечит двусторонний шов. Этому условию отвечают тип соединения С29, изображенный на рисунке 7.

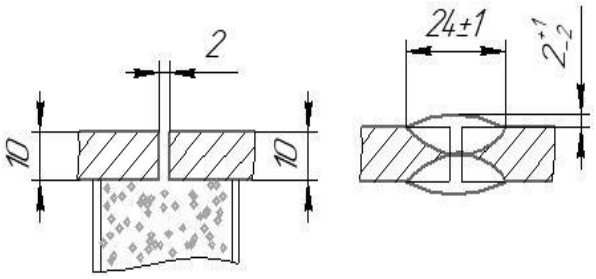


Рисунок 7 – Соединение типа С29 ГОСТ 8713–79 [24]

Проверку прочности сварных соединений днища и обечайки считаем выполненной, если выполняется условие [21]:

$$\sigma \leq [\sigma],$$

где σ – напряжение в сварном соединении, МПа;

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

Напряжение в сварном соединении σ определяем по формуле:

$$\sigma = \frac{N}{F}, \quad (4.31)$$

где N – продольная нагрузка, растягивающая шов, H;

F – площадь поперечного сечения шва, мм^2.

Продольную нагрузку N рассчитываем по формуле:

$$N = P_{\text{рас}} \cdot T, \quad (4.32)$$

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

Т – расчетная площадь поверхности, на которую действует избыточное давление в аппарате теплообменном, определяем по ГОСТ 6533–78 [13].

Подставляем известные значения в формулу 4.32.

$$N = 1{,}66 \cdot 1710000 = 2838600\ H$$

Площадь поперечного сечения шва определяется по формуле:

$$F_{\text{ш}} = \delta \cdot L_{\text{ш}}, \quad (4.33)$$

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

δ – толщина шва, мм.

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

$$L_{\text{ш}} = \pi d_{\text{ш}} - 10, \quad (4.34)$$

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

Подставляем полученные значения в формулы 4.34.

$$L_{\text{ш}} = 3{,}14 \cdot 1220 - 10 = 3821 \text{ мм}$$

Подставляем известные значения в формулу 4.33.

$$F_{\text{ш}} = 10 \cdot 3821 = 38210 \text{ мм}^2$$

Подставляем полученные значения в формулы 4.31:

$$\sigma = \frac{2838600}{38210} = 74{,}3 \text{ МПа}$$

Так как вычисленное значение напряжения в сварном шве, равное 74,3 МПа, меньше нормативного значения 191 МПа, то сварное соединение работоспособно.

Для продольного шва обечайки №1, выполняемого автоматической сваркой под слоем флюса, применяем соединение типа С29, расчёт на прочность которого ведётся по формуле:

$$\sigma_{ш} = \frac{N}{F_{ш}} \quad [\sigma], \tag{4.35}$$

где N – растягивающая сила, H;

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

Растягивающая сила N будет определяться по формуле:

$$N = P_{\text{пр}} \cdot \text{П}, \tag{4.36}$$

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

$$\text{П} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \frac{{d_{\text{ш}}}^2}{4} \tag{4.37}$$

Подставляем полученные значения в формулу 4.37:

$$\text{П} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \frac{1220^2}{4} = 584197 \text{ мм}^2$$

Определяем растягивающие усилие N подставив полученные и известные значения по формуле 4.36.

$$N = 1{,}66 \cdot 584197 = 969767 \, H$$

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

$$F_{\text{ш}} = a \cdot b, \tag{4.38}$$

где a – длинна шва, мм;

b – толщина шва, мм.

Подставляем известные значения в формулу 4.38.

$$F_{ш} = 2110 \cdot 10 = 21100 \text{ мм}^2$$

Обладая всеми необходимыми данными, определим прочность сварного шва по 4.31.

$$\sigma_{ш} = \frac{969767}{21100} = 46$$

Так как вычисленное значение напряжения в сварном шве, равное 46 МПа, меньше нормативного значения 191 МПа, то сварное соединение работоспособно.

Произведем расчет на прочность сварного шва У19 РД 26–18–8–89 [25], соединяющего штуцер с обечайкой (усилительное кольцо условно не указанно), который изображен на рисунке 8.

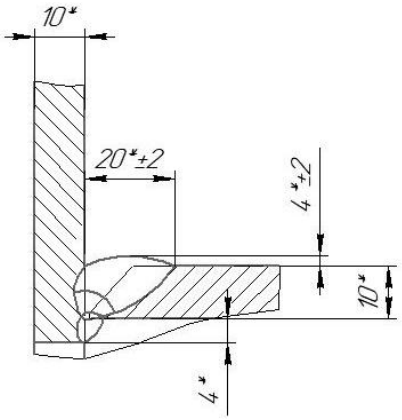


Рисунок 8 – Сварное соединение типа У19 РД 26–18–8–89 [25]

Расчет угловых соединений проводим по формуле:

$$\tau = \frac{N}{F} \quad [\sigma], \tag{4.39}$$

где τ – напряжение среза в угловом сварном соединении и равно 191, МПа;

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

Площадь поперечного сечения F для угловых швов рассчитывается по формуле:

$$F = \beta \cdot h_{ш} \cdot L_{ш}, \tag{4.40}$$

где β – коэффициент определения расчетной толщины углового шва;

$h_ш$ – толщина углового шва, мм;

$L_ш$ – длина сварного шва, мм.

Длина сварного шва $L_ш$ определяется по формуле:

$$L_ш = \pi d_ш - 10, \quad (4.41)$$

где $d_ш$ – наружный диаметр штуцера.

Подставляем полученные значения в формулу 4.41.

$$L_ш = 3{,}14 \cdot 100 - 10 = 304 \text{ мм}$$

Для рассматриваемого углового сварного соединения величину *hш* определяем по формуле:

$$h_ш = \sqrt{e^2 + g^2}, \quad (4.42)$$

где e, g – размеры шва, мм.

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

Подставляем полученные значения в формулы 4.40.

$$F = 0{,}7 \ \ 20{,}4 \ \ 304 = 4341{,}12 \text{ мм}^2$$

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

$$[\sigma] = (0{,}5 \ldots 0{,}65) \cdot [\tau] \quad (4.43)$$

Подставляем полученные значения в формулы 4.43.

$$[\sigma] = (0{,}5 \ldots 0{,}65) \cdot 191 = 95{,}5 \ldots 124{,}15 \text{ МПа}$$

Сила среза N будет определяться по формуле:

$$N = P_{пр} \cdot П, \quad (4.44)$$

где П – расчётная площадь поверхности, мм^2.

Расчётная площадь поверхности П для люка определяем по формуле:

$$П = р \ \ \frac{d_ш^{\ 2}}{4}, \quad (4.45)$$

Подставляем полученные значения в формулы 4.45.

$$П = \pi \cdot \frac{100^2}{4} = 7850 \text{ мм}^2$$

Подставляем полученные значения в формулы 4.44.

$$N = 1{,}66 \cdot 7850 = 13031 \text{ Н}$$

Обладая необходимыми данными, определяем напряжение среза углового сварного соединения:

$$\tau = \frac{13031}{4341,12} = 3,0 \text{ МПа}$$

Так как вычисленное значение напряжения в сварном шве, равное 3,0 МПа, меньше нормативного значения 95,5 МПа, то сварное соединение работоспособно.

5 Выбор способа сварки

При выборе способа сварки корпуса одоранта важно учитывать несколько факторов, включая материал резервуара, условия эксплуатации, требования к прочности и герметичности швов, а также доступное оборудование и квалификацию сварщиков. Вот несколько основных методов сварки, которые могут использоваться для горизонтальных резервуаров:

Ручная дуговая сварка (*MMA*):

– Этот метод широко используется благодаря своей универсальности и возможности работы в различных положениях.

– Преимущества: гибкость, возможность сварки в труднодоступных местах.

– Недостатки: относительно низкая производительность, необходимость высокой квалификации сварщика.

Полуавтоматическая сварка (*MIG/MAG*):

– Подходит для сварки тонких и средних толщин металла.

– Преимущества: высокая скорость сварки, меньшее количество дефектов по сравнению с ручной дуговой сваркой.

– Недостатки: требует защитной среды (газ), менее подходит для сварки толстых материалов.

Автоматическая сварка под флюсом (*SAW*):

– Идеальна для сварки больших толщин и длинных швов.

– Преимущества: высокая производительность, отличное качество шва, минимальные деформации.

– Недостатки: сложность настройки оборудования, ограниченная мобильность.

Используя метод сварки под флюсом и учитывая толщины свариваемого металла, конструкцию изделия, протяжённости сварных швов, требования к качеству выпускаемой продукции, тип производства, выбираем для сварки кольцевого шва №1 и продольного шва обечайки автоматическую сварку под слоем флюса. Основным критерием для выбора является её удобство и высокая

производительности по сравнению с ручной дуговой сваркой и полуавтоматической сваркой в CO_2.

Автоматическая сварка обеспечивает большую величину проплавления и при толщине металла 10 мм, нет так же необходимости в разделки кромок. Данный способ соединения металлов не отличается высокой манёвренностью. Он подходит только для получения прямолинейных или кольцевых швов. По этой же причине его нельзя использовать в труднодоступных местах. Так же из-за высокой текучести расплавленного флюса и металла сварочные работы можно выполнять только в нижнем положении. Максимальное отклонение шва от горизонтали не должно превышать 10-15 °С. Показателями обоснования выбора варианта сварки примем: скорость и производительность. Принимаем вариант автоматическая сварка под флюсом.

Для приварки штуцеров, опор и люка использовать автоматическую сварку затруднительно. Поэтому для выполнения всех угловых и нахлёсточных соединений будем применять механизированную сварку в среде CO_2. Полуавтоматическая сварка в CO_2 позволяет увеличить производительность труда, по сравнению со сваркой штучными электродами, в 3 раза. Сварка изделий из низкоуглеродистых и низколегированных сталей в среде защитных газов является одним из самых распространённых способов дуговой сварки в машиностроении.

При выполнении сварки этим способом в зону дуги подаётся защитный газ, который способствует защите сварочной ванны и расплавленного металла от воздействия внешней среды, окисления и азотирования. Механизированная сварка в среде защитных газов обладает более высокой производительностью по сравнению с ручной дуговой сваркой. Данным методом можно производить сварочные работы во всех пространственных положениях. За счёт использования защитного газа зона сварки хорошо защищена от кислорода и азота атмосферы. При применении данного способа сварки отсутствует необходимость очистки шва от шлаков. Показателями обоснования выбора варианта сварки примем: скорость и производительность. Принимаем вариант сварки в защитных газах.

Оба метода обеспечивают высокую скорость и производительность, что соответствует нашим производственным целям. Вывод, что такой подход обеспечит высокое качество выпускаемой продукции и долговечность сварных соединений.

6 Обоснование выбора сварочных материалов

Для автоматической сварки под флюсом деталей из углеродистых и низколегированных сталей, эксплуатируемых при температуре ниже минус 47 °С, в соответствии с СТО 00220368–012–2008 [26] выбираем сварочную проволоку Св–08ГА и флюс АН–348А.

Сварочные материалы, включая проволоку, электроды и флюсы, должны соответствовать требованиям установленных технических условий или стандартов, подтверждённым соответствующими сертификатами.

Перед использованием в производственном процессе все поступающие на предприятие сварочные материалы подлежат приёмке отделом технического контроля.

Приёмка сварочной проволоки включает проверку:

– Наличия и соответствия сертификата: Наличие сертификата на поставленную проволоку и соответствие его данных требованиям ГОСТ 2246–70 [27].

– Соответствия бирок: Наличие бирок на мотках проволоки и их соответствие данным, указанным в сертификате.

– Качества поверхности и химического состава: Состояние поверхности проволоки (отсутствие трещин, окалины, коррозии и других загрязнений) и ее химический состав в соответствии с ГОСТ 2246–70 [27].

Выбор сварочной проволоки должен основываться на типе базового материала. Согласно СТО 00220368–012–2008 [26], при наличии легирующих элементов (марганца и кремния) в базовом материале, необходимо использовать легированную проволоку с предпочтительным содержанием тех же легирующих элементов.

Для автоматической сварки под слоем флюса подходит сварочная проволока Св-08ГА химический состав которой представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Химический состав проволоки Св-08ГА

Элемент	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N
Содержание, %	до 0,1	до 0,06	0,8…1,1	до 0,25	до 0,025	до 0,03	до 0,1	до 0,01

Примечания: C – углерод; Si – кремний; Mn – марганец; Cr – хром; Ni – никель; Mo – молибден; Cu – медь; S – сера; P – фосфор.

Для механизированной сварки в среде углекислого газа подходит сварочная проволока Св-08Г2С, химический состав которой представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Химический состав проволоки Св-08Г2С

Элемент	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 0,025	до 0,03	до 0,2	до 0,01

Примечания: C – углерод; Si – кремний; Mn – марганец; Cr – хром; Ni – никель; Mo – молибден; Cu – медь; S – сера; P – фосфор.

В соответствии с СТО 00220368–012–2008 [26] для автоматической сварки под слоем флюса выбираем флюс АН-348А.

Использование флюсов, нарушивших условия хранения, запрещено. Применение таких флюсов возможно только после повторной прокалки в соответствии с режимами, указанными в паспорте.

Необходимо организовать систему очистки, прокалки, маркировки, упаковки, хранения и выдачи сварочных материалов таким образом, чтобы исключить возможность их смешивания и путаницы различных марок и партий.

Сварочные флюсы должны гарантировать:

– эффективную защиту расплавленного металла от воздействия кислорода и азота воздуха;

– стабильное горение дуги;

– необходимые механические характеристики металла шва;

– качественное формирование шва;

– эстетичный внешний вид шва;

– отсутствие внутренних дефектов в шве;

– лёгкое отделение шлаковой корки от поверхности металла;

– отсутствие выделения пыли и вредных газов в процессе сварки.

По ГОСТ Р 52222–2004 [28] химический состав используемого флюса приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Химический состав флюса АН-348А

Элемент	SiO_2	MnO	CaO	MgO	Al_2O_3	CaF_2	Fe_2O_3
Содержание, %	40,0…44,0	31,0…38,0	до 12,0	до 7,0	до 13,0	3,0…6,0	0,5…2,2

Примечания: SiO_2 – Диоксид кремния; MnO – оксида марганца; CaO – оксида кальция; MgO – Оксид магния; Al_2O_3 – Оксид алюминия; CaF_2 – фторида кальция; Fe_2O_3 – оксида железа.

Флюс АН-348А является кислым, марганце-силикатного типа и может применяться только для сварки с кремне- и марганцесодержащими проволоками.

Перед использованием флюсы прокаливают в соответствии с режимами, приведёнными в таблице 8.

Таблица 8 – Режимы прокалки флюсов

Марка	Рекомендуемый режим сушки	
	Температура, °С	Продолжительность, ч
АН–348А	300…400	1

В качестве защитной среды была выбрана жидкая углекислота, соответствующая стандарту ГОСТ 8050–85 [29].

Транспортировка и хранение углекислоты осуществляется в стальных баллонах или цистернах большой ёмкости в жидком состоянии. На заводе происходит газификация с последующей централизованной подачей к сварочным постам через трубопроводную систему. Баллон объёмом 40 литров содержит 25 кг CO_2, что при испарении даёт 12,5 м³ газа при атмосферном давлении (760 мм рт. ст.). Баллоны окрашены в чёрный цвет с жёлтой маркировкой.

Использование углекислого газа требует увеличения содержания легирующих элементов, таких как кремний и марганец, в сварочной проволоке, обусловленное высоким содержанием кислорода в газовой фазе. Сварочная проволока Св-08Г2С, выбранная ранее, отвечает этим требованиям и применима для сварки в среде CO_2.

7 Техника и технология сборки и сварки изделия

Сварку продольных и кольцевых стыков обечаек выполняем с помощью автоматической сваркой под флюсом на специальной установке, состоящей из роликового стенда М61071 и велосипедной тележки ВТ–3. Общий вид этой установки показан на рисунке 9.

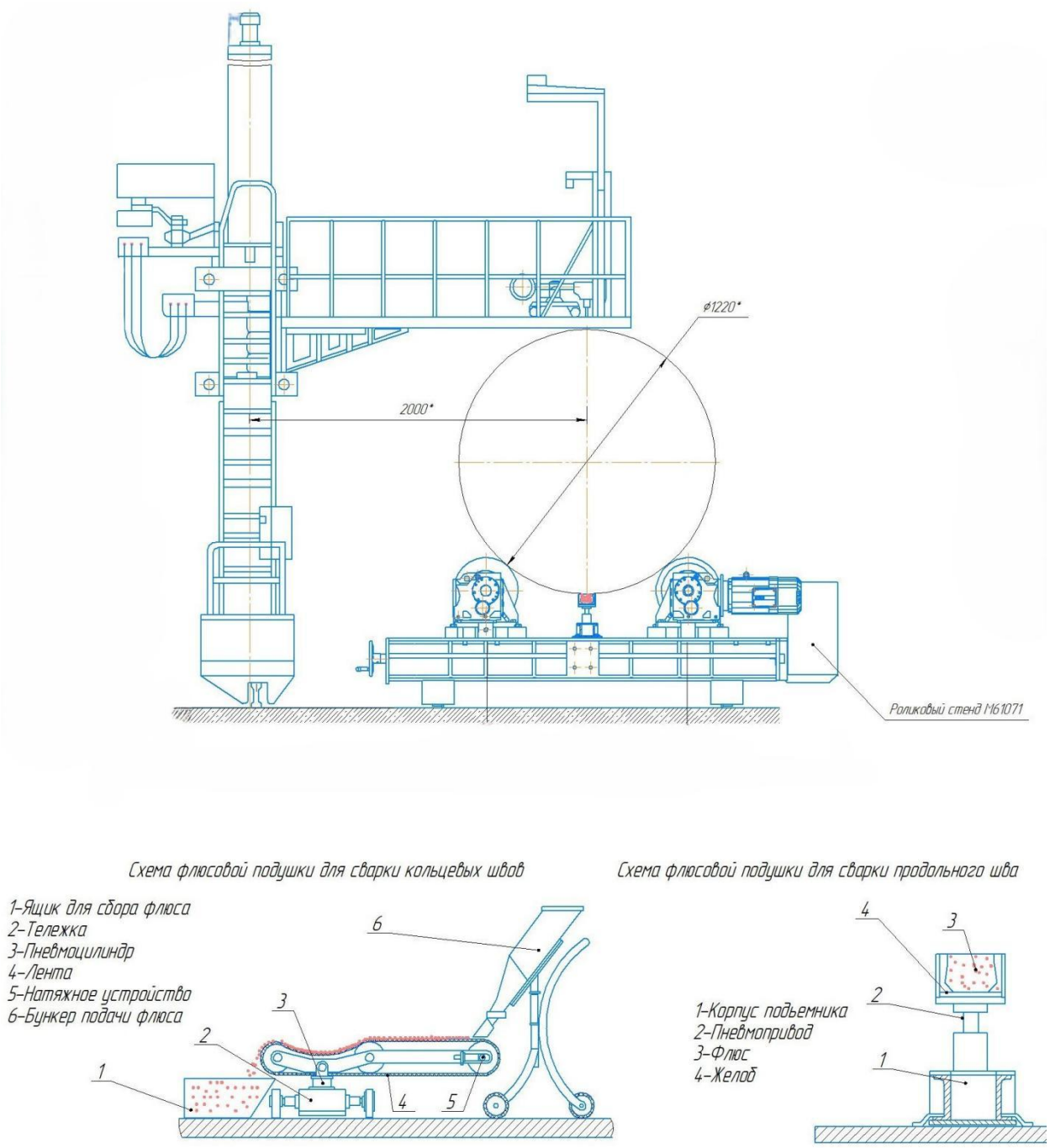


Рисунок 9 – Установка для сварки продольных и кольцевых стыков корпуса одоранта

Последовательность сборки и сварки корпуса одоранта:

– Сначала свариваем продольный стыковой шов обечайки. Стыкуем кромки обечаек, зачищаем от ржавчины и иных загрязнений, обезжириваем. Транспортируем обечайки мостовым краном на роликовый стенд М61071, стыкуем кромки. Прихватываем с помощью механизированной сварки в среде CO_2. Свариваем шов автоматической сваркой под слоем флюса с двух сторон. Отбиваем шлак. Зачищаем прихватки заподлицо с основным металлом.

– Вырезка отверстий под штуцера и люк в обечайке.

– Свариваем днища с обечайками (кольцевые швы). Очищаем от грязи и ржавчины стыкуемые кромки, обезжириваем. Транспортируем верхнее днище мостовым краном к обечайкам. Стыкуем с помощью распорного устройства с противоположно направленной резьбой. Прихватываем с помощью механизированной сварки в среде CO_2. Отбиваем шлак. Зачищаем прихватку заподлицо с основным металлом. Свариваем шов с двух сторон. Отбиваем шлак. Зачищаем прихватки заподлицо с основным металлом.

Прихватываем с помощью механизированной сварки в среде CO_2. Отбиваем шлак. Зачищаем прихватку заподлицо с основным металлом. Свариваем шов с двух сторон.

– Сборка и сварка подкладных листов седловых опор с обечайкой.

– Сборка и сварка седловых опор при соединении Т3 по ГОСТ 14771–76 [30].

– Привариваем люк-лаз и штуцера к обечайкам (угловые швы). Нарезаем кромки отверстий под люк и штуцера. Очищаем от грязи кромки обечайки отверстий под люк и штуцера, обезжириваем. Транспортируем люк мостовым краном к подготовленному отверстию. Стыкуем кромки с помощью специальной распорки. Прихватываем с помощью механизированной сварки в среде CO_2. Отбиваем шлак. Зачищаем прихватку заподлицо с основным металлом. Выполняем сварку люка и обечайки согласно рассчитанным режимам.

Транспортируем штуцера к отверстиям. Стыкуем кромки с помощью специальной распорки.

Для установки люка будем использовать схему с заглублением люка в корпус аппарата (рисунок 10). С помощью распорки устанавливаем необходимую величину заглубления люка в корпус аппарата, затем в соответствии с требованиями ГОСТ 34347–2017 [10] выверяем отклонение оси люка (допускается не более10 мм), отклонения по высоте (вылету) люка (не должно быть более 5 мм) и перпендикулярность оси люка относительно корпуса (при помощи угольника). Выставление зазора производим по шаблону.

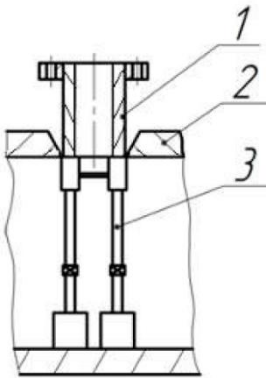


Рисунок 10 – Способ установки люка и штуцера в корпус аппарата:
1 – штуцер (люк), 2 – стенка емкости, 3 – распорка

8 Расчет параметров режимов сварки

Конструктивные элементы подготавливаемых кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения С29 по ГОСТ 8713–79 [24] представлены на рисунке 11.

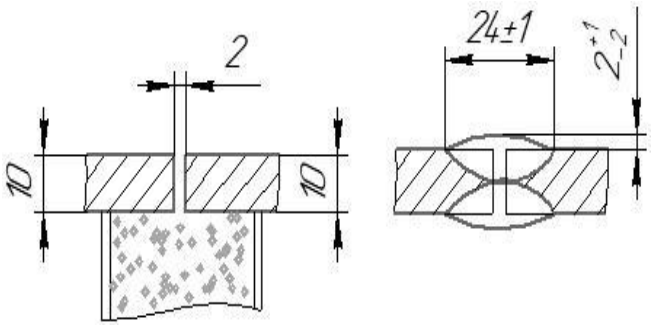


Рисунок 11 – Эскиз стыкового соединения С29

Все расчёты в главе проводим по [24].

Рассчитываем глубину проплавления по формуле;

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

где S – толщина обечайки;

h – глубину проплавления.

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

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

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

Подставляем полученные значения в формулы 8.2.

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

Принимаем $I_{\text{св}} = 560\text{А}$.

Определяем диаметр электродной проволоки по формуле:

$$d_{\text{эл}} = 1{,}13 \cdot \sqrt{\frac{I_{св}}{j}}, \tag{8.3}$$

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

j – допускаемая плотность тока, А/мм^2;

$I_{св}$ – сварочный ток.

Допускаемая плотность тока определяется по таблице 9.

Таблица 9 – Допустимая плотность тока для электродов

Диаметр проволоки, мм	1	2	3	4	5	6
Допускаемая плотность тока, А/мм^2	90…400	65…200	45…90	35…60	30…50	25…45

Подставляем полученные значения в формулы 8.3.

$$d_{эл} = 1{,}13 \cdot \sqrt{\frac{560}{65}} = 3{,}32 мм$$

Принимаем $d_{эл} = 3 мм$.

Для проволоки $d_{эл} = 3$ мм скорость сварки $V_{св}$ определяем по формуле:

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

Подставляем полученные значения в формулу 8.4.

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

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

Определяем оптимальное напряжение дуги $U_Д$ по формуле:

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

Подставляем полученные значения в формулу 8.5:

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

Принимаем $U_Д = 36$ В.

Определяем коэффициент провара ($\psi_{пр}$) по формуле:

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

Коэффициент формы провара K^I определяется исходя из условий:

– род тока постоянный;

– полярность тока обратная;

– плотность тока j < 120А/мм^2.

Таблица 10 – Значение коэффициента K^I

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

Подставляем полученные значения в формулу,

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

Подставляем полученные значения в формулы 8.7:

$$K^I = 0{,}367 \cdot \left(\frac{560 \cdot 4}{\pi \cdot 3^2}\right)^{0{,}1925} = 0{,}853.$$

Подставляем полученные значения в формулы 8.6.

$$\psi_{\text{пр}} = 0{,}853 \cdot (19 - 0{,}01 \cdot 560) \cdot \frac{5 \cdot 36}{560} = 3{,}7$$

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

Определяем величину погонной энергии $q_П$ по формуле:

$$q_П = \frac{I_{\text{св}} \cdot U_{\text{Д}} \cdot \eta_{\text{Д}}}{V_{\text{св}}}, \quad (8.8)$$

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

Принимаем $\eta_{\text{Д}} = 0{,}9$.

Подставляем полученные значения в формулы 8.8.

$$q_{\text{П}} = \frac{560 \cdot 36 \cdot 0{,}9}{0{,}83} = 24192 \text{Дж/см}$$

Определяем глубину проплавления по формуле:

$$h_{\text{ф}} = 7{,}6 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{q_П}{\psi_{\text{пр}}}} \quad (8.9)$$

Подставляем исходные значения в формулу 8.9.

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

Ширину шва определяем по формуле:

$$e = \psi_{\text{пр}} \cdot h_{\text{ф}}, \tag{8.10}$$

где e – фактическая ширина шва, мм.

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

Полученное значение соответствует требованиям ГОСТ 8713–79 [24].

Определим фактическую высоту валика $C_З$ по формуле:

$$c_З = \frac{F_{\text{Н}} - H \cdot b_з}{0{,}73 \cdot e - b_з}, \tag{8.11}$$

где $C_З$ – фактическая высота валика, мм;

$F_н$ – площадь поперечного сечения наплавленного металла за данный проход, мм^2;

$b_з$ – зазор между соединяемыми деталями, мм;

H – общая высота шва, мм.

Общая высота шва определяется по формуле:

$$F_H = \frac{\alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{св}}}{3600 \cdot \gamma \cdot V_{\text{св}}}, \tag{8.12}$$

где $\alpha_н$ – коэффициент наплавки, г/А ч;

γ – плотность сварочной проволоки, г/см^3.

Коэффициент наплавки определяется $\alpha_{\text{Н}}$ по формуле:

$$\alpha_{\text{Н}} = \alpha_{\text{р}} \cdot \left(1 - \frac{\psi}{100}\right), \tag{8.13}$$

где $\alpha_р$ – коэффициент расплавления электродной проволоки, г/А ч;

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

Коэффициент расплавления электродной проволоки α_p определяется по формуле:

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

Подставляем полученные значения в формулу 8.14.

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

Подставляем полученные значения в формулы 8.13:

$$\alpha_{\text{Н}} = 18 \cdot \left(1 - \frac{3{,}7}{100}\right) = 17{,}3 \text{ г/А ч}$$

Подставляем полученные значения в формулы 8.12.

$$F_{\text{Н}} = \frac{17{,}3 \cdot 560}{3600 \cdot 7{,}85 \cdot 0{,}83} = 0{,}46 \text{ мм}^2$$

где $H = 6{,}1 + 1{,}05 = 7{,}15$ мм

$$g = \frac{17{,}3}{0{,}73 \cdot 22{,}6} = 1{,}05 \text{ мм}$$

Подставляем полученные значения в формулы 8.11:

$$c_3 = \frac{17{,}3 - 7{,}15 \cdot 2}{0{,}73 \cdot 22{,}6 - 2} = 0{,}2 \text{ мм}$$

Определим коэффициент формы валика по формуле:

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

где $\psi_{\text{в}}$ – коэффициент формы валика;

e – фактическая ширина шва, мм;

g – высота валика.

$$\psi_{\text{В}} = \frac{22{,}6}{1{,}05} = 21{,}52$$

Коэффициент формы валика не должен выходить из диапазона $\psi_{\text{в}} = 7{,}0 \ldots 10{,}0$. Принимаем $\psi_{\text{в}} = 9$.

Определим скорость подачи электродной проволоки $V_{\text{П.ПР}}$, м/ч по формуле:

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

Подставляем полученные значения в формулу 8.16.

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

Рассчитанные режимы автоматической сварки под слоем флюса применяем для выполнения второй стороны шва, так как при фактической толщине проплавления $h_ф$ = 6,1 мм на данных режимах обеспечивается условие сплошности сварного соединения.

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

Эскиз сварного углового соединения У19 представлен на рисунке 12.

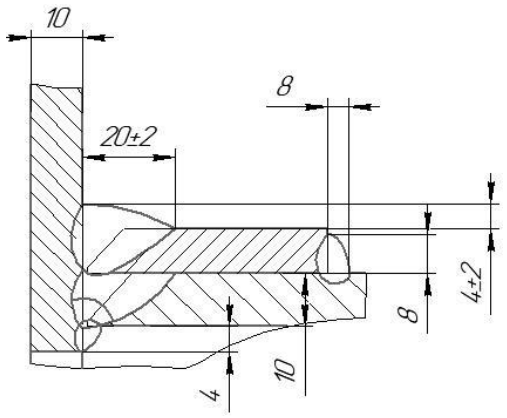


Рисунок 12 – Сварное угловое соединение У19 РД 26–18–8–89 [25]

Выбираем диаметр электродной проволоки по таблице 11.

Таблица 11 – Выбор диаметра электродной проволоки

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

На основании таблицы 11 принимаем диаметр электродной проволоки равным 2,0 мм.

Расчет величины сварочного тока. Величина сварочного тока определяется в зависимости от диаметра электродной проволоки согласно рекомендациям таблицы 12.

Таблица 12 – Допускаемая величина сварочного тока в зависимости от диаметра электродной проволоки

Параметр	Значение				
Диаметр электродной проволоки, $d_{эл}$,мм	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0
Величину сварного тока $I_{св}$, А	100…240	150…400	200…500	300…700	400…850
Расстояние от изделия, мм	8…18	15…25	15…25	20…40	20…40

Сварка в углекислом газе выполняется легированной проволокой сплошного сечения: Св–08Г2С.

Принимаем следующие исходные данные согласно таблицам 11 и 12:

$d_{эл}$ = 2,0 мм, величина сварочного тока $I_{св}$ = 300 А;

Определяем оптимальное напряжение дуги $U_Д$ может по формуле:

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

Подставляем полученные значения в формулу:

$$U_{Д} = 20 + \frac{50 \ 10^{-3}}{2^{0,5}} \ 300 \pm 1 = 30,7 \pm 1 \text{В}$$

Принимаем $U_{Д} = 31$ В.

Определяем коэффициент провара $\psi_{пр}$ по формуле:

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

Подставляем полученные значения в формулу:

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

Подставляем полученные значения в формулы 8.19.

$$K^I = 0,367 \cdot \left(\frac{300 \cdot 4}{\pi \cdot 2,0^2}\right)^{0,1925} = 0,88.$$

Подставляем полученные значения в формулы 8.18.

$$\psi_{пр} = 0,88 \cdot (19 - 0,01 \cdot 300) \cdot \frac{2,0 \cdot 31}{300} = 2,72$$

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

Коэффициент наплавки определяется по формуле:

$$\alpha_{Н} = \alpha_{р} \cdot \left(1 - \frac{\psi}{100}\right), \quad (8.20)$$

где $\alpha_{р}$ – коэффициент расплавления электродной проволоки, г/Ач;

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

Коэффициент расплавления электродной проволоки α_{p} определяется по формуле:

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

Подставляем полученные значения в формулу 8.21:

$$\alpha_{р} = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{300}{2,0}\right) \cdot 10^{-4} = 0,00413 г/Ас = 14,9 г/Ач$$

Подставляем полученные значения в формулы 8.20.

$$\alpha_{Н} = 14,9 \cdot \left(1 - \frac{2,7}{100}\right) = 14,5 г/А\ ч$$

Определяем скорость сварки ($V_{св}$) по формуле:

$$V_{св} = \frac{\alpha_{H} \cdot I_{св}}{100 \cdot \gamma \cdot F_{H}}, \quad (8.22)$$

где $\alpha_{Н}$ – коэффициент наплавки;

γ – плотность наплавленного металла;

$F_{Н}$ – площадь наплавки одного валика, определяем с помощью программы Компас 3*D v*22;

$I_{св}$ – сварочный ток.

Подставляем полученные значения в формулы 8.22.

$$V_{св} = \frac{14,5 \cdot 300}{100 \cdot 7,8 \cdot 0,8} = 7,2 м/час$$

Определим скорость подачи электродной проволоки $V_{п.п.}$, м/ч по формуле:

$$V_{\text{П.ПР}} = \frac{4 \;\; б_{\text{Н}} \;\; I_{\text{св}}}{\text{р} \;\; d_{\text{эл}}^2 \;\; \text{г}} \tag{8.23}$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.23:

$$V_{\text{П.ПР}} = \frac{4 \cdot 14{,}5 \cdot 300}{\pi \cdot 2^2 \cdot 7{,}8} = 177 \text{ м/ч}$$

Согласно рекомендациям, представленным в таблице 12 для проволоки диаметром $d_{\text{эл}}$. = 2 мм, расстояние от сопла горелки, до изделия составляет от 15 до 25 мм.

Рассчитаем режимы сварки для шва №4 выполненного по ГОСТ 14771–76 [30]. Формы и размеры подготовки кромок нахлесточного соединения представлены на рисунке 13.

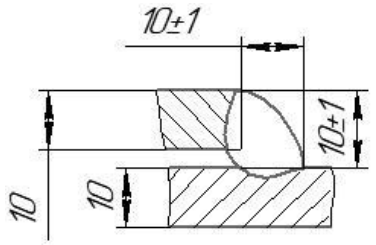


Рисунок 13 – Сварное нахлесточное соединение Н1 ГОСТ 14771–76 [30]

Сварка в углекислом газе выполняется легированной проволокой сплошного сечения: Св–08Г2С.

Принимаем следующие исходные данные согласно таблицам 11 и 12:

$d_{\text{эл}}$ = 2,0 мм, величина сварочного тока $I_{\text{св}}$ = 300 А;

Определяем оптимальное напряжение дуги может по формуле:

$$U_{\text{Д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_{\text{эл}}^{0,5}} \cdot I_{\text{св}} \pm 1 \tag{8.25}$$

Подставляем полученные значения в формулы 8.25.

$$U_{\text{Д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{2^{0,5}} \cdot 300 \pm 1 = 30{,}7 \pm 1\text{В}$$

Принимаем $U_{\text{Д}} = 31$ В.

Определяем коэффициент провара по формуле:

$$\psi_{\text{пр}} = K^l \cdot \left(19 - 0{,}01 \cdot I_{\text{св}}\right) \cdot \frac{d_{эл} \cdot U_{\text{Д}}}{I_{\text{св}}} \tag{8.26}$$

Подставляем полученные значения в формулу:

$$K^I = 0,367 \ \ j^{0,1925} = 0,367 \ \ \frac{I_{св} \ 4}{\pi \ d_{эл}^2}^{0,1925} \quad (8.27)$$

Подставляем полученные значения в формулы 8.27:

$$K^I = 0,367 \ \ \frac{300 \ 4}{\pi \ 2,0^2}^{0,1925} = 0,88.$$

Подставляем полученные значения в формулы 8.26:

$$\psi_{\text{пр}} = 0,88 \cdot (19 - 0,01 \cdot 300) \cdot \frac{2,0 \cdot 31}{300} = 2,72$$

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

Коэффициент наплавки определяется по формуле:

$$\alpha_{\text{Н}} = \alpha_{\text{р}} \cdot \left(1 - \frac{\psi}{100}\right), \quad (8.28)$$

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

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

Коэффициент расплавления электродной проволоки определяется по формуле:

$$\alpha_{\text{р}} = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{I_{\text{св}}}{d_{\text{эл}}}\right) \cdot 10^{-4} \quad (8.29)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.29:

$$\alpha_{\text{р}} = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{300}{2,0}\right) \cdot 10^{-4} = 0,00413 \text{ г/Ас} = 14,9 \text{ г/Ач}$$

Подставляем полученные значения в формулы 8.28.

$$\alpha_{\text{Н}} = 14,9 \cdot \left(1 - \frac{2,7}{100}\right) = 14,5 \text{ г/Ач}$$

Определяем скорость сварки по формуле:

$$V_{\text{св}} = \frac{\alpha_{\text{Н}} \cdot I_{\text{св}}}{100 \cdot \gamma \cdot F_{\text{Н}}}, \quad (8.30)$$

где $\alpha_{\text{Н}}$ – коэффициент наплавки;

γ – плотность наплавленного металла;

$F_{\text{Н}}$ – площадь наплавки одного валика, определяем с помощью программы Компас 3*D v*22;

$I_{\text{св}}$ – сварочный ток.

Подставляем полученные значения в формулы 8.30.

$$V_{\text{св}} = \frac{14{,}5 \cdot 300}{100 \cdot 7{,}8 \cdot 0{,}5} = 11{,}2 \text{ м/час}$$

Определим скорость подачи электродной проволоки $V_{\text{п.п.}}$, м/ч по формуле:

$$V_{\text{П.ПР}} = \frac{4 \;\; \text{б}_{\text{Н}} \;\; I_{\text{св}}}{\text{р} \;\; d_{\text{эл}}^2 \;\; \text{г}} \qquad (8.31)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.31.

$$V_{\text{П.ПР}} = \frac{4 \;\; 14{,}5 \;\; 300}{\text{р} \;\; 2^2 \;\; 7{,}8} = 177 \text{м/ч}$$

Согласно рекомендациям, представленным в таблице 12 для проволоки диаметром $d_{\text{эл.}}$ = 2 мм, расстояние от сопла горелки, до изделия составляет от 15 до 25 мм.

Рассчитаем режимы сварки для шва №5 выполненного по ГОСТ 14771–76 [30]. Формы и размеры подготовки кромок стыкового соединения представлены на рисунке 14.

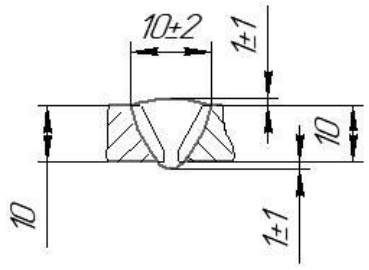


Рисунок 14 – Сварное стыковое соединение С17 ГОСТ 14771–76 [30]

Сварка в углекислом газе выполняется легированной проволокой сплошного сечения: Св–08Г2С.

Принимаем следующие исходные данные согласно таблицам 11 и 12:

$d_{\text{эл}}$ = 2,0 мм, величина сварочного тока $I_{\text{св}}$ = 300 А.

Определяем оптимальное напряжение дуги $U_Д$ может по формуле [27].

$$U_Д = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_{эл}^{0,5}} \cdot I_{св} \pm 1 \quad (8.32)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.32.

$$U_Д = 20 + \frac{50\ \ 10^{-3}}{2^{0,5}}\ \ 300 \pm 1 = 30,7 \pm 1 \text{В}$$

Принимаем $U_Д = 31$ В.

Определяем коэффициент провара $\psi_{пр}$ по формуле:

$$\psi_{пр} = K^I \cdot \left(19 - 0,01 \cdot I_{св}\right) \cdot \frac{d_{эл} \cdot U_Д}{I_{св}} \quad (8.33)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.33.

$$K^I = 0,367\ \ j^{0,1925} = 0,367\ \ \left(\frac{I_{св}\ \ 4}{\pi\ \ d_{эл}^2}\right)^{0,1925} \quad (8.34)$$

Подставляем полученные значения в формулы 8.34.

$$K^I = 0,367\ \ \left(\frac{300\ \ 4}{\pi\ \ 2,0^2}\right)^{0,1925} = 0,88$$

Подставляем полученные значения в формулы 8.33.

$$\psi_{пр} = 0,88 \cdot (19 - 0,01 \cdot 300) \cdot \frac{2,0 \cdot 31}{300} = 2,72$$

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

Коэффициент наплавки $\alpha_Н$ определяется по формуле:

$$\alpha_Н = \alpha_р \cdot \left(1 - \frac{\psi}{100}\right), \quad (8.35)$$

где $\alpha_р$ – коэффициент расплавления электродной проволоки, г/Ач;

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

Коэффициент расплавления электродной проволоки $\alpha_р$ определяется по формуле:

$$\alpha_р = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{I_{св}}{d_{эл}}\right) \cdot 10^{-4} \quad (8.36)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.36.

$$\alpha_{\text{р}} = \left(8{,}3 + 0{,}22 \cdot \frac{300}{2{,}0}\right) \cdot 10^{-4} = 0{,}00413\text{г/Ас}=14{,}9\ \text{г/Ач}$$

Подставляем полученные значения в формулы 8.30.

$$\alpha_{\text{Н}} = 14{,}9 \cdot \left(1 - \frac{2{,}7}{100}\right) = 14{,}5\ \text{г/А ч}$$

Определяем скорость сварки $V_{\text{св}}$ по формуле:

$$V_{\text{св}} = \frac{\alpha_{\text{Н}} \cdot I_{\text{св}}}{100 \cdot \gamma \cdot F_{\text{Н}}}, \qquad (8.37)$$

где $\alpha_{\text{Н}}$ – коэффициент наплавки;

γ – плотность наплавленного металла;

$F_{\text{Н}}$ – площадь наплавки одного валика, определяем с помощью программы Компас 3*D v*22;

$I_{\text{св}}$ – сварочный ток.

Подставляем полученные значения в формулы 8.37.

$$V_{\text{св}} = \frac{14{,}5 \cdot 300}{100 \cdot 7{,}8 \cdot 1{,}0} = 6{,}1\text{м/час}$$

Определим скорость подачи электродной проволоки $V_{\text{п.п.}}$, м/ч по формуле

$$V_{\text{П.ПР}} = \frac{4\ \ \text{б}_{\text{Н}}\ \ I_{\text{св}}}{\text{р}\ \ d_{\text{эл}}^{2}\ \ \text{г}} \qquad (8.38)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.38:

$$V_{\text{П.ПР}} = \frac{4\ \ 14{,}5\ \ 300}{\text{р}\ \ 2^{2}\ \ 7{,}8} = 177\text{м/ч}$$

Согласно рекомендациям, представленным в таблице 12 для проволоки диаметром $d_{\text{эл.}}$ = 2 мм, расстояние от сопла горелки, до изделия составляет от 15 до 25 мм.

9 Выбор сварочного оборудования и технологической оснастки

Ровный лист необходим для любого типа обработки, независимо от того, какая обработка будет производиться в дальнейшем: лазерная, плазменная, кислородная резка, штамповка, рубка или гибка.

Наиболее распространённой проблемой при обработке листового металла является неплоскостность листа и разница в толщине. Игнорирование этих проблем обычно приводит к задержкам производственного процесса и дорогостоящей повторной обработке изделия. Наши станки с ЧПУ выполняют работу на основе ваших исходных данных и используют оптимизированные алгоритмы, которые постоянно обновляются за счёт предыдущих результатов. Если процессы должны осуществляться с задержкой, ЧПУ автоматически регулирует скорость правки вместе со скоростью в ращения входных и выходных валов, чтобы обеспечить непрерывный производственный цикл.

Правка осуществляется на листоправильной многовалковой машине марки *Zeman*40.

Принцип работы машины заключается в следующем:

Автоматические рольганги подают материал, который нужно выровнять. Зажимные валы создают трение для того, чтобы продвигать материал через валы.

Правка начинается с первого верхнего вала, который изгибает лист с превышением предела текучести материала, чтобы добиться его пластичной деформации.

Повторный проход может потребоваться в зависимости от количества валков и требуемого допуска плоскостности. Процесс правки потребует меньше проходов при большем количеством валов.

Рисунок 15 – Листоправильная многовалковая машина марки *Zeman*40

Технические характеристики многовалковой машине марки *Zeman*40, приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Техническая характеристика многовалковой машины марки *Zeman*40

Наименование параметра	Значение параметра
Ширина листа, мм	2500,0
Толщина листа, мм	6,0….40,0
Материал валков	С60 (стандарт *DIN*)
Диаметр валков, мм	355
Количество валков, шт	9
Мощность двигателя кВт	220

Для штамповки эллиптических днищ используем гидравлический пресс двойного действия модели *MVD*, изображённый на рисунке 16.

Рисунок 16 – Гидравлический пресс двойного действия модели *MVD*

Предназначен для холодного выдавливания рельефных полостей, поверхностей, для выдавливания рельефа штампов и может быть применён в условиях серийного производства. Технические характеристики гидравлического пресса *MVD* приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Техническая характеристика гидравлического пресса *MVD*

Наименование параметра	Значение параметра
Макс. ширина гибки, мм	2500,0
Мин. толщина гибки, мм	6,0
Макс. толщина гибки, мм	16,0
Давление, МПа	255
Начальная скорость, м/мин	23,0
Двигатель, кВт	22
Габаритный размеры, мм	6300,0×2100,0×1860,0

На основании сортамента сортового проката для изготовления днищ резервуара с учётом толщины стенки обечайки назначаем толщину равную днища равную 10 мм.

Для раскроя листов металла с целью изготовления из него обечайки и днища используется станок плазменной резки с ЧПУ модели *HPR*400*XD* представленный на рисунке 17.

Рисунок 17 – Станок плазменной резки с ЧПУ *HPR*400*XD*

Система *HPR*400*XD* обеспечивает максимальную производительность плазменной резки низкоуглеродистой стали, а также универсальность, позволяющую получить лидирующее в отрасли качество резки нержавеющей стали. Технические характеристики приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Техническая характеристика станка плазменной резки с ЧПУ *HPR*400*XD*

Наименование параметра	Значение параметра
1	2
Длина зоны обработки, мм	7000,0
Ширина зоны обработки, мм	2030,0….2100,0
Грузоподъёмность стола, кг/м^2	700
Максимальная высота устанавливаемой заготовки, мм	100,0
Точность позиционирования по осям *X, Y, Z* мм/м	±0,1
Скорость позиционирования, м/мин	25,0….30,0
Максимальная скорость перемещения по координатам, мм/мин	20000,0
Емкостная система контроля высоты газового резака «CHC» (в комплектации с газовым суппортом)	автоматическая

Продолжение таблицы 15

1	2
Концевые выключатели по осям *X, Y, Z*	Есть
Приводы со стойкой управления с ЧПУ, кВт	4
Диапазон обрабатываемых толщин с пробивкой, мм	0,5…12,0
Применяемые газы	пропан, кислород
Потребляемая мощность, кВт	12,5
Вес, кг	2200
Габаритный размеры, мм	7000,0×3370,0×1290,0

Основным этапом придания проектируемому изделию требуемой геометрической формы является формообразование. В дипломной работе для придания листовой заготовки требуемой геометрической формы используется один из наиболее широко применяемых способов холодного деформирования – гибка. Для гибки применяются гибочно-листовые станки, которые выбираются в зависимости от параметров используемой заготовки.

Наиболее часто применяется свободная гибка, при которой формообразование осуществляется пластической деформацией заготовки системой сил.

Гидравлические вальцы *HRB*–4 – это 4-х-валковый гибочный пресс премиум класса, который применяется для проката листа до 2050 мм, толщиной от 2 мм до 20 мм, диаметр вала 250мм. Особенностью является то, что нижний и верхний валки приводятся в движение 6 гидравлическими цилиндрами и синхронизация между валками считывается линейным энкодером. Стандартная комплектация:

4 валка, мобильная панель управления, приспособление для гибки конусов, индукционная закалка валков (*HRc* 56 ± 4), ручная система смазки, возможность сварки на станке.

Рисунок 18 – 4-х-валковая гидравлическая машина *HRB*–4 25270

В данном станке отсутствует холостой пробег листа: после гибки первого конца происходит гибка обечайки, а затем автоматическая гибка второго конца. В течение всего рабочего процесса заготовка зажата между верхним и нижним валками.

Таблица 16 – Техническая характеристика 4-х-валковой гидравлической машины *HRB*–4 25270

Наименование параметра	Значение параметра
Ширина рулона, мм	2050,0
Скорость гиба, м/мин.	4,0
Мощность, кВт	110
Вес, кг	14000
Макс. толщина листа с подгибом кромок, мм	80,0
Габаритный размеры, мм	3600,0×1700,0×1850,0

Данный станок обладает всеми необходимыми характеристиками для вальцовки обечаек необходимого размера.

Устройства вырезки отверстий *Huawei HK* 600 *D*. Предназначена для точной газокислородной вырезки цилиндрических отверстий в трубах, листах, ёмкостях. Устройство применяются для вырезки отверстий в обечайках, для производства сварных тройников, в цилиндрических сосудах, резервуарах для формирования

горловин, люков и т.п. Рекомендуются к применению в трассовых и стационарных условиях при строительстве и ремонте трубопроводов.

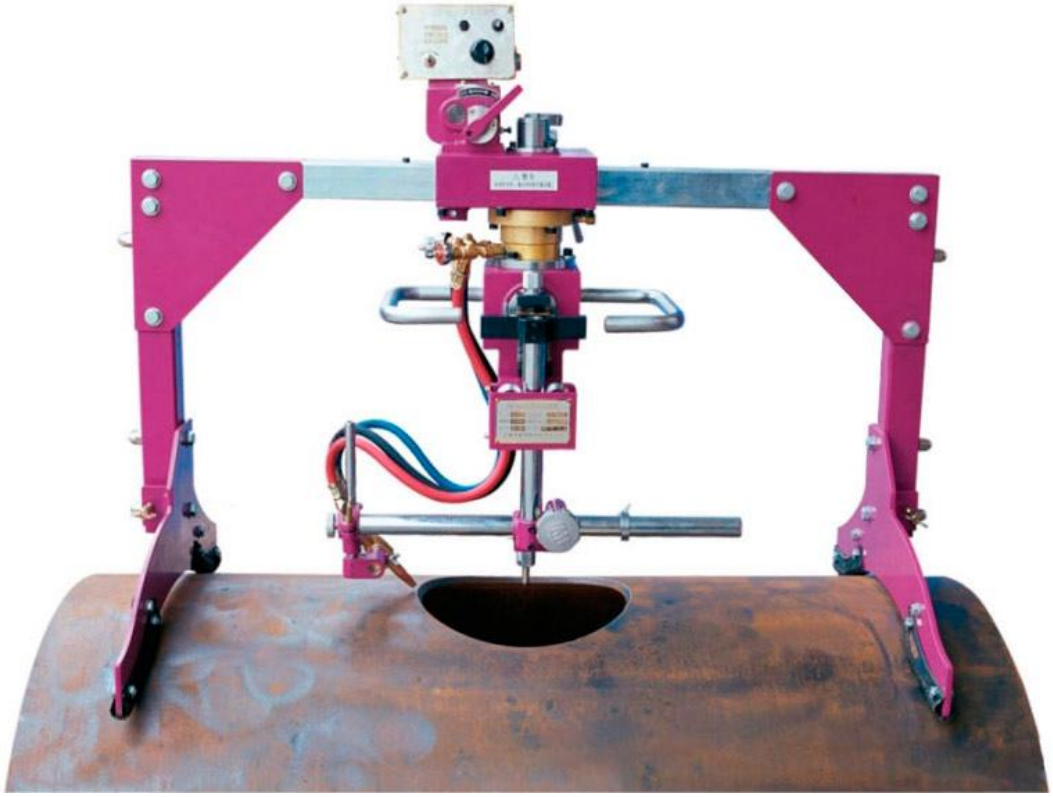


Рисунок 19 – Установка для вырезания отверстий *Huawei HK* 600 *D*

Таблица 17 – Технические характеристики установки для вырезания отверстий *Huawei HK* 600 *D*

Наименование параметра	Значение параметра
Напряжение питающей сети, Гц	3 фазы, 50…60
Потребляемая мощность, Вт	700
Максимальный диаметр устанавливаемого изделия, мм	3000,0
Диаметр вырезаемого отверстия, мм	50,0…1000,0
Толщина листа при термической резке, мм	5,0…100,0

Для нарезания кромок используется фаскосниматель *OMCA HKF*230, представленная на рисунке 20.

Рисунок 20 – Фаскоснимательь *OMCA HKF*230

Таблица 18 – Технические характеристики кромкофрезерного станка *SMP*40 *EVR*

Наименование параметра	Значение параметра
Толщина обрабатываемого листа, мм	не более 12,0
Глубина фаски, мм	0,0…16,0
Угол фаски, град	30/45
Электропривод, кВт	1,5
Габаритные размеры, мм	400,0×400,0×200,0
Масса, кг	7

Для автоматической сварки под слоем флюса выбираем сварочный автомат КА–001, представленный на рисунке 21.

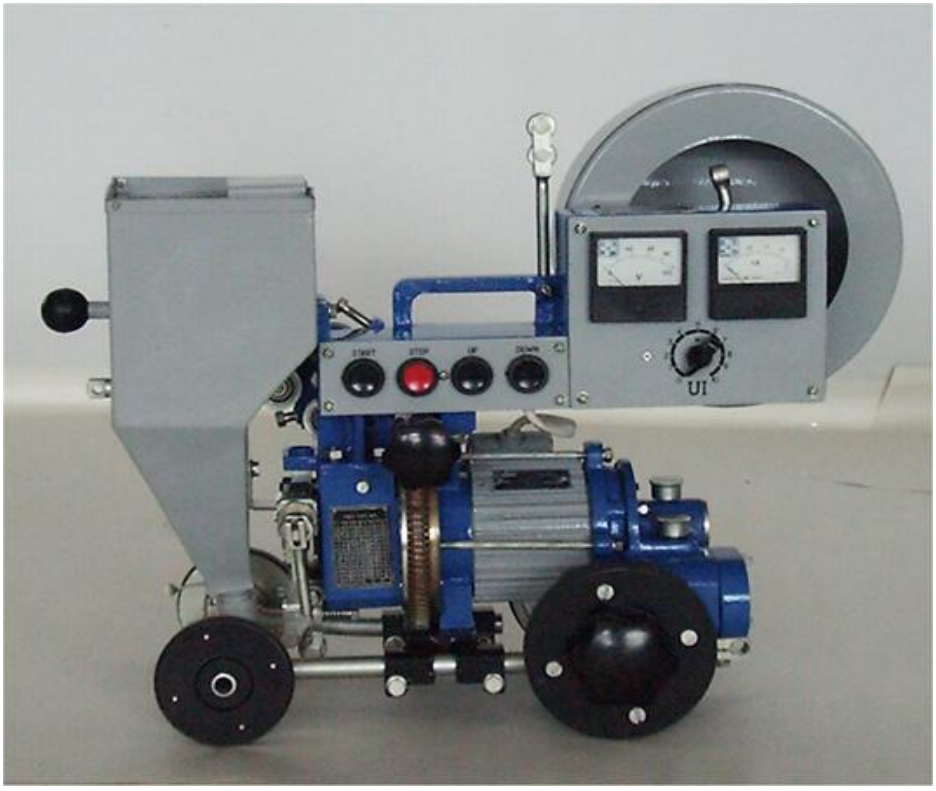


Рисунок 21 – Сварочный автомат КА-001

Сварочный автомат КА–001 предназначен для сварки под слоем флюса соединений встык с разделкой и без разделки кромок, для сварки угловых швов вертикальным и наклонным электродом, а также нахлесточных швов. Швы могут быть прямолинейными и кольцевыми. Автомат в процессе работы передвигается по изделию или по уложенной на нем направляющей линейке. Технические характеристики сварочного автомата указаны в таблице 22.

Таблица 22 – Техническая характеристика трактора КА–001

Техническая характеристика	Значение параметра
1	2
Номинальное напряжение сети, В	3×380
Частота тока питающей сети, Гц	50
Номинальный сварочный ток, А (ПВ, 5%)	1000
Диапазон регулирования сварочного тока, А	250…1250
Диапазон регулирования сварочного напряжения, В	20…56
Количество электродов	1
Диаметр сплошной электродной проволоки, мм	3,0…5,0

Продолжение таблицы 22

1	2
Диапазон ступенчатого регулирования скорости подачи электродной проволоки, м/ч	49,0…404,0
Диапазон ступенчатого регулирования скорости сварки, м/ч	17,0…110,0
Регулировка угла наклона электрода (мундштука), град, ручное	± 45
Флюсоаппаратура, объем, дм^3	6,0
Масса, кг	46
Габаритные размеры, мм	770,0×380,0×565,0

Сварочный автомат КА–001 поставляется с блоком управления для источника питания типа ВДУ–1250 представленном на рисунке 22.

Рисунок 22 – Сварочный выпрямитель ВДУ–1250

Сварочный выпрямитель ВДУ–1250 предназначен для комплектации автоматов для сварки и наплавки под слоем флюса и в среде зашитого газа, его технические характеристики указаны в таблице 23.

Таблица 23 – Техническая характеристика ВДУ–1250

Наименование параметра	Значение параметра
U питающей сети, В	3×380
Номинальный сварочный ток, А	1250
Пределы регулирования сварочного тока, А	150…1250
Номинальное рабочее напряжение, В	44
Напряжение холостого хода, В	55
Потребляемая мощность, кВт	73
Габаритный размеры, мм	790,0×610,0×410,0
Масса, кг	520

Для механизированной сварки в среде CO_2 принимаем сварочный полуавтомат Сварог *MIG* 500 *DSPJ*77, представленный на рисунке 23.

Рисунок 23 – Сварочный полуавтомат Сварог *MIG* 500 *DSPJ*77

MIG 500 *DSP* (*J*77) – один из самых мощных и самых оснащённых аппаратов для механизированной сварки «Сварог». Может использоваться для полуавтоматической сварки в активных и инертных газах, сплошной и

порошковой проволокой на постоянном и переменном токе, а также для ручной дуговой сварки покрытыми электродами.

Отличительной чертой данного аппарата является ширина диапазона свариваемых материалов. Данный аппарат может быть использован не только для сварки сталей, но и для сварки сплавов алюминия, титана и многих других благодаря возможности сварки на переменном токе с задаваемыми значениями сварочного тока, напряжения дуги и даже баланса полярности. Управление режимом сварки осуществляется как с источника питания, на котором расположена сенсорная панель, так и с подающего механизма.

«Сварог» *MIG* 500 *DSP (J*77) имеет самый широкий диапазон регулировок и самый богатый набор дополнительных функций среди полуавтоматов «Сварог». Аппарат может дополнительно оснащаться станцией водяного охлаждения горелки и водоохлаждаемой горелкой соответственно, кабелями соединения подающего механизма и источника питания длиной до 40 м.

Технические характеристики полуавтомата представлены в таблице 24.

Таблица 24 – Технические характеристики сварочного полуавтомата Сварог *MIG* 500 *DSPJ*77

Наименование параметра	Значение параметра
1	2
Напряжение питающей сети, В	380±10%
Частота питающей сети, Гц	50/60
Потребляемая мощность, кВт	27
Потребляемый ток, А	37,5
Сила тока, А	20…500
Сварочный ток MIG/MMA, А	30…500 / 20…500
Сварочный ток TIG, А	10…500
Диапазон рабочего напряжения, В	20…499
Напряжение холостого хода, В	73
Скорость подачи проволоки, м/мин	1,0…18,0
Диаметр сварочной проволоки, мм	0,8…1,6
Допустимый вес катушки, кг	15

Продолжение таблицы 25

1	2
Количество роликов, шт.	4
ПВ, %	60
ПВ 100%, А	380
Коэффициент мощности	0,85
КПД, %	85
Класс изоляции	F
Степень защиты	IP21S
Габаритные размеры, мм	650×350×600
Вес, кг	26

Преимущества: используются новейшие инверторные технологии, обеспечивающие постоянный контроль сварочного тока и входящего напряжения; встроенный блок стабилизатора напряжения, небольшое разбрызгивание металла, отличный перенос сварочной капли; медленная скорость подачи проволоки во время поджига дуги, глубокая сварочная ванна, продувка газом после сварки; лёгкое зажигание дуги; небольшой размер и вес, экономичный и практичный; высокая надёжность в работе, удобство в эксплуатации и сервисном обслуживании.

Отличительными особенностями данного полуавтомата являются: холостой прогон проволоки; розетка 36 В для подогрева газа и регулировка индуктивности.

В данной работе предлагается использовать для сборки и сварки продольных и кольцевых швов обечайки и сварки обечайки кольцевыми швами с днищами роликовый стенд М61071, изображённый на рисунке 24.

Рисунок 24 – Роликовый стенд М61071

Также для сварки используется велосипедная тележка ВТ-3, изображённая на рисунке 25.

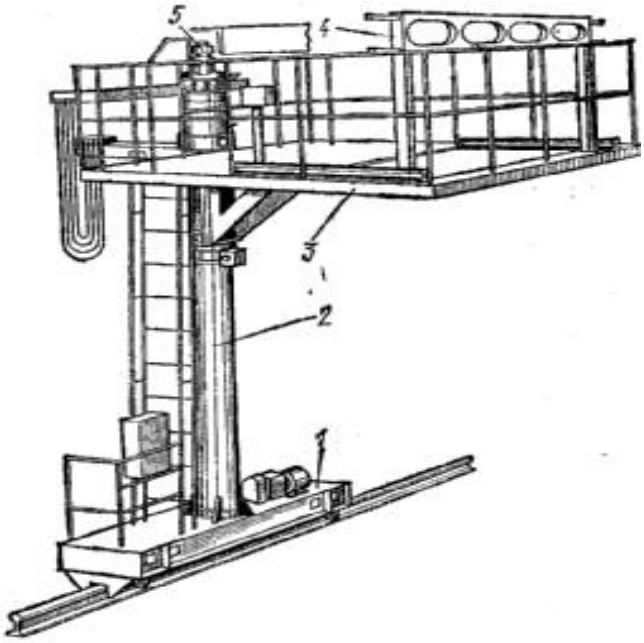


Рисунок 25 – Велосипедная тележка с балконом: 1 – самоходная платформа; 2 – стойка; 3 – балкон; 4 – направляющая для сварочного аппарата; 5 – верхний ролик

Все сварные соединения выполняются на роликовых опорах. Принимаем роликовый вращатель М61071. Роликовый стенд предназначен для вращения длинных цилиндрических изделий при автоматической сварке продольных и кольцевых швов. Его технические характеристики указаны в таблице 25.

Роликовый стенд предназначен для вращения цилиндрических изделий с маршевой скоростью с целью их установки в удобное положение для сборки и сварки продольных швов, а также со сварочной скоростью при различных видах сварки кольцевых швов.

Вращатель состоит из одной приводной и одной неприводной секций, устанавливаемых на фундамент.

Приводная секция представляет собой раму, на которой установлены две приводные роликоопоры, каждая из которых имеет свой привод вращения. Управление приводами осуществляется от общего шкафа управления, закреплённого на раме.

Таблица 25 – Технические характеристики роликового вращателя М61071

Наименование параметров	Значения
1	2
Крутящий момент на оси вращения приводных роликов, Н·м, не менее	2000,0
Наибольшая грузоподъёмность, кг	20000,0
Наружный диаметр роликов, мм	400,0
Диаметр свариваемых изделий, мм.	
Наибольший, мм	4000,0
Наименьший, мм	400,0
Угловой люфт приводного ролика, градусы, не более (не более 3 мм на радиус 200 мм)	0,8
Скорость вращения приводных роликов, об/мин	
Наименьшая, не более	0,075
Наибольшая, не менее	2,5
что при ролике диаметром 400 мм соответствует скорости вращения изделия, м/с	
Наименьшей	0,0016

Продолжение таблицы 25

1	2
Наибольшей (маршевой)	0,0523
Количество приводных секций, шт.	1
Количество неприводных секций, шт.	1
Габаритные размеры Д×Ш×В, мм	
Приводной	3350,0×695,0×560,0
Неприводной	2684,0×530,0×560,0
Масса, кг	1310
Род тока питающей сети	переменный
Частота тока, Гц	50
Напряжение, В	380
Установленная мощность, кВт, не более	3,0

Не приводная секция представляет собой раму, на которой установлены две неприводные роликоопоры.

Настройка вращателя на заданный диаметр свариваемого изделия производится перемещениям роликоопор на секциях с помощью винтовой передачи до совмещения стрелки на роликоопоре и соответствующим делением на линейке, кроме того, перемещение роликоопоры позволяет уменьшить или ликвидировать осевое перемещение свариваемого изделия.

Это сварочное оборудование предназначено для вращения цилиндрических изделий со сварочной скоростью при автоматической сварке внутренних и наружных кольцевых швов, а также для установки изделий на маршевой скорости в положение, удобное для ручной и полуавтоматической сварки. С помощью вращателей достигается рациональное расположение сварочного участка, за счет чего сокращается вспомогательное время на сварку до минимума.

Тележки для сварки кольцевых швов (для несамоходных сварочных аппаратов) и кольцевых и коротких прямолинейных швов (для самоходных аппаратов) имеют только маршевую скорость перемещения. Тележки для сварки кольцевых и длинных прямолинейных швов имеют наряду с маршевой и рабочую (сварочную) скорость перемещения.

Велосипедная тележка перемещается по двум рельсам, расположенным в вертикальной плоскости один над другим. Велосипедную тележки монтируют из колонн, устанавливаемых на самоходные двухколесные платформы, перемещающиеся по верхнему (направляющему) рельсу, удерживающие тележку от опрокидывания. Эта тележка занимает сравнительно небольшую производственную площадь, но может располагаться только у стены цеха, так как при её размещении в середине пролёта требуется устройство специальной металлоконструкции для крепления верхнего рельса. В некоторых случаях верхний рельс закрепляют на цеховых колоннах. Этот способ может быть применён только при достаточной жёсткости колонн, так как в противном случае, при проходе мостового крана, колебания колонн будут передаваться сварочному аппарату, что снизит качество шва.

Технические характеристики велотележки ВТ–3 приведены в таблице 26.

Таблица 26 – Технические характеристики велотележки ВТ–3

Параметры	Значения
Высота уровня сварки, мм	2200,0…4800,0
Расстояние между осями стойки и электрода, мм	2240,0…2440,0
Наибольшая длина швов, мм	2500,0
Скорость перемещения тележки, м/мин: Маршевая	 10
Габаритные размеры, мм	4500×3900×7000
Масса, кг	5300

Проведём расчёт скорости вращения обечайки.

Скорость сварки находим по формулам из расчёта режимов сварки:

$$x_{\text{СВ}} = 33…38 \text{ м/ч} \approx 0{,}6 \text{ м/мин}$$

Формула, связывающая линейное и вращательное движение:

$$x_{\text{СВ}} = \text{щ}\, R, \qquad (9.1)$$

где ω – угловая скорость вращения обечайки, об/мин;

R – радиус обечайки, мм.

Тогда формула скорости вращения обечайки на роликовом стенде будет выглядеть следующим образом:

$$\omega = \frac{\upsilon_{СВ}}{R}, \quad (9.2)$$

Подставляем полученные значения в формулу:

$$\omega = \frac{0,6}{1} = 0,6 \text{ об/мин}$$

Таким образом, роликовый стенд обеспечивает вращение обечайки со сварочной скоростью для сварки кольцевых швов, так как это значение входит в диапазон допустимых скоростей вращения роликов (0,075…2,5 об/мин).

Устройства с флюсовыми полушками для сварки кольцевых швов. Эти устройства предназначены для сварки внутренних швов и, следовательно, располагаются снаружи, под изделием. По исполнению устройства делят на передвижные и стационарное. Передвижные устройства универсальные, широкого назначения, применяют для различных изделий при единичном и мелкосерийном производстве. Стационарные устройства используют в массовом и крупносерийном производствах, они обычно специализированы для сварки одного или нескольких однотипных изделий.

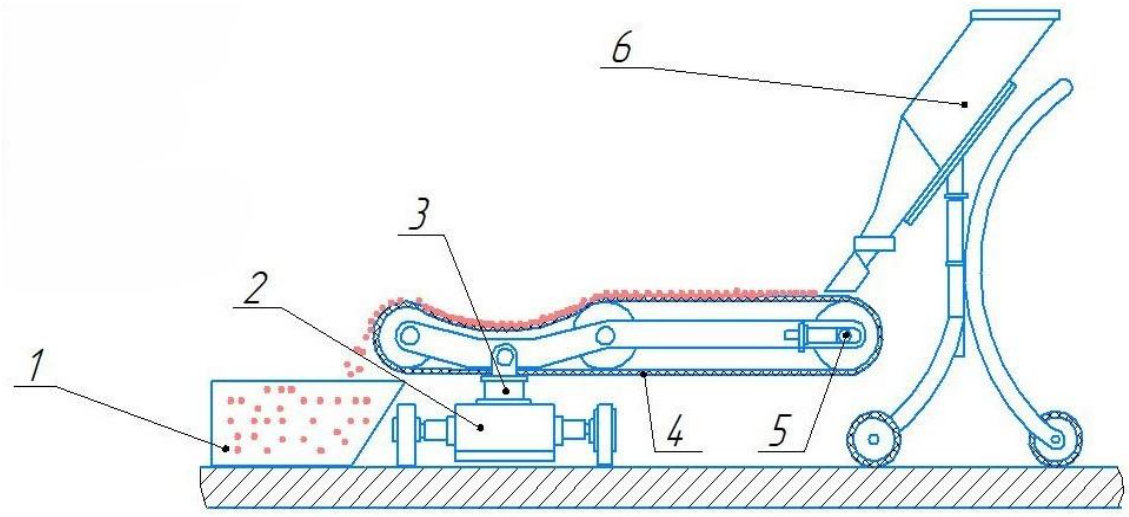


Рисунок 26 – Передвижная подушка ФК-1:1 – ящик; 2 – тележка; 3 – пневмоцилиндр; 4 – лента; 5 – натяжное устройство; 6 – бункер.

Для сварки внутренних кольцевых швов в основном применяют подушки ременного типа. На рисунке 26, изображена передвижная подушка ФК–1, состоящая из тележки 2, на которой расположен пневмоцилиндр 3 с шарнирно закреплённой на нем рамой 4. На барабанах рамы натянута бесконечная замкнутая лента 5 с бортами. Натяжение ленты обеспечивает натяжное устройство 6. Подушка может передвигаться по рельсовому пути, расположенному между роликоопорами сварочного стенда; для передвижения раму подушки устанавливают вдоль продольной оси стенда.

Перед сваркой раму поворачивают поперек стенда и опускают в нижнее положение. После установки изделия раму поднимают, и лента вместе с насыпанным на нее флюсом прижимается пневмоцилиндром снизу к свариваемому стыку. При вращении изделие трением увлекает ленту, которая обегает барабаны рамы и непрерывно подаёт свежий флюс к месту сварки. Очередные порции флюса поступают на ленту из бункера 7, а отработанный флюс ссыпается в ящик 1. Подушка предназначена для изделий диаметром 0,75 – 3,5 м. Способ поджатия флюса к изделию, а также подъёма и опускания подушки с помощью пневмоцилиндров получил широкое распространение и применяется почти во всех конструкциях подушек для кольцевых швов. Технические характеристики подушки ФК–1 приведены в таблице 27.

Таблица 27 – Технические характеристики подушки ФК-1

Параметры	Значения
Масса сварочного флюса, кг	200
Потребляемая мощность, кВт	1,2
Напряжение сети, В	380
Масса, кг	700

Устройство с флюсовыми подушками для сварки прямолинейных швов. Эти устройства применяют в основном для сварки прямолинейных швов плоских конструкций и продольных швов обечаек. Так же, как и для кольцевых швов, устройства бывают стационарными и передвижными. Как в устройствах для кольцевых швов, поджатие подушек с флюсом к изделию в устройствах для

прямолинейных швов достигается в основном сжатым воздухом. Если для кольцевых швов обычно применяют пневмоцилиндры, то для прямолинейных, где требуется поджатие по всей длине шва, целесообразны пневмошланги.

На рисунке 27 изображено устройство *VABS* ФП–3 предназначены для удержания и поджатия флюсовой подушки при сварке продольных сварных швов обечаек с целью обеспечения качества сварного шва и минимизации потерь флюса.

Рисунок 27 – Подушка *VABS* ФП–3 для сварки продольных сварных швов обечаек

Технические характеристики подушки *VABS* ФП-3 приведены в таблице 28.

Таблица 28 – Технические характеристики подушки *VABS* ФП–3

Параметры	Значения
Масса сварочного флюса, кг	150
Потребляемая мощность, кВт	1,3
Напряжение сети, В	380
Масса, кг	640

Преимущества:

– Обеспечивает простоту, надежность и безопасность выполнения работ.

– Обеспечивает эффективное использование сварочного флюса и не требует частого пополнения.

– Исключает просыпание флюса за пределы флюсовой подушки.

– Обеспечивает надёжное и плотное поджатие флюса к стыку деталей по всей длине шва.

– Работает от поста раздачи сжатого воздуха.

10 Контроль качества сварных соединений

Контроль качества сварных соединений включает в себя проверку качества свариваемого металла и материалов для сварки. Кроме этого, контролируют подготовку сварных кромок и сборку свариваемых деталей, исправность оснастки для сварки, сварочного оборудования и приборов. Кроме этого, необходимо провести испытания стали на свариваемость, которые включают в себя механические испытания, металлографический анализ и испытания на вероятность образования холодных трещин и горячих трещин при сварке.

Для контроля сварных соединений воздухосборника выбираем следующие методы контроля:

– визуально-измерительный контроль (ВИК);

– ультразвуковой контроль;

– гидравлические испытания;

– капиллярный контроль;

– испытания на статический изгиб;

– испытания на ударный изгиб;

– испытания на статическое растяжение.

Внешнему осмотру и измерениям подвергаются все сварные соединения конструкции, независимо от способов сварки, назначения и ответственности швов. Перед тем как преступить к визуально-измерительному контролю сварной шов и прилегающую к нему поверхность металла зачищают по обе стороны на ширину не менее 20 мм, чтобы шлак и иные загрязнения не затрудняли осмотр.

Для ВИК размеров сварных соединений используем специальные шаблоны или иной измерительный инструмент для проверки геометрических размеров шва. По ГОСТ 34347–2017 [10] сварной шов подвергается визуально-измерительному контролю по всей длине. По СТО 9701105632–003–2021 [31] в сварном шве визуально контролируем:

– отсутствие или наличие трещин;

– отсутствие или наличие дефектов в виде пор, прожогов, отслоений, наплывов, усадочных раковин, включений, свищей, подрезов, непроваров, брызг расплавленного металла, западаний между валиками, грубой чешуйчатости;

– качество зачистки металла на месте приварок временных креплений, отсутствие дефектов зачищенной поверхности;

– качество зачистки поверхности шва и околошовных зон под последующий контроль неразрушающими методами;

– наличие клейма шва и правильности его выполнения.

По СТО 9701105632–003–2021 [31] в сварном шве измерениями контролируем: – размеры катета углового шва;

– подрезы (длину и глубину) основного металла;

– высоту углублений между валиками и чешуйчатость поверхности;

– вогнутость и выпуклость обратной стороны шва;

– размеры шва и выявленных дефектов.

Визуально-измерительный контроль проводим для всех сварных швов в объеме 100 %.

Ультразвуковой контроль регламентируется по ГОСТ Р 55724–2013 [32] и производятся в соответствии СТО 00220256–005–2005 [33]. Суть ультразвукового метода контроля заключается в излучении и принятии отраженных ультразвуковых колебаний.

Для принятия ультразвуковых колебаний используют специальное оборудование – ультразвуковой дефектоскоп и пьезоэлектропреобразователь. После анализируют полученные данные для определения возможных дефектов. Процесс проведения ультразвуковой дефектоскопии проводят в следующей последовательности:

– очищаем сварной шов и околошовную зону на расстояние от 50 до 70 мм от шва, с двух сторон;

– шов и околошовную поверхность обрабатываем солидолом, машинным маслом или глицерином;

– производим настройку прибора для контроля сварных соединений толщиной не более 20 мм;

– искатель перемещаем вдоль шва по зигзагообразной траектории, стараясь повернуть вокруг оси на 10…15°;

– с появлением устойчивого сигнала на дисплее прибора в зоне проведения УЗК искатель максимально разворачиваем и продолжаем поиск до тех пор, пока не появится сигнал с максимальной амплитудой;

– проводят уточнение вызвана ли максимальная амплитуда колебаний отражением волны от швов, если да, то продолжают искать сигнал с наибольшей амплитудой;

– фиксируем дефект и записываем его координаты;

– координаты зафиксированных дефектов заносим в таблицу, для их повторного обнаружения и устранения. Контроль для данных соединений при толщине металла 6 мм выполняем за один проход.

С помощью УЗК возможно выявить поры, непровары, участки с несоответствием химического состава, участки с искажением геометрического размера зоны, поражённые коррозией, провисание металла в нижней зоне сварного шва, дефекты свищеобразного характера, несплошности и несплавления металла, а также расслоение наплавленного металла. Ультразвуковой контроль проводим для продольных и кольцевых сварных швов в объёме 100 %.

Испытания на герметичность регламентируются по ГОСТ 34347–2017 [10], ГОСТ 3242–79 [34] и производятся в соответствии с РД 24.200.11–90 [35]. Суть гидравлического контроля – сварную конструкцию наполняют водой, при помощи насоса создают давление до двух раз превышающее рабочее и выдерживают конструкцию под давлением на протяжении от 5 до 10 минут. После создания пробного гидравлического давления сварные швы конструкции осматривают с целью выявления утечки воды, выноса капель и отпотевании. После обнаружения утечек давление в конструкции сбрасывают, и вода откачивается обратно.

Гидравлический контроль проводим для сварных швов №1, №2, №3, №5 в объёме 100 %.

Механические испытания регламентируются по ГОСТ 6996–66 [36] и РД 26–11–08–86 [37]. Суть испытания на статический изгиб – образец сварного соединения подвергают изгибу сосредоточенной нагрузкой в месте сварного шва, при этом в верхней части сварного шва возникает сжимающее напряжение, а в нижней растягивающие.

Для испытания на статический изгиб образец должен быть сварен на режимах сварки, принятых для сварного соединения;

– в аналогичных условиях;

– с использованием таких же сварочных материалов и оборудования;

– сварщиком, который будет варить сварной шов на изделии. Суть испытания на статическое растяжение;

– образец сварного соединения подвергают растяжению на специальном оборудовании до его разрушения. При этом определяют предел прочности и предел текучести, а также точку разрушения. Для испытания на статическое растяжение образец должен быть выполнен аналогично образцу для статического изгиба.

Суть испытания на ударный изгиб-образец должен свободно лежать на опорах копра. Установка образца должна производиться с помощью шаблона, обеспечивающего симметричное расположение концентратора относительно опор с погрешностью не более ±0,5мм. При использовании торцовых ограничителей последние не должны мешать образцам свободно деформироваться. Испытание должно проводиться при ударе маятника со стороны, противоположной концентратору, в плоскости его симметрии. Работу удара определяют по шкале маятникового копра или аналоговых отсчетных устройств. Испытания необходимо производить не менее чем на трех образцах.

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 показали неудовлетворительные результаты. Механические испытания проводим для продольных и кольцевых швов сварных швов в объёме 100 %.

Контроль капиллярным методом выполняют согласно требованиям СТО 0020256–035–2021 [38] и ГОСТ 18442–80 [39]. Суть метода капиллярной дефектоскопии основана на проникновении специальных веществ в наружные слои шва под действием атмосферного давления, последующая обработка проявителем увеличивается цветоконтрастность дефектного участка с выявлением качественного и количественного состава повреждений. Процесс проведения цветного метода капиллярной дефектоскопии проводим в следующей последовательности: – предварительная очистка поверхности с помощью очистителя; – нанесение пенетранта; – удаление излишков; – нанесение проявителя; – выявление дефектов; – очистка поверхности. Капиллярная дефектоскопия используется для выявления поверхностных дефектов малых размеров, которые определить с помощью визуально-измерительного контроля не представляется возможным. В результате капиллярной дефектоскопии выявляются трещины, свищи, раковины, поры, непровары, межкристаллическая коррозия и т.д. Назначаем согласно СТО 0020256–035–2021 [38] и ГОСТ 18442–80 [39] цветной метод капиллярной дефектоскопии для сварного шва №5 в объёме 100 %.

Заключение

В выпускной квалификационной работе была произведена разработка технологии сборки и сварки корпуса одоранта. В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были решены задачи по:

– расчёту толщины стенок днища и обечайки;

– методике выбора основных и сварочных материалов;

– расчету режимов и выбору оборудования и средств технологического оснащения;

– разработке технологического процесса сборки и сварки резервуара;

– проектирования и расчёту средств автоматизации технологического процесса: роликового вращателя М61071;

– контролю качества сварных соединений.

В ходе выполнения ВКР разработан новый технологический процесс, по которому корпус резервуара изготавливается с учётом новейших достижений в области сварочного производства с использованием современной автоматизированной оснастки и приспособлений и внедрение в технологический процесс роботизированных систем. В совокупности это позволяет создавать как роботизированные решения и как следствие уменьшить количество рабочих в цеху.

Производство сварных корпусов отвечает ГОСТов и руководящих документов. Новые разработки и технологические решения в технологическом процессе сборки и сварки корпуса резервуара повысили важнейшие показатели качества произведённой продукции, конкурентоспособность. Новые решения позволили снизить стоимость, уменьшить их материалоемкость и трудоёмкость изготовления корпусов резервуара.

Список использованных источников

1. **Акулов, А.И. Технология и оборудование сварки плавлением** [Текст]: учеб. для вузов / А.И. Акулов, Г.А. Бельчук, В.П. Демянцевич. – М.: Машиностроение, 1977. – 432 с.

2. **Сварка и резка в промышленном строительстве** [Текст]: справочник строителя в 2-х т. / Б.Д. Малышев [и др.]. – М.: Стройиздат, 1989. – 590 с.

3. **Блинов, А.Н. Сварные конструкции** [Текст]: учеб. для техникумов / А.Н. Блинов, К.В. Лялин. – М.: Стройиздат. – 1990. – 353 с.

4. **Единая система технологической документации (ЕСТД). Общие положения (с Поправкой)** [Текст]: ГОСТ 3.001–2011. – Введ. 2012–01–01. – М.: Стандартинформ, 2011. – 10 с.

5. **Способ многодуговой сварки под флюсом** [Текст]: Россия, *B* 23 *K* 9/18, *B* 23 *K* 101/06 *RU* 2681070 / Исигами, Ацуси, Хаякава, НаояДжФе [и др.]; заявитель и патентообладатель «Стил Корпорейшн». № 2005103201/23; заяв. 07.02.2005, опубл. 27.06.2006. – 8 с: ил.

6. **Стенд для сварки цилиндрической обечайки с днищем** [Текст]: пат.541215 С1 Рос. Федерация: МПК *B*23*K* 37/04 / Ибрагимов Наиль Габдулбариевич (RU), Швецов Михаил Викторович (*RU*) [и др.]; заявитель и патентообладатель заявитель и патентообладатель Публичное акционерное общество «Татнефть» им. В.Д. Шашина. № 2005103101/22; заяв. 07.02.2005, опубл. 27.06.2005. – 8 с: ил.

7. **Роликовый стенд для совмещения обечайки с обечайкой и обечайки с днищем** [Текст]: пат. 2541215 Рос. Федерация: МПК *B*23*Q*3/152, *B*23*Q*3/06, *B*23*Q*7/05, *B*23*K*37/04, *B*23*K*101/12 / Ибрагимов Н.Г., Швецов М.В., Талыпов Ш.М. [и др.]; заявитель и патентообладатель Публичное акционерное общество «Татнефть» им. В.Д. Шашина. – № 2013143488/02; заяв. 26.09.2013, опубл. 10.02.2015, Бюл. № 4. – 11 с: ил.

8. **Способ сварки неплавящимся электродом в среде защитных газов** [Текст]: пат. 2609600 Рос. Федерация: МПК *B*23*K* 31/02 / Краснов Дмитрий

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

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

10. Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия [Текст]: ГОСТ 34347–2017.

11. Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 12. Классификация смесей газов и паров с воздухом по безопасным экспериментальным максимальным зазорам и минимальным воспламеняющим токам [Текст]: ГОСТ 30852.11–2002.

12. Прокат повышенной прочности. Общие технические условия [Текст]: ГОСТ 19281–2014.

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

14. Лапы опорные подвесных вертикальных сосудов и аппаратов. Основные размеры [Текст]: ГОСТ 26296–84. – Введ. 1985-07-01. – М.: Издательство стандартов, 1984. – 16 с.: ил.

15. Корпуса цилиндрические стальных сварных сосудов и аппаратов. ГОСТ 9931–85. Типы, основные параметры и размеры. Дата введения в действие: 01.01.1987.

16. Грунтовки ФЛ–03К и ФЛ–03Ж. Технические условия [Текст]: ГОСТ 9109–81.

17. Резервуары стальные горизонтальные для нефтепродуктов. Технические условия [Текст]: ГОСТ 17032–2022. – Введ. 2022–01–09. – I, 7 с.

18. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования [Текст]: ГОСТ 34233.1–2017.

19. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек [Текст]: ГОСТ 34233.2–2017.

20. Прокат листовой горячекатаный. Сортамент [Текст]: ГОСТ 19903–2015.

21. Нормирование расхода материалов [Текст]: ГОСТ 14.322–83. – Введ. 1984–01–01. – М.: Стандартинформ, 2009. – I, 6 с.

22. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования [Текст]: ГОСТ 34233.3–2017. – Введ. – 2018-08-01. – М.: Государственный комитет по стандартам, 1985. – II, 39 с.: ил.

23. Штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных. Типы, основные параметры, размеры и общие технические требования [Текст]: АТК 24.218.06–90.

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

25. Сварные соединения приварки люков, штуцеров и муфт. Основные типы, конструктивные элементы и размеры [Текст]: РД 26–18–8–89.

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

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

28. Национальный стандарт Российской Федерации. Флюсы сварочные плавленые для автоматической сварки Технические условия. [Текст]: ГОСТ Р 52222–2004 Группа В05. – Введ. 2005-01-01.

29. Двуокись углерода газообразная и жидкая. Технические условия [Текст]: ГОСТ 8050–85. – Введ. 1987–01–01. – М.: Издательство стандартов, 1995. – II, 22 с.

30. Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры (с Изменениями N 1, 2, 3) [Текст]: ГОСТ 14771–76.

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

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

33. Швы стыковых, угловых и тавровых сварных соединений сосудов и аппаратов, работающих под давлением. Методика ультразвукового контроля [Текст]: СТО 00220256–005–2005. – Введ. 2022–05–06.

34. Соединения сварные. Методы контроля качества [Текст]: ГОСТ 3242–79. – Введ. 1981–01–01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 9 с.

35. Сосуды и аппараты, работающие под давлением. Правила и нормы безопасности при проведении гидравлических испытаний на прочность и герметичность [Текст]: РД 24.200.11–90. – Введ. 1991–01-07.

36. Сварные соединения. Методы определения механических свойств [Текст]: ГОСТ 6996–66. – Введ. 1967–01–01. – М.: Стандартинформ, 2005. – 83 с.

37. Сварные соединения. Механические испытания [Текст]: РД 26–11–08–86. – Введ. 1987–01–01. – Волгоград: Министерство химического и нефтяного машиностроения, 1986. – 26 с.

38. Инструкция по контролю сварных соединений, недоступных для проведения радиографического и ультразвукового контроля [Текст]: СТО 0020256–035–2021. – Введ. 2021–01–09.

39. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования [Текст]: ГОСТ 18442–80. – Введ. 1981–01–07. – М.: Издательство стандартов, 1987. – 56 с.

40. Проволока стальная сварочная. Технические условия (с Изменениями N 1-5) [Текст]: ГОСТ 2246–70.

41. Флюсы сварочные плавленые. Технические условия (с Изменениями N 1, 2) [Текст]: ГОСТ 9087–81.

42. Двуокись углерода газообразная и жидкая. Технические условия (с Изменениями N 1, 2, с Поправкой) [Текст]: ГОСТ 8050–85.

Приложение А

Карты технологического процесса сварки

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ № 1

Таблица 1 – Характеристики процесса

№ п\п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ 34347–2017
2	Способ сварки	АФф
3	Основной материал (марки)	09Г2С
4	Основной материал (группа)	1 (МО1)
5	Сварочные материалы	Сварочная проволока Св-08ГА по ГОСТ 2246–70 Флюс АН-348А по ГОСТ Р 52222–2004
6	Толщина свариваемых деталей	10,0 мм
7	Длина деталей в зоне сварки	2100,0 мм
8	Тип шва	СШ
9	Тип соединения	С29 ГОСТ 8713–79
10	Вид шва соединения	дс, зк
11	Форма подготовки кромок	Без скоса кромок
12	Положение при сварке	Н1
13	Режимы подогрева	Отсутствует
14	Режимы термообработки	Отсутствует
15	Дополнительные параметры	Нет

Таблица 2 – Конструкция соединения, конструктивные элементы шва

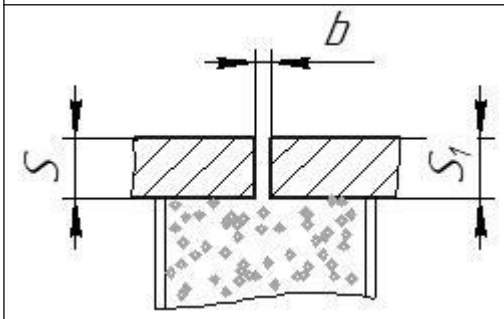
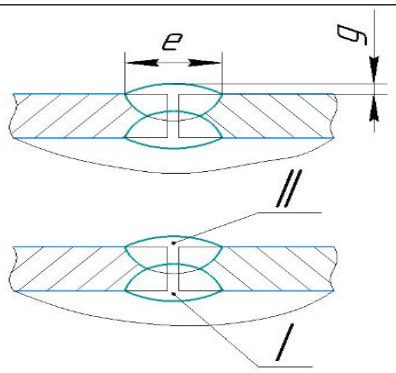
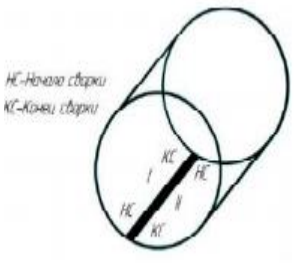
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

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

Параметр	*S=S1*	*N*	*b*	*e*	*g*
Значение	10,0	2	1,0…3,0	не более 19,0	0,5…3,0

16. Сварочное оборудование (тип): А3 совместно с А10. Универсальный сварочный выпрямитель – ВДУ-1250; сварочный трактор – КА-001

17. Технологические параметры сварки:

Таблица 4 – Технологические параметры сварки

Номер слоя (валика)	Диаметр сварочной проволоки, мм	Род тока, полярность	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Величина вылета проволоки, мм	Скорость подачи сварочной проволоки, м/ч
Шов № 1	3,0	по	540,0… 580,0	35,0… 37,0	25,0… 35,0	25,0… 30,0	170,0… 180,0
Шов № 2	3,0	по	540,0… 580,0	35,0… 37,0	25,0… 35,0	25,0… 30,0	170,0… 180,0

18. Технологические требования к сварке:

18.1. Перед сборкой под сварку кромки и прилегающие к ним зоны основного металла должны быть очищены от загрязнений, масел и прочих загрязнений на ширине не менее 50 мм.

18.2. Собрать и прихватить. Прихватки выполняет аттестованный сварщик.

18.2.1 Прихватки выполняются механизированной сваркой в среде защитных газов. Сварочные материалы: Св-08Г2С по ГОСТ 2246–70, защитный газ – двуокись углерода по ГОСТ 8050–85. Режимы сварки: диаметр сварочной проволоки

2,0 мм; постоянный ток обратной полярности; сварочный ток 160…180 А; напряжение дуги 28…32 В; вылет электродной проволоки 20…25 мм.

18.2.2 Провести визуальный контроль прихваток после их очистки. Прихватки, имеющие дефекты, должны быть удалены механическим путем и заварены вновь с последующим контролем. Требования к прихватке: длина каждой прихватки должна составлять от 20 до 30 мм; толщина прихваток от 3 до 5 мм; расстояние между прихватками от 300 до 400 мм.

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

18.4. Выбрать корень шва до чистого металла.

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

18.6. Провести визуальный и измерительный контроль шва.

Таблица 5 – Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный	СТО 9701105632-003-2021	СТО 9701105632-003-2021	100 %
Измерительный			100 %
Ультразвуковой	ГОСТ Р 55724–2013 СТО00220256–005–2005	СТО 00220256–005–2005	100 %
Гидравлический	РД 24.200.11–90	ГОСТ 34347–2017 ГОСТ 3242–79	100 %
Статическое растяжение	РД 26–11–08–86 ГОСТ 6996–66	ГОСТ 6996–66	2 образца
Статический изгиб			2 образца
Ударный изгиб			2 образца

Разработал: _____ */Бондарчук Р.С./*

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ № 2

Таблица 1 – Характеристики процесса

№ п\п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ 34347–2017
2	Способ сварки	АФф
3	Основной материал (марки)	09Г2С
4	Основной материал (группа)	1 (МО1)
5	Сварочные материалы	Сварочная проволока Св-08ГА по ГОСТ 2246–70 Флюс АН-348А по ГОСТ Р 52222–2004
6	Толщина свариваемых деталей	10,0 мм
7	Длина деталей в зоне сварки	2100,0 мм
8	Тип шва	СШ
9	Тип соединения	С29 ГОСТ 8713–79
10	Вид шва соединения	дс, зк
11	Форма подготовки кромок	Без скоса кромок
12	Положение при сварке	Н1
13	Режимы подогрева	Отсутствует
14	Режимы термообработки	Отсутствует
15	Дополнительные параметры	Нет

Таблица 2 – Конструкция соединения, конструктивные элементы шва

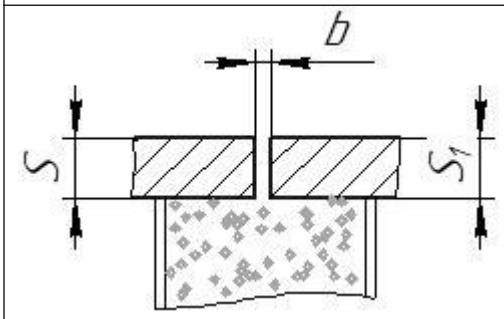
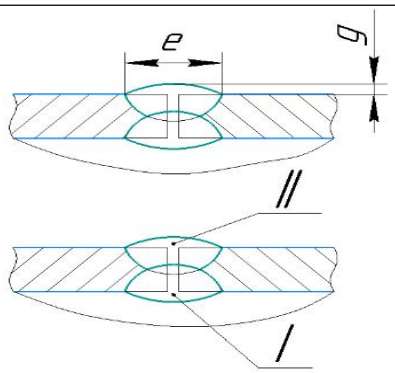
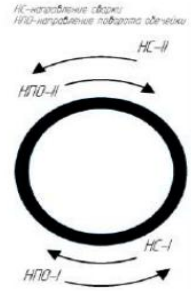
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

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

Параметр	$S=S_1$	*N*	*b*	*e*	*g*
Значение	10,0	2	1,0…3,0	не более 19,0	0,5…3,0

16. Сварочное оборудование (тип): А3 совместно с А10. Универсальный сварочный выпрямитель – ВДУ-1250; сварочный трактор – АДФ-1002.

17. Технологические параметры сварки:

Таблица 4 – Технологические параметры сварки

Номер слоя (валика)	Диаметр сварочной проволоки, мм	Род тока, полярность	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Величина вылета проволоки, мм	Скорость подачи сварочной проволоки, м/ч
Шов № 1	3,0	по	540,0… 580,0	35,0… 37,0	25,0… 35,0	25,0… 30,0	170,0… 180,0
Шов № 2	3,0	по	540,0… 580,0	35,0… 37,0	25,0… 35,0	25,0… 30,0	170,0… 180,0

18. Технологические требования к сварке:

18.1. Перед сборкой под сварку кромки и прилегающие к ним зоны основного металла должны быть очищены от загрязнений, масел и прочих загрязнений на ширине не менее 50 мм.

18.2. Собрать и прихватить. Прихватки выполняет аттестованный сварщик.

18.2.1 Прихватки выполняются механизированной сваркой в среде защитных газов. Сварочные материалы: Св- 08Г2С по ГОСТ 2246–70, защитный газ – двуокись углерода по ГОСТ 8050–85. Режимы сварки: диаметр сварочной проволоки 2,0 мм; постоянный ток обратной полярности; сварочный ток 280…320 А; напряжение дуги 30…32 В; вылет электродной проволоки 15…25 мм.

18.2.2 Провести визуальный контроль прихваток после их очистки. Прихватки, имеющие дефекты, должны быть удалены механическим путем и заварены вновь с последующим контролем. Требования к прихватке: длина каждой прихватки должна составлять от 20 до 30 мм; толщина прихваток от 3 до 5 мм; расстояние между прихватками от 300 до 400 мм.

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

18.4. Выбрать корень шва до чистого металла.

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

18.6. Провести визуальный и измерительный контроль шва.

Таблица 5 – Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный	СТО 9701105632-003-2021	СТО 9701105632-003-2021	100 %
Измерительный			100 %
Ультразвуковой	ГОСТ Р 55724–2013 СТО00220256–005–2005	СТО 00220256–005–2005	100 %
Гидравлический	РД 24.200.11–90	ГОСТ 34347–2017 ГОСТ 3242–79	100 %
Статическое растяжение	РД 26–11–08–86 ГОСТ 6996–66	ГОСТ 6996–66	2 образца
Статический изгиб			2 образца
Ударный изгиб			2 образца

Разработал: _____*/Бондарчук Р.С./*

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ № 3

Таблица 1 – Характеристики процесса

№ п\п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ 34347–2017
2	Способ сварки	УП
3	Основной материал (марки)	09Г2С
4	Основной материал (группа)	1 (М01)
5	Сварочные материалы	Сварочная проволока Св-08Г2С по ГОСТ 2246–70 Двуокись углерода по ГОСТ 8050–85
6	Толщина свариваемых деталей	10,0 мм
7	Длина деталей в зоне сварки	932,0 мм
8	Тип шва	УШ
9	Тип соединения	У19 РД 26-18-8-89
10	Вид шва соединения	дс, зк
11	Форма подготовки кромок	С разделкой кромок 45 град
12	Положение при сварке	Н2
13	Режимы подогрева	Отсутствует
14	Режимы термообработки	Отсутствует
15	Дополнительные параметры	Нет

Таблица 2 – Конструкция соединения, конструктивные элементы шва

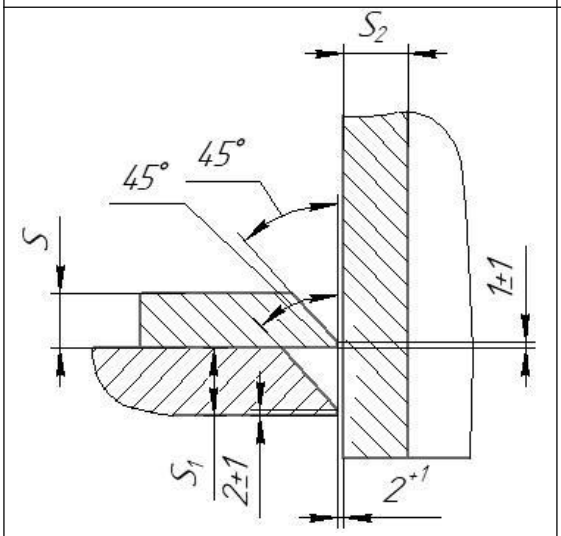
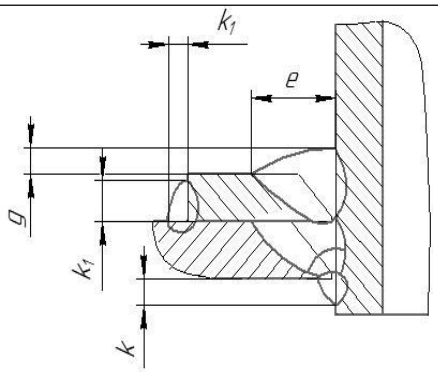
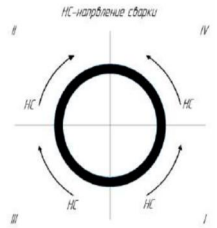
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

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

Параметр	*S*	*S1*	*S2*	*N*	*b*	*e*	*g*	*k*	*k1*
Значение	10,0	10,0	8,0	2	1	20	4	4	8

16. Сварочное оборудование (тип): А10. Сварочный полуавтомат Сварог *MIG* 500 *DSPJ*77

17. Технологические параметры сварки:

Таблица 4 – Технологические параметры сварки

Номер слоя (валика)	Диаметр сварочной проволоки, мм	Род тока, полярность	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Величина вылета проволоки, мм	Скорость подачи сварочной проволоки, м/ч
Шов № 1	2,0	по	280,0… 320,0	28,0… 32,0	6,0… 10,0	15,0… 25,0	170,0… 180,0

18. Технологические требования к сварке:

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

18.2. Собрать и прихватить. Прихватки выполняет аттестованный сварщик.

18.2.1 Прихватки выполняются механизированной сваркой в среде защитных газов. Сварочные материалы: Св- 08Г2С по ГОСТ 2246–70, защитный газ – двуокись углерода по ГОСТ 8050–85. Режимы сварки: диаметр сварочной проволоки 2,0 мм; постоянный ток обратной полярности; сварочный ток 280…320 А; напряжение дуги 30…32 В; вылет электродной проволоки 15…25 мм.

18.2.2 Провести визуальный контроль прихваток после их очистки. Прихватки, имеющие дефекты, должны быть удалены механическим путем и заварены вновь с последующим контролем. Требования к прихватке: длина каждой прихватки должна составлять от 20 до 30 мм; толщина прихваток от 3 до 5 мм; расстояние между прихватками от 50 до 80 мм.

18.3. Выполнить шов согласно чертежу и брызги. Провести визуальный контроль.

18.4. Выбрать корень шва механическим путем.

18.5. Сварить облицовочный шов до чертежных размеров согласно чертежу.

18.6. Провести визуальный и измерительный контроль шва.

Таблица 5 – Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный	СТО 9701105632-003-2021	СТО 9701105632-003-2021	100 %
Измерительный			100 %
Ультразвуковой	ГОСТ Р 55724–2013 СТО00220256–005–2005	СТО 00220256–005–2005	100 %

Разработал: _____ */Бондарчук Р.С./*

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ № 4

Таблица 1 – Характеристики процесса

№ п\п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ 34347–2017
2	Способ сварки	УП
3	Основной материал (марки)	09Г2С
4	Основной материал (группа)	1 (МО1)
5	Сварочные материалы	Сварочная проволока Св-08Г2С по ГОСТ 2246–70 Двуокись углерода по ГОСТ 8050–85
6	Толщина свариваемых деталей	10,0 мм
7	Длина деталей в зоне сварки	3940 мм
8	Тип шва	НШ
9	Тип соединения	Н1 ГОСТ 14771-76
10	Вид шва соединения	ос, бп
11	Форма подготовки кромок	без разделки
12	Положение при сварке	Н1
13	Режимы подогрева	Отсутствует
14	Режимы термообработки	Отсутствует
15	Дополнительные параметры	Нет

Таблица 2 – Конструкция соединения, конструктивные элементы шва

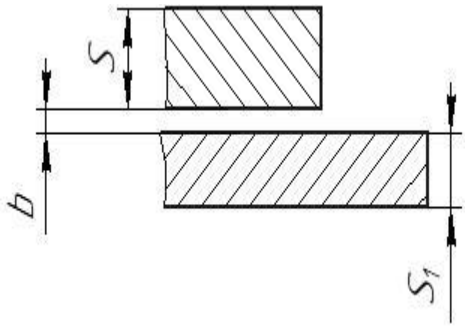
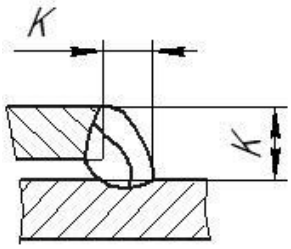
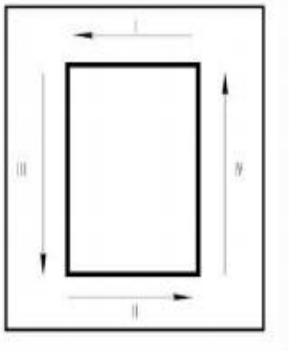
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

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

Параметр	*S*	*S1*	*N*	*b*	К
Значение	10	8	2	0	10

16. Сварочное оборудование (тип): А10. Сварочный полуавтомат Сварог *MIG* 500 *DSPJ*77

17. Технологические параметры сварки:

Таблица 4 – Технологические параметры сварки

Номер слоя (валика)	Диаметр сварочной проволоки, мм	Род тока, полярность	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Величина вылета проволоки, мм	Скорость подачи сварочной проволоки, м/ч
Шов № 1	2,0	по	280,0… 320,0	28,0… 32,0	6,0… 10,0	15,0… 25,0	170,0… 180,0

18. Технологические требования к сварке:

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

18.2. Собрать и прихватить. Прихватки выполняет аттестованный сварщик.

18.2.1 Прихватки выполняются механизированной сваркой в среде защитных газов. Сварочные материалы: Св- 08Г2С по ГОСТ 2246–70, защитный газ – двуокись углерода по ГОСТ 8050–85. Режимы сварки: диаметр сварочной проволоки 2,0 мм; постоянный ток обратной полярности; сварочный ток 280…320 А; напряжение дуги 30…32 В; вылет электродной проволоки 15…25 мм.

18.2.2 Провести визуальный контроль прихваток после их очистки. Прихватки, имеющие дефекты, должны быть удалены механическим путем и заваре- ны вновь с последующим контролем. Требования к прихватке: длина каждой прихватки должна составлять от 20 до 30 мм; толщина прихваток от 3 до 5 мм; расстояние между прихватками от 450 до 550 мм.

18.3. Выполнить корневой шов согласно чертежу, оббить шлак и брызги. Провести визуальный контроль.

18.4. Выбрать корень шва механическим путем.

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

18.6. Провести визуальный и измерительный контроль шва.

Таблица 5 – Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный	СТО9701105632-003-2021	СТО9701105632-003-2021	100 %
Измерительный			100 %
Цветная дефектоскопия	ГОСТ 18442-80	ГОСТ 18442-80	100 %

Разработал: _____ */Бондарчук Р.С./*

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ № 5

Таблица 1 – Характеристики процесса

№ п\п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ 34347–2017
2	Способ сварки	УП
3	Основной материал (марки)	09Г2С
4	Основной материал (группа)	1 (МО1)
5	Сварочные материалы	Сварочная проволока Св-08Г2С по ГОСТ 2246–70 Двуокись углерода по ГОСТ 8050–85
6	Толщина свариваемых деталей	10,0 мм
7	Длина деталей в зоне сварки	304,0 мм
8	Тип шва	УШ
9	Тип соединения	С17 ГОСТ14771-76
10	Вид шва соединения	дс, зк
11	Форма подготовки кромок	С разделкой кромок 40 град
12	Положение при сварке	Н2
13	Режимы подогрева	Отсутствует
14	Режимы термообработки	Отсутствует
15	Дополнительные параметры	Нет

Таблица 2 – Конструкция соединения, конструктивные элементы шва

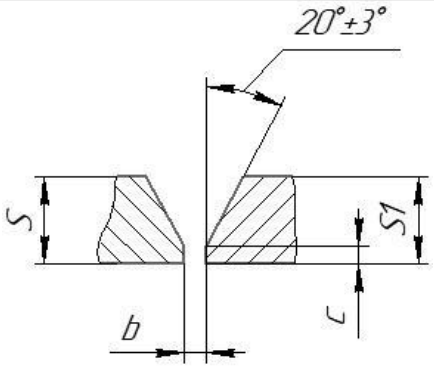
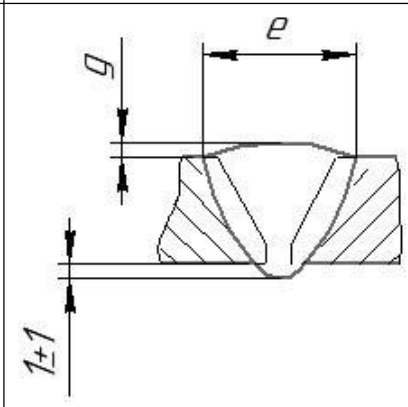
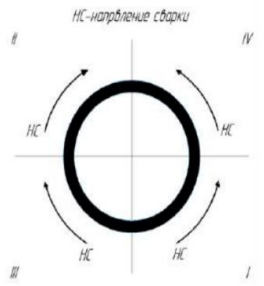
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

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

Параметр	*S*	*S1*	*N*	*b*	*e*	*g*
Значение	10,0	10,0	2	1	10	1

16. Сварочное оборудование (тип): А10. Сварочный полуавтомат Сварог *MIG* 500 *DSPJ*77

17. Технологические параметры сварки:

Таблица 4 – Технологические параметры сварки

Номер слоя (валика)	Диаметр сварочной проволоки, мм	Род тока, полярность	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Величина вылета проволоки, мм	Скорость подачи сварочной проволоки, м/ч
Шов № 1	2,0	по	280,0… 320,0	28,0… 32,0	6,0… 10,0	15,0… 25,0	170,0… 180,0

18. Технологические требования к сварке:

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

18.2. Собрать и прихватить. Прихватки выполняет аттестованный сварщик.

18.2.1 Прихватки выполняются механизированной сваркой в среде защитных газов. Сварочные материалы: Св- 08Г2С по ГОСТ 2246–70, защитный газ – двуокись углерода по ГОСТ 8050–85. Режимы сварки: диаметр сварочной проволоки 2,0 мм; постоянный ток обратной полярности; сварочный ток 280…320 А; напряжение дуги 30…32 В; вылет электродной проволоки 15…25 мм.

18.2.2 Провести визуальный контроль прихваток после их очистки. Прихватки, имеющие дефекты, должны быть удалены механическим путем и заварены вновь с последующим контролем. Требования к прихватке: длина каждой прихватки должна составлять от 20 до 30 мм; толщина прихваток от 3 до 5 мм; расстояние между прихватками от 50 до 80 мм.

18.3. Выполнить шов согласно чертежу и брызги. Провести визуальный контроль.

18.4. Выбрать корень шва механическим путем.

18.5. Сварить облицовочный шов до чертежных размеров согласно чертежу.

18.6. Провести визуальный и измерительный контроль шва.

Таблица 5 – Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный	СТО 9701105632-003-2021	СТО 9701105632-003-2021	100 %
Измерительный			100 %
Ультразвуковой	ГОСТ Р 55724–2013 СТО00220256–005–2005	СТО 00220256–005–2005	100 %

Разработал: _____ */Бондарчук Р.С./*

Приложение Б

Графическая часть

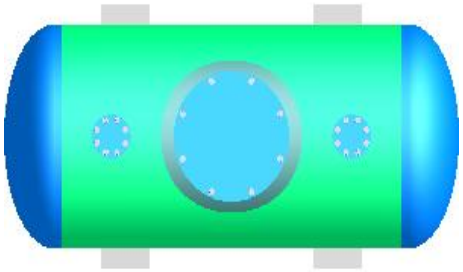
Приложение В

Расчеты на прочность в программе Пассат

Общие положения

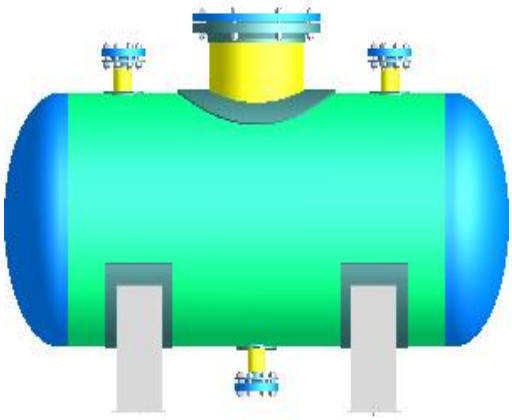
Расчет на прочность выполнен на ЭВМ по программе «Пассат 3.07.0.3», разработанной ООО НТП «Трубопровод».

Общий вид аппарата

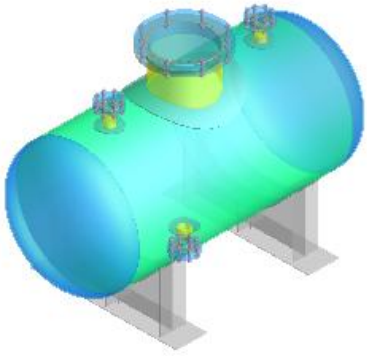


Вид сверху

Вид слева



Вид спереди



Изометрический вид

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения :

Расчётная температура стенки обечайки, T:	40 °C
Расчётное внутреннее избыточное давление, действующее в элементе над опорой, p:	1,6152 МПа
Изгибающий момент в сечении оболочки над опорой, M:	8,3325 кН·м
Опорное усилие, F:	20,83 кН
Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой, Q:	10,907 кН

Допускаемые нагрузки для элемента, связанного с обечайкой (см. расчёт “Обечайка цилиндрическая №1”):

Допускаемое наружное давление, [p]:	0,30716 МПа
Допускаемый изгибающий момент, $[M]_{уст}$:	1618 кН·м
Допускаемое осевое сжимающее усилие, [F]:	5290,5 кН
Допускаемое поперечное усилие, [Q]:	1242,6 кН

Обечайка цилиндрическая №1

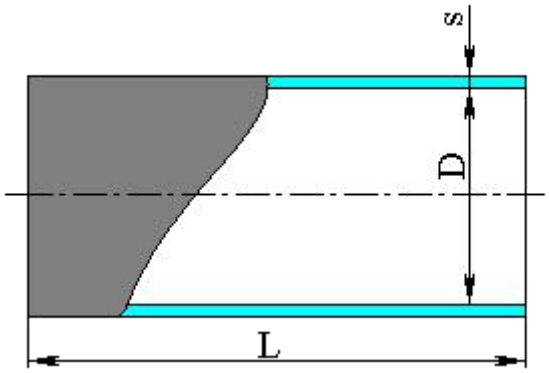


Рис.1.1.Эскиз элемента

Исходные данные

Материал:	09Г2С Прокат
Внутренний диаметр,D:	1200 мм
Толщина стенки, s:	10 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c_1:	2 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, c_2:	0,030000 мм
Прибавка технологическая, c_3:	0 мм
Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, c:	2,03 мм
Длина обечайки, L:	2100 мм

Коэффициенты прочности сварных швов:

Продольный шов:

φ_p = 1

Окружной шов:

φ_T = 1

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётная температура, T:	40 °C
Расчётное внутреннее избыточное давление, p:	1,6152 МПа
Расчётный изгибающий момент, M:	8,3344 кН·м
Расчётное поперечное усилие, Q:	10,039 кН
Расчётное осевое сжимающее усилие, F:	6,6592 кН
Расчётный крутящий момент, M_t:	0 кН·м

1.1.1 Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.2-2017

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Прокат при температуре 40 °C (рабочие условия):

$[\sigma]$ = 191 МПа

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Прокат при температуре T = 40 °C:

E= $1{,}97 \cdot 10^5$ МПа

Гладкая обечайка, нагруженная внутренним избыточным давлением

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c$$ *= (1,6152 * 1200) / (2 * 191 * 1 – 1,6152) + 2,03* =7,1255 мм

7,1255 мм ≤ 10 мм

Заключение: **Условие работоспособности выполнено.**

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)}$$ = *2 * 191 * 1 * (10 – 2,03) / (1200 + 10 –2,03)* =2,5204 МПа

2,5204 МПа ≥ 1,6152 МПа

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Минимальное расстояние между “одиночными” штуцерами:

$b_0 = 2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$ = *2 * (1200 * (10 – 2,03))^1/2* = 195,59мм

Расчётная длина для расчёта от действия осевой силы:

l_F = 2380 мм

Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:

$[F]_п = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma]$ = *3,1416* (1200 + 10 – 2,03) * (10 – 2,03) * 191* =5776,9 кН

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости:

$$[F]_{E1} = \frac{31.0 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D}\right]^{2.5}$$ = *310 * 10^-6 * 1,97·10^5 * 1200^2 /(2,4) * (100 * (10 – 2,03) / 1200)^2.5* =13173 кН

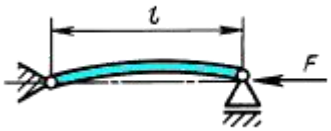


Рис.1.2.Определение приведенной длины

Приведённая длина: $l_{пр}$ = 2380 мм

Гибкость:

$$\lambda = \frac{2.83 \cdot l_{пр}}{D + s - c}$$ = *2.83 * 2380 / (1200 + 10 – 2,03)* =5,5758

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия общей устойчивости:

$$[F]_{E2} = \frac{\pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot E}{n_y} \cdot \left(\frac{\pi}{\lambda}\right)^2$$ = *3,1416* (1200 + 10 – 2,03) * (10 – 2,03) * 1,97·10^5 / (2,4) * (3,1416 / 5,5758)^2* =7,8814·10^5 кН

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия устойчивости:

$[F]_E = \min\{[F]_{E1}, [F]_{E2}\}$ = *min {13173, 7,8814·10^5}* =13173 кН

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_п}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_п}{[F]_E}\right)^2}}$$ = *5776,9 / (1 + (5776,9 / 13173)^2)^1/2* =5290,5 кН

5290,5 кН ≥ 6,6592 кН

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Обечайка, нагруженная изгибающим моментом

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны сжатия:

$[M]_п = \frac{D}{4} \cdot [F]_П$ = *1200 / 4 * 5776,9* = 1733,1 кН·м

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости:

$[M]_E = \frac{D}{3.5} \cdot [F]_{E1}$ = *1200 / 3.5 * 13173* = 4516,3 кН·м

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \frac{[M]_П}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_П}{[M]_E}\right)^2}}$$ = *1733,1 / (1 + (1733,1 / 4516,3)^2)^1/2* = 1618 кН·м

1618 кН·м ≥ 8,3344 кН·м

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Обечайка, нагруженная поперечным усилием

Допускаемое поперечное усилие из условия прочности:

$[Q]_п = 0.25 \cdot \pi \cdot D \cdot (s - c) \cdot [\sigma]$ = *0.25 * 3,1416 * 1200 * (10 – 2,03) * 191* = 1434,7 кН

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

l_p = 2380 мм

Расчётная длина для расчёта от действия поперечной силы:

l_Q= 2380 мм

Допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости:

$$[Q]_E = \frac{2.4 \cdot E \cdot (s-c)^2}{n_y} \cdot \left[0.18 + 3.3 \cdot \frac{D(s-c)}{l^2}\right] = 2.4 * 1{,}97 \cdot 10^5 * (10 - 2{,}03)^2 / 2{,}4 * (0.18 + 3.3 * 1200 * (10 - 2{,}03) / 2380^2) = 2322{,}2 \text{ кН}$$

Допускаемое поперечное усилие:

$$[Q] = \frac{[Q]_п}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_п}{[Q]_E}\right)^2}} = 1434{,}7 / (1 + (1434{,}7 / 2322{,}2)^2)^{1/2} = 1220{,}5 \text{ кН}$$

1220,5 кН ≥ 10,039 кН

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости: $\left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]}\right)^2 \le 1\right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]}\right)^2 = 0 / 0 + 6{,}6592 / 5290{,}5 + 8{,}3344 / 1618 + (10{,}039 / 1220{,}5)^2 = 0{,}0064773 \le 1$$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено.**

Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием

Допускаемое осевое растягивающее усилие:

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3{,}1416 * (1200 + 10 - 2{,}03) * (10 - 2{,}03) * 191 * 1 = 5776{,}9 \text{ кН}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны растяжения:

$$[M]_{пр} = \frac{D}{4} \cdot [F] = 1200 / 4 * 5776{,}9 = 1733{,}1 \text{ кН·м}$$

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

Проверка условия прочности: $\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{пр}} \le 1.0$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{пр}} = (-6{,}6592 + 1{,}6152 * 3{,}1416 * 1200^2 / 4) / 5776{,}9 + 8{,}3344 / 1733{,}1 = 0{,}31987 \le 1$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Для расчёта обечайки от действия седловых опор:

$$B_1 = \min\left\{1.0;\ 9.45 \cdot \frac{D}{l} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s-c)}}\right\} = \min\{1.0;\ 9.45 * 1200 / 2380 * (1200 / (100 * (10 - 2{,}03)))^{1/2}\} = 1$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости:

$$[p]_e = \frac{2.08 \cdot 10^{-5} E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{l} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s-c)}{D}\right]^{2.5} = 20.8 * 10^{-6} * 1{,}97 \cdot 10^5 * 1200 / (2{,}4 * 1 * 2380) * (100 * (10 - 2{,}03) / 1200)^{2.5} = 0{,}30947 \text{МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия прочности:

$$[p]_п = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s-c)}{D + (s-c)} = 2 * 191 * (10 - 2{,}03) / (1200 + 10 - 2{,}03) = 2{,}5204 \text{МПа}$$

$$[p] = \frac{[p]_п}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_п}{[p]_E}\right)^2}} = 2{,}5204 / (1 + (2{,}5204 / 0{,}30947)^2)^{1/2} = 0{,}30716 \text{МПа}$$

Допускаемое наружное давление: [p] =0,30716 МПа

Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_П}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_П}{[F]_{E1}}\right)^2}} = 5776,9 / (1 + (5776,9 / 13173)^2)^{1/2} = 5290,5 \text{ кН}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости:

$$[M]_{уст} = \frac{[M]_П}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_П}{[M]_E}\right)^2}} = 1733,1 / (1 + (1733,1 / 4516,3)^2)^{1/2} = 1618 \text{ кН·м}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \min\{M_{пр}, M_{уст}\} = \min\{1733,1, 1618\} = 1618 \text{ кН·м}$$

Расчётная длина для расчёта седловых опор:

l_s= 1300 мм

Допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости:

$$[Q]_E = \frac{2.4 \cdot E \cdot (s-c)^2}{n_y} \cdot \left[0.18 + 3.3\frac{D(s-c)}{l_s^2}\right] = 2.4 * 1,97 \cdot 10^5 * (10 - 2,03)^2 / 2,4 * (0.18 + 3.3 * 1200 * (10 - 2,03) / 1300^2) = 2486,1 \text{ кН}$$

Допускаемое поперечное усилие:

$$[Q] = \frac{[Q]_П}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_П}{[Q]_E}\right)^2}} = 1434,7 / (1 + (1434,7 / 2486,1)^2)^{1/2} = 1242,6 \text{ кН}$$

1.1.2 Расчет давления испытаний по ГОСТ 34347, гидроиспытания

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

$$P_{пр} = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} - p_H = 1.25 * 1,6152 * 196 / 191 - 0,015220 = 2,0567 \text{ МПа}$$

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, T:	20 °C
Расчётное внутреннее избыточное давление (с учётом гидростатического), p:	1,6152 МПа
Расчётный изгибающий момент, M:	8,3343 кН·м
Расчётное поперечное усилие, Q:	10,039 кН
Расчётное осевое сжимающее усилие, F:	6,6592 кН
Расчётный крутящий момент, M_t:	0 кН·м

По ГОСТ 34233.1-2017 расчёт на прочность при испытаниях допускается не проводить, если выполнено условие:

$$P_{исп} < 1.35 \cdot P_{расч} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}$$

$$1.35 \cdot P_{расч} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1.35 * 1,6152 * 196 / 191 = 2,2376 \text{ МПа} \geq 1,6152 \text{ МПа}$$

1.1.3 Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.2-2017

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Прокат при температуре 20 °C (условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \frac{R_{e\,/20}}{n_T} = 300 / 1,1 = 272,73 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Прокат при температуре T = 20 °C:

E^{20}= 1,99·10^5 МПа

Гладкая обечайка, нагруженная внутренним избыточным давлением

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c$$ = (1,6152 * 1200) / (2 * 272,73 * 1 – 1,6152) + 2,03 =5,594 мм

5,594 мм ≤ 10 мм

Заключение: **Условие работоспособности выполнено.**

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)}$$ = 2 * 272,73 * 1 * (10 – 2,03) / (1200 + 10 –2,03) =3,5988 МПа

3,5988 МПа ≥ 1,6152 МПа

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Минимальное расстояние между “одиночными” штуцерами:

$$b_0 = 2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}$$ = 2 * (1200 * (10 – 2,03))$^{1/2}$ = 195,59мм

Расчётная длина для расчёта от действия осевой силы:

l_F = 2380 мм

Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:

$$[F]_п = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma]$$ = 3,1416* (1200 + 10 – 2,03) * (10 – 2,03) * 272,73 =8248,8 кН

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости:

$$[F]_{E1} = \frac{31.0 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D}\right]^{2.5}$$ = 310 * 10^{-6} * 1,99·10^5 * 1200^2 /(1,8) * (100 * (10 – 2,03) / 1200)$^{2.5}$ =17742 кН

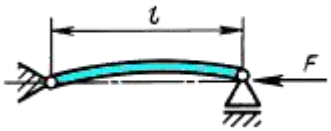


Рис.1.3.Определение приведенной длины

Приведённая длина: $l_{пр}$ = 2380 мм

Гибкость:

$$\lambda = \frac{2.83 \cdot l_{пр}}{D + s - c}$$ = 2.83 * 2380 / (1200 + 10 – 2,03) =5,5758

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия общей устойчивости:

$$[F]_{E2} = \frac{\pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot E}{n_y} \cdot \left(\frac{\pi}{\lambda}\right)^2$$ = 3,1416* (1200 + 10 – 2,03) * (10 – 2,03) * 1,99·10^5 / (1,8) * (3,1416 / 5,5758)^2 =1,0615·10^6 кН

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия устойчивости:

$$[F]_E = \min\{[F]_{E1}, [F]_{E2}\}$$ = min {17742, 1,0615·10^6} =17742 кН

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_п}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_п}{[F]_E}\right)^2}}$$ = 8248,8 / (1 + (8248,8 / 17742)^2)$^{1/2}$ =7479,9 кН

7479,9 кН ≥ 6,6592 кН

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Обечайка, нагруженная изгибающим моментом

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны сжатия:

$$[M]_п = \frac{D}{4} \cdot [F]_П$$ = 1200 / 4 * 8248,8 = 2474,7 кН·м

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости:

$$[M]_E = \frac{D}{3.5} \cdot [F]_{E1}$$ = 1200 / 3.5 * 17742 = 6082,9 кН·м

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \frac{[M]_П}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_П}{[M]_E}\right)^2}}$$ = 2474,7 / (1 + (2474,7 / 6082,9)^2)$^{1/2}$ = 2292,2 кН·м

2292,2 кН·м ≥ 8,3343 кН·м

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Обечайка, нагруженная поперечным усилием

Допускаемо поперечное усилие из условия прочности:

$[Q]_п = 0.25 \cdot \pi \cdot D \cdot (s - c) \cdot [\sigma]$ = *0.25 * 3,1416 * 1200 * (10 – 2,03) * 272,73* = 2048,6 кН

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

l_p = 2380 мм

Расчётная длина для расчёта от действия поперечной силы:

l_Q= 2380 мм

Допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости:

$$[Q]_E = \frac{2.4 \cdot E \cdot (s-c)^2}{n_y} \cdot \left[0.18 + 3.3 \cdot \frac{D(s-c)}{l^2}\right]$$ = *2.4 * 1,99·10⁵ * (10 – 2,03)² / 1,8 * (0.18 + 3.3 * 1200 * (10 – 2,03) / 2380²)* = 3127,7 кН

Допускаемое поперечное усилие:

$$[Q] = \frac{[Q]_п}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_п}{[Q]_E}\right)^2}}$$ = *2048,6 / (1 + (2048,6 / 3127,7)²)^1/2* = 1713,7 кН

1713,7 кН ≥ 10,039 кН

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости: $\left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]}\right)^2 \le 1\right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]}\right)^2$$ = *0 / 0 + 6,6592 / 7479,9 +8,3343 / 2292,2 + (10,039 / 1713,7)²* = 0,0045605 ≤ 1

Заключение: **Условие устойчивости выполнено.**

Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием

Допускаемое осевое растягивающее усилие:

$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T$ = *3,1416* (1200 + 10 – 2,03) * (10 – 2,03) * 272,73* 1* =8248,8 кН

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны растяжения:

$[M]_{пр} = \frac{D}{4} \cdot [F]$ = *1200 / 4 * 8248,8* =2474,7 кН·м

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

Проверка условия прочности: $\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{пр}} \le 1.0$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{пр}}$$ = *(-6,6592 + 1,6152 * 3,1416 * 1200² /4) / 8248,8 + 8,3343 / 2474,7* = 0,22402 ≤ 1

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Для расчёта обечайки от действия седловых опор:

$$B_1 = \min\left\{1.0;\ 9.45 \cdot \frac{D}{l} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s-c)}}\right\}$$ = *min{1.0; 9.45 * 1200 / 2380 * (1200 / (100 *(10 – 2,03)))^1/2}* =1

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости:

$$[p]_e = \frac{2.08 \cdot 10^{-5} E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{l} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s-c)}{D}\right]^{2.5}$$ = *20.8 * 10⁻⁶ * 1,99·10⁵ * 1200 / (1,8 * 1* 2380) * (100 * (10 – 2,03) / 1200)^2.5* =0,41681МПа

Допускаемое наружное давление из условия прочности:

$$[p]_п = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s-c)}{D + (s-c)}$$ = *2 * 272,73 * (10 – 2,03) / (1200 + 10 – 2,03)* =3,5988МПа

$$[p] = \frac{[p]_п}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_п}{[p]_E}\right)^2}} = 3,5988 / (1 + (3,5988 / 0,41681)^2)^{1/2} = 0,41404 МПа$$

Допускаемое наружное давление: [p] =0,41404 МПа

Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_п}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_п}{[F]_{E1}}\right)^2}} = 8248,8 / (1 + (8248,8 / 17742)^2)^{1/2} = 7479,9 кН$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости:

$$[M]_{уст} = \frac{[M]_П}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_П}{[M]_E}\right)^2}} = 2474,7 / (1 + (2474,7 / 6082,9)^2)^{1/2} = 2292,2 кН·м$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \min\{M_{пр}, M_{уст}\} = min\{2474,7, 2292,2\} = 2292,2 кН·м$$

Расчётная длина для расчёта седловых опор:

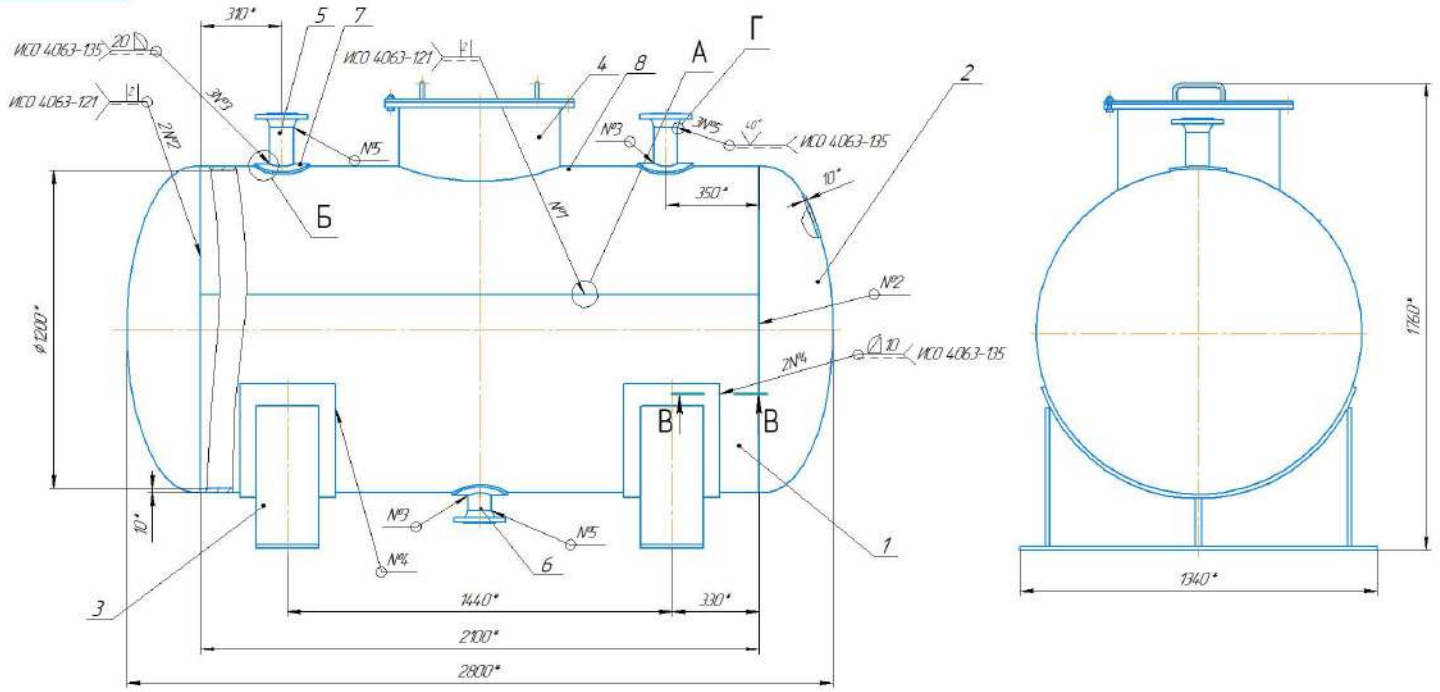
l_s= 1300 мм

Допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости:

$$[Q]_E = \frac{2.4 \cdot E \cdot (s-c)^2}{n_y} \cdot \left[0.18 + 3.3\frac{D(s-c)}{l_s^2}\right] = 2.4 * 1,99 \cdot 10^5 * (10 - 2,03)^2 / 1,8 * (0.18 + 3.3 * 1200 * (10 - 2,03) / 1300^2) = 3348,5 кН$$

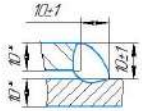
Допускаемое поперечное усилие:

$$[Q] = \frac{[Q]_п}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_п}{[Q]_E}\right)^2}} = 2048,6 / (1 + (2048,6 / 3348,5)^2)^{1/2} = 1747,5 кН$$

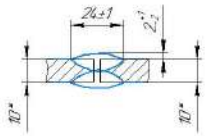


Технические характеристики		
Наименование параметров		Значение параметров
Назначение аппарата		Для хранения и расхода
Группа аппарата		1
Давление, МПа	рабочее	1,6
	расчетное	1,66
Пробное давление испытания, МПа	гидравлическое	2,12
	пневматическое	—
Допустимая рабочая температура стенки, °С	максимальная	плюс 40
	минимальная	минус 47
Наименование рабочей среды		Одорант
Характеристика рабочей среды	Класс опасности по ГОСТ 12.1.007-76	2 класс
	Пожароопасность	да
	Взрывоопасность	да
Основной материал		09Г2С ГОСТ19281-2014
Скорость коррозии, мм/год		0,1
Прибавка на коррозию (эрозию), мм		3
Срок службы, лет		30
Вместимость, м^3		3
Заполняемость, %		85

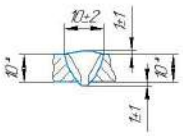
В–В(1:1)



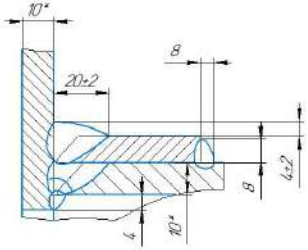
А–А(1:1)



Г(1:1)



Б(1:1)



Технические требования

1. Корпус одоранта изготовить в соответствии с требованиями Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности.
ГОСТ 34.347-2017 "Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия".
2. Поверхности сварных швов и околошовных зон, подлежащие контролю неразрушающему методами, должны соответствовать требованиям ОСТ 26-5-99.
3. Трубы по ГОСТ 8733-74 в состоянии поставки должны быть термообработанны, гидроиспытаны 100% и испытаны на загиб.
4. Трубы по ТУ 14-3-1128-2000 в состоянии поставки должны быть термообработанны, гидроиспытаны 100% .
5. Перед тем как нанести антикоррозийное покрытие необходимо.
а) зачистить метал от ржавчины, окалин, и других поверхностных дефектов металла;
б) зачистить сварные швы от шлака, брызг, наплывов;
в) сварные швы должны быть без сварных неровностей, наплывов, подрезов, и иметь плавный переход к основному металлу;
г) все поверхности должны быть обеспылены, обезжирены, и отчищены от оксидов.
Не допускаются подтеки лакокрасочных покрытий.
6. Материалы для изготовления крепежных изделий на фланцевые соединения должны быть в термообработанном состоянии.
7. Листовая сталь толщиной более 30 мм должна быть поставлена с гарантией механических свойств, со 100% контролем ультрузвуковым методом.
8. Гидроиспытать на прочность и герметичность пробным избыточным давлением 2,12 МПа в течение 30 мин. Течи и потения не допускаются. После гидроиспытаний воду слить, аппарат просушить.
9. Методы контроля должны соответствовать ГОСТ 22727-88, нормы контроля-классу 1 по ГОСТ 22727-88.
10. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-т.К.
11.* Размеры для справок.

						ПГУ.ВКР.15.03.01.213М04.1088.СБ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.		Бондарчук Р. О.			Корпус одоранта 03-16-213М0 088 Общий вид		Лит.	Масса	Масштаб
Пров.		Куранцев Н. А.							1:10
Т.контр.		Коляндин Н. А.					Лист	Листов 1
Н.контр.		Харин А. В.					Кафедра СПТ и М гр.213М041	
Утв.		Разин А. Е.						

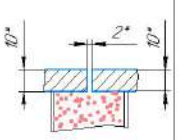
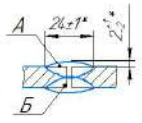
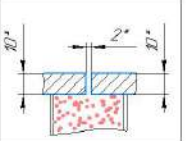
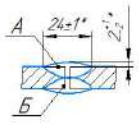
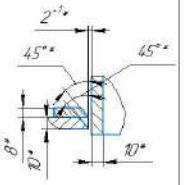
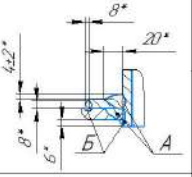
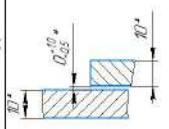
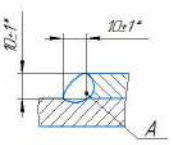
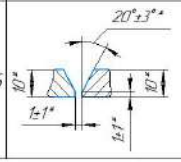
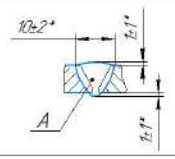
Копировал

Формат А1

Не для коммерческого использования

ПГУВКР.15.03.01213М041088.ТЧ2

Технологические параметры режимов сварки

Обозначение шва	Условное обозначение способа сварки	НТД под сварку	Тип подготовки кромок	Порядок выполнения шва	Обозначение прохода	Технические режимы сварки						Марка проволоки	Диаметр проволоки $d_{эл}$, мм	Защитная среда
						Сварочный ток $I_{св}$, А	Напряжение U, В	Скорость сварки $V_{св}$ м/ч	Скорость подачи электродной проволоки $V_{пр}$, м/ч	Вылет электродной проволоки l, мм	Расход газа л/мин			
1	АФф	С29 по ГОСТ 8713-79			А	540...580	35...37	25...35	170...180	25...30	–	Св-08ГА по ГОСТ 2246-70	3,0	Флюс АН-348А по ГОСТ 9087-81
					Б	540...580	35...37	25...35	170...180	25...30			3,0	
2	АФф	С29 по ГОСТ 8713-79			А	540...580	35...37	25...35	170...180	25...30	–	Св-08ГА по ГОСТ 2246-70	3,0	Флюс АН-348А по ГОСТ 9087-81
					Б	540...580	35...37	25...35	170...180	25...30			3,0	
3	УП	У19 по РД 26-18-8-89			А	280...320	28...32	6...10	170...180	25...30	15...20	Св-08Г2С по ГОСТ 2246-70	2,0	Углекислый газ 1-го сорта по ГОСТ 8050-85
					Б	280...320	28...32	6...10	170...180	25...30				
4	УП	Н1 по ГОСТ 14771-76			А	280...320	28...32	10...14	170...180	25...30	15...20	Св-08Г2С по ГОСТ 2246-70	2,0	Углекислый газ 1-го сорта по ГОСТ 8050-85
5	УП	С17 по ГОСТ 14771-76			А	280...320	28...32	6...10	170...180	25...30	30...40	Св-08Г2С по ГОСТ 2246-70	2,0	Углекислый газ 1-го сорта по ГОСТ 8050-85

							ПГУВКР.15.03.01213М041088.ТЧ2			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Бондарчук Р. С.					Технологические параметры режимов сварки			
Пров.		Казанцев И. А.						Лист	Листов	1
Т.контр.		Казанцев И. А.								
Н.контр.		Харин А. В.						Кар. С/П и М гр.213М041		
Утв.		Розум А. Е.								

Копировал

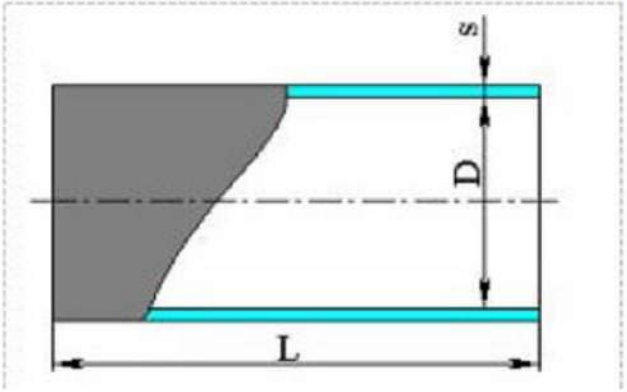
Формат А1

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата | Справ. № | Перв. примен.

КОМПАС-3D V23 Учебная версия © АСКОН, 2007. ЗАО "АСКОН-Системы проектирования" Россия. Все права защищены.

Не для коммерческого использования

Расчёт на прочность обечайки в программе ПАССАТ



Исходные данные для расчета

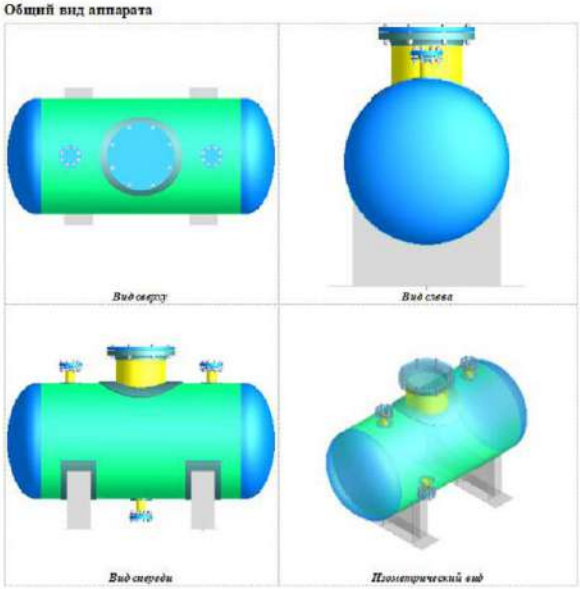
Материал	09Г2С
Внутренний диаметр, D	1200 мм
Толщина стенки обечайки, S	10 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c_1	2 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, c_2	0,03 мм
Прибавка технологическая, c_3	0 мм
Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, c	2,03 мм
Длина обечайки, L	2100 мм

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 40 °C
Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 1,6152 МПа
Расчётный изгибающий момент, M: 8,3344 кН·м
Расчётное поперечное усилие, Q: 10,039 кН
Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 6,6592 кН
Расчётный крутящий момент, Mt: 0 кН·м

Общий вид аппарата



Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.2–2017

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Прокат при температуре 40 °C (рабочие условия):
[σ] = 191 МПа

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Прокат при температуре T = 40 °C:
E=1,97·105 МПа

Гладкая обечайка, нагруженная внутренним избыточным давлением
Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$S_p+c=\frac{p\cdot D}{2\cdot[\sigma]\cdot\varphi_p\cdot(s-c)}+c=(1{,}6152\cdot1200)/(2\cdot191-1{,}652)+2{,}03=7{,}12255 \text{ мм}$$

7,1255 мм≤10 мм

Заключение: Условие роботоспособности выполняется

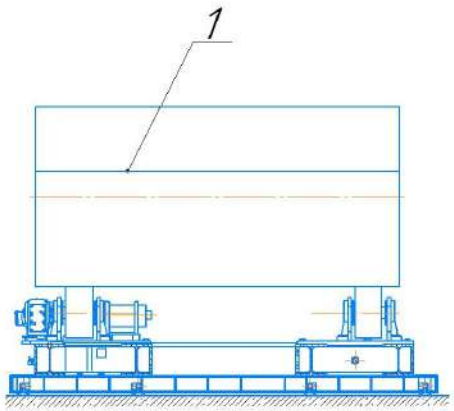
						ПГУВКР.15.03.01.213М04 1088.ТЧ3	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
Разраб.		Бондарчук Р. С.			Расчет на прочность в программе ПАССАТ	Лит.	Масса	Масштаб
Пров.		Казанцев И. А.						
Т.контр.		Казанцев И. А.				Лист	Листов 1	
Н.контр.		Харин А. В.				Кар. С/ПТ и М гр.213М041		
Утв.		Резин А. Е.						

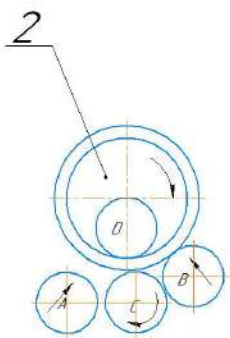
Копировал Формат А1

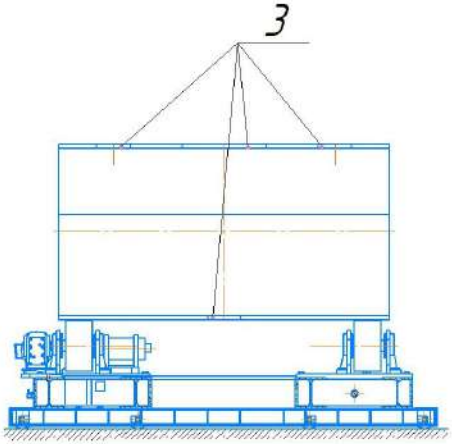
Не для коммерческого использования

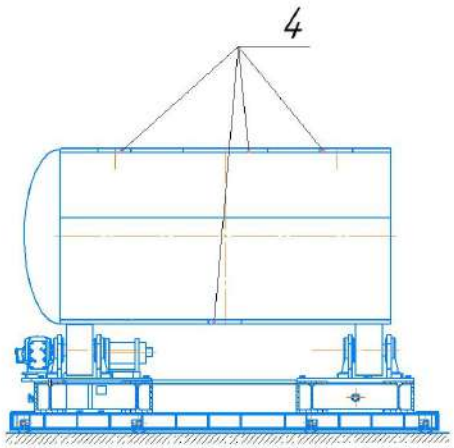
ПГУ.ВКР.15.03.01.21ЗМ04.1088.ТЧ4

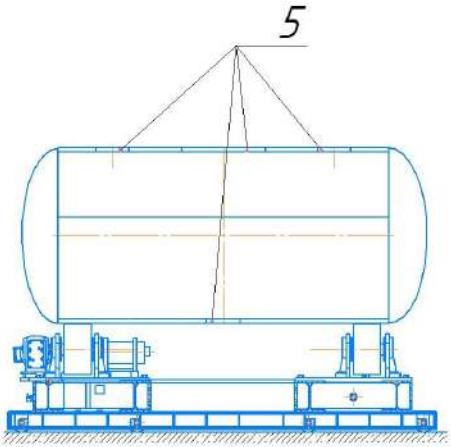
Сборка и сварка корпуса одоранта

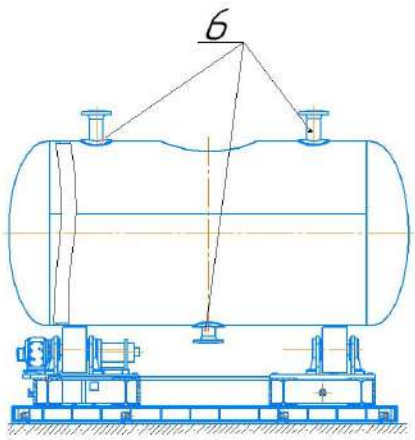


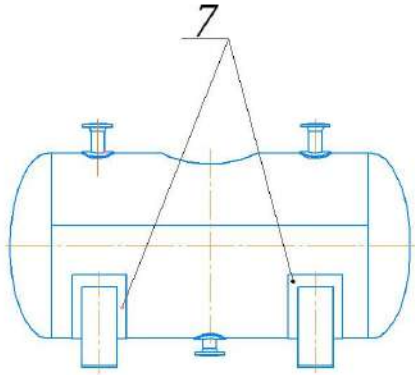


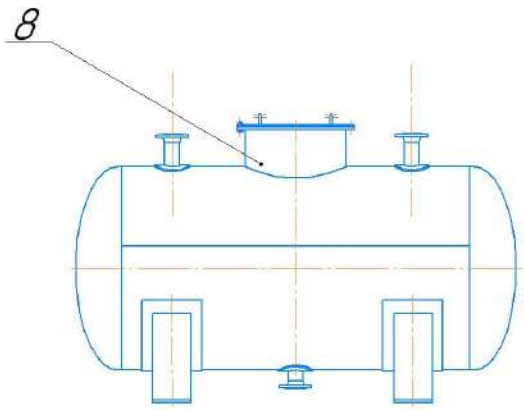












1. Сборка, выполнение прихваток и сварка продольного шва цилиндрической обечайки по ГОСТ 8713–79.
2. Прокатка обечайки на вальцовочной машине для снятия внутренних напряжений.
3. Вырезка отверстий в обечайке под штуцера и люк с использованием установки Huawei HK600D.
4. Сборка, выполнение прихваток и сварка днища с обечайкой по ГОСТ 8713–79.
5. Сборка, выполнение прихваток и сварка второго днища с обечайкой по ГОСТ 8713–79.
6. Сборка, выполнение прихваток и сварка обечайки со штуцерами в соответствии с РД 26–18–8–89.
7. Сборка, выполнение прихваток и сварка обечайки с подкладными листами ,выполнение прихваток и сварка седловых опор с обечайкой в соответствии с ГОСТ 14.771–76.
8. Сборка, выполнение прихваток и сварка обечайки с люком в соответствии с РД 26–18–8–89.

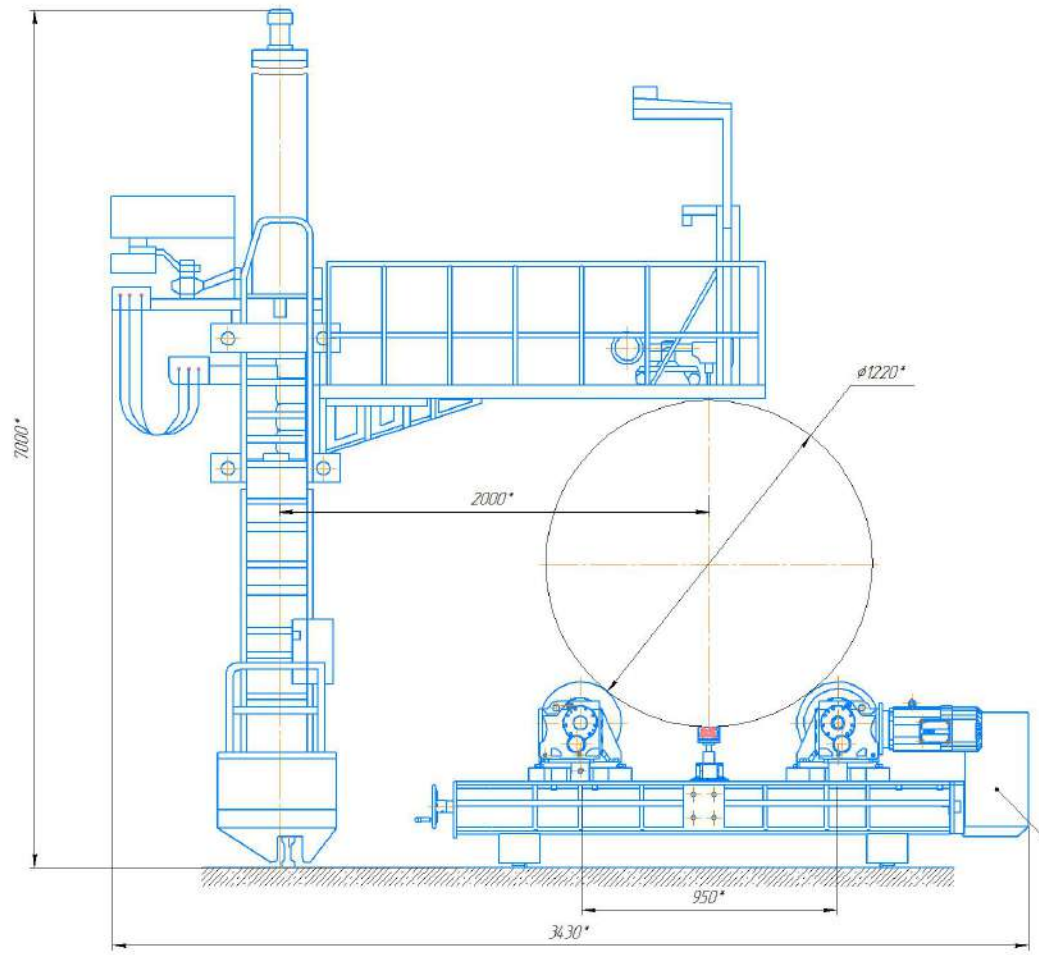
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ПГУ.ВКР.15.03.01.21ЗМ04.1088.ТЧ4		
Разраб.		Гвоздецкий Р. С.			Сборка и сварка корпуса одоранта	Лит.	Масса	Масштаб
Пров.		Казанцев И. А.						
Т.контр.		Казанцев И. А.				Лист	Листов 1	
Н.контр.		Харин А. В.				Каф. СПТ и М гр.213М041		
Утв.		Розин А. Е.						

Копировал Формат А1

КОМПАС-3D v23 Учебная версия © 2024 ООО "АСКОН-Системы проектирования". Россия. Все права защищены.
Не для коммерческого использования

ПГУ.ВКР.15.03.01.213М04.1088.ТЧ5

Средства технологического оснащения



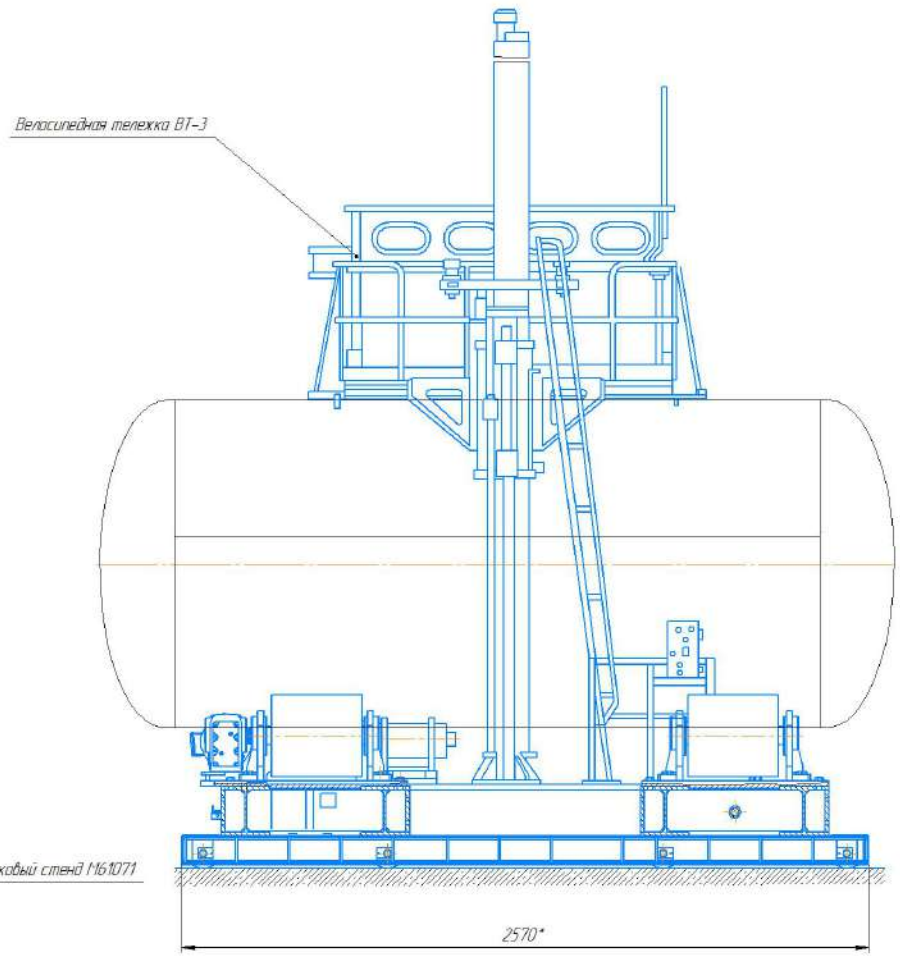
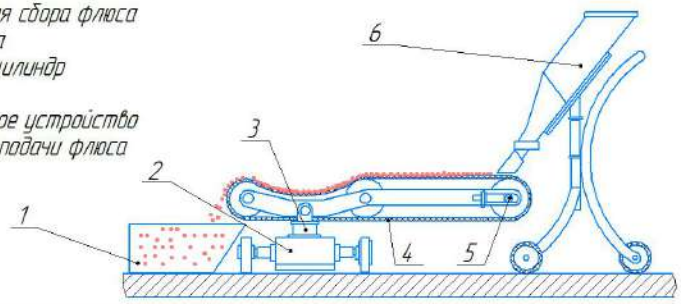
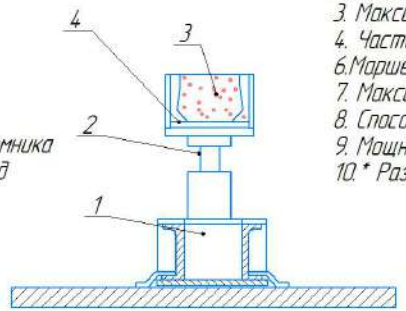


Схема флюсовой подушки для сварки кольцевых швов



1-Ящик для сбора флюса
2-Тележка
3-Пневмоцилиндр
4-Лента
5-Натяжное устройство
6-Бункер подачи флюса

Схема флюсовой подушки для сварки продольного шва



1-Корпус подъемника
2-Пневмопривод
3-Флюс
4-Желоб

Техническая характеристика

1. Наибольший крутящий момент, Мн 900
2. Минимальный диаметр устанавливаемого изделия, мм 700
3. Максимальный диаметр устанавливаемого изделия, мм 2800
4. Частота вращения ролика. об/мин 0,06-3
6. Маршевая частота вращения ролика, об/мин 3
7. Максимальная грузоподъемность, т 2
8. Способ управления: частотно-регулируемый привод
9. Мощность двигателя, кВт 15
10. * Размеры для справок.

						ПГУ.ВКР.15.03.01.213М04.1088.ТЧ5	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
Разраб.		Бондарчук Р. С.			Средства технологического оснащения	Лит.	Масса	Масштаб
Пров.		Казанцев И. А.						1:10
Т.контр.		Казанцев И. А.				Лист	Листов 1	
Н.контр.		Харин А. В.				Кафедра СМП и М гр.213М1041		
Утв.		Родин А. Е.						

Копировал

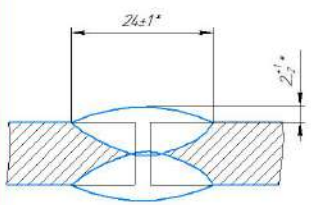
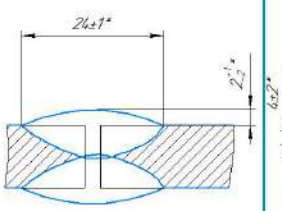
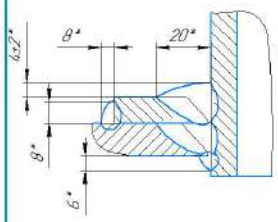
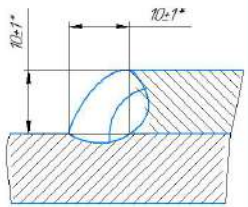
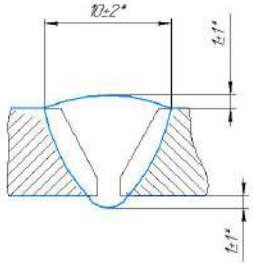
Формат А1

Подп. и дата | Инв. № подл. | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата | Справ. №

КОМПАС-3D v23 Учебная версия © ЗАО "АСКОН", 2007. "АСКОН-Системы проектирования". Россия. Все права защищены

Не для коммерческого использования

Методы контроля сварных швов и КСС

Номер сварного шва		1	2	3	4	5
Эскиз сварного шва						
Обозначение сварного шва		С29 по ГОСТ 8713-79	С29 по ГОСТ 8713-79	У19 по РД26-18-8-89	Н1 по ГОСТ 14771-76	С17 по ГОСТ 14771-76
Методы контроля	Визуальный и измерительный, 100%	+	+	+	+	+
	Ультразвуковой, 100%	+	+	+	−	+
	Гидравлический, 100%	+	+	+	−	+
	Цветная дефектоскопия, 100%	−	−	−	+	−
	Статическое растяжение	+	+	−	−	−
	Ударный изгиб	+	+	−	−	−
	Статический изгиб	+	+	−	−	−

Оценка качества проводится по СТО 9701105632-003-2021, СТО 00220256-005-2005 ГОСТ 34347-2017, ГОСТ 3242-79, ГОСТ 6996-66

					ПГУ.ВКР.15.03.01.213М04.1088 ТЧ6	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Методы контроля сварных швов и КСС	Лит. / Масса / Масштаб
Разраб.		Бочкарчук Р. С.				
Пров.		Казанцев И. А.				Лист / Листов 1
Т.контр.		Казанцев И. А.				
Н.контр.		Хорин А. В.			Кафедра СМТиМ гр.213М041	
Утв.		Розин А. Е.				

Копировал
Формат А1
Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата
Перв. примен.
Справ. №
КОМПАС-3D V23 Учебная версия © АСКОН, 2007. ЗАО "АСКОН-Системы проектирования". Россия. Все права защищены
Не для коммерческого использования