

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ФГБОУ ВО «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
теплообменного аппарата 800 ТНГ-25МН из стали
10Х17Н13М2Т»

Студент

Бачура Д.
(подпись, дата)

Балашова Дарья Алексеевна
(фамилия, имя, отчество)

Научный руководитель
д.т.н., профессор

Розен А.Е.
(подпись, дата)

Розен А.Е.
(фамилия, имя, отчество)

Нормоконтролёр
к.т.н., доцент

Хорин А.В.
(подпись, дата)

Хорин А.В.
(фамилия, имя, отчество)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от 11.06.2026 № 2)

Заведующий кафедрой
д.т.н., профессор

Розен А.Е.
(подпись, дата)

Розен А.Е.
(фамилия, имя, отчество)

Работа защищена с отметкой «отлично» (протокол заседания ГЭК от 24.06.2026 № 2)

Секретарь ГЭК
к.т.н., доцент

Гуськов М.С.
(подпись, дата)

Гуськов М.С.
(фамилия, имя, отчество)

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*
«20» _____ 2025 г.

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу

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

Балашиовой Дарьи Алексеевны.

Научный руководитель работы: д.т.н., профессор Розен А.Е.

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

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

Тема работы: «Разработка технологии сборки и сварки корпуса теплообменного аппарата 800 ТНГ – 25МН из стали 10Х17Н13М2Т».

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

Техническое задание на работу (назначение изделия, технология сборки и сварки): разработать технологию сборки и сварки корпуса теплообменного аппарата 800 ТНГ – 25МН из стали 10Х17Н13М2Т:

- предназначен для организации теплообмена жидких и газообразных сред в технологических процессах нефтеперерабатывающей отрасли промышленности;
- рабочее давление 2,25 МПа;
- температура окружающей среды от минус -30° до плюс 100 °С.

Объём и содержание основной части работы

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

- проведение анализа объекта производства;
- расчет и проектирование элементов конструкции;
- разработка технологии сборки и сварки корпуса теплообменного аппарата с выбором сварочного оборудования и средств технологического оснащения;
- назначение методов контроля качества сварных соединений.

Графическая часть бакалаврской работы (перечень и содержание плакатов):

- | | |
|---|--------|
| - Общий вид аппарата теплообменного 800 ТНГ-25МН | 1л А1; |
| - Детализовка | 1л А1; |
| - Схема сборки и сварки корпуса аппарата теплообменного | 1л А1; |
| - Технологические параметры режимов сварки | 1л А1; |
| - Средства технологического оснащения | 1л А1; |
| - Методы контроля сварных швов и КСС | 1л А1; |
| - Расчет на прочность в программе ПАССАТ | 1л А1. |

Рекомендуемая литература:

1. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность при ветровых, сейсмических и других внешних нагрузках [Текст]:

ГОСТ 34283-2017-34с – Введ. 2017-01-01. – М.: Стандартинформ, 2017 – 1. 25с.: ил.

2. 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

Руководитель ВКР:

д.т.н., профессор

 Розен А.Е.

Задание к исполнению принял студент

гр. 223МОС41

 Балашова Д.А.

30 декабря 2025 г.

Выпускную квалификационную работу к защите допустить

/ Директор Политехнического института ИГУ

 Г.В. Козлов

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

«Утверждаю»
 Руководитель ВКР
 д.т.н., профессор Розен А. Е.

подпись
 « 20 » сентября 2025 г.

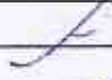
КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН
на выпускную квалификационную работу

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

Балашиовой Дарьи Алексеевны

Тема работы: Разработка технологии сборки и сварки корпуса теплообменного аппарата 800 ТНГ-25МН из стали 10Х17Н13М2Т.

Наименование этапа работы	Срок исполнения		Отметка о выполнении
	начало	окончание	
1.Получение задания, его уяснение, беседа с руководителем. Подготовка к выполнению ВКР.	30.12.25	15.02.26	
2. Подбор и изучение рекомендованной литературы.	16.02.26	28.02.26	
3.Изучение объекта исследования, постановка цели и задачи работы. Написание введения.	01.03.26	12.02.26	
4.Проведение литературно-патентного обзора. Выбор основных нормативно-технических документов.	13.02.26	19.02.26	
5. Проектирование и расчет элементов конструкции изделия. Оформление соответствующего раздела.	20.02.26	31.03.26	
6. Разработка технологии сборки и сварки изделия. Контроль качества сварных соединений. Оформление соответствующих разделов.	01.04.26	21.04.26	
7. Завершение оформления пояснительной записки, схем и рисунков.	22.04.26	01.06.26	

8. Предварительная защита ВКР	02.06.26	05.06.26	
9. Представление завершенной ВКР нормоконтролеру	06.06.26	10.06.26	
10. Представление ВКР руководителю на просмотр и проверку на плагиат.	11.06.26	17.06.26	
11. Полное завершение всех работ и представление зав. кафедрой на подпись пояснительной записки (совместно с графической частью, протоколом проверки на плагиат и отзывом руководителя)	18.06.26	19.06.26	
12. Защита выпускной квалификационной работы	20.06.26	04.07.26	

Прохождение каждого этапа подготовки ВКР подтверждается подписью руководителя.

Студент учебной группы 223МОС41 Балу Балашова Д.А.

" 30 " сентября 2025 г.

И.О. ректора Пензенского государственного университета

С.М. Васину

от студента 4 курса
заочной формы обучения

Балашовой Дарьи Алексеевны

(фамилия, имя, отчество)

ЗАЯВЛЕНИЕ

Я, Балашова Дарья Алексеевна, 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 теплообменного аппарата 800 ТНГ-25МН из стали 10Х17Н13М2Т*», 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.

Дарья
(подпись студента)

15.06.2016
(дата)

ВКР представлена на проверку 15.06.2016
(дата)

Руководитель ВКР Розен А.Е.
Подпись И.О. Фамилия

Протокол

проверки на оригинальность в системе «Антиплагиат. ВУЗ» выпускной квалификационной работы на тему «Разработка технологии сборки и сварки корпуса теплообменного аппарата 800 ТНГ-25МН из стали 10Х17Н13М2Т» студентки 4 курса Балашовой Дарьи Алексеевны, направления подготовки 15.03.01 «Машиностроение», профиля подготовки «Оборудование и технология сварочного производства».

Руководитель ВКР: Розен Андрей Евгеньевич, д. т. н., проф., зав. каф. «Сварочное, литейное производство и материаловедение».

Результат проверки на плагиат бакалаврской работы Балашовой Дарьи Алексеевны составляет 51,33% оригинальности, что соответствует существующим требованиям стандарта СТО ПГУ 3.12-2018. Выпускная квалификационная работа может быть рекомендована к защите.

The screenshot displays the 'АнтиПЛАгиАТ' (AntiPlagiat) VUZ interface. At the top, there's a header with the logo and navigation links. Below the header, a navigation bar contains buttons for 'ПОСЛЕДНИЙ ОТЧЕТ' (Last Report), 'ИСТОРИЯ ОТЧЕТОВ' (History of Reports), and 'ИСТОРИЯ ОТЧЕТОВ' (History of Reports). The main content area shows a 'Сводная документация' (Summary Documentation) section with a table of documents. The table has columns for 'Авторы документа' (Document Author), 'Имя и фамилия автора' (Author's Name and Surname), and 'Название документа' (Document Title). The first row shows 'Балашова Дарья Алексеевна' (Balashova Daria Alekseevna) as the author and 'Выпускная квалификационная работа' (Graduation Qualification Work) as the title. Below the table, there's a section titled 'Отчет о проверке' (Check Report) which includes a 'РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ' (Check Results) section. This section features a donut chart showing the originality percentage (51.33%) and a bar chart showing the percentage of original text (51.33%). The bottom of the report contains a table with 'ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ' (Document Information) and 'ИНФОРМАЦИЯ О ПРОВЕРКЕ' (Check Information).

Авторы документа	Имя и фамилия автора	Название документа
Балашова Дарья Алексеевна	Балашова Дарья Алексеевна	Выпускная квалификационная работа

Отчет о проверке

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ

Оригинальность: 51.33%

Процент оригинального текста: 51.33%

Информация о документе:

Информация о документе	Информация о проверке
Авторы документа: Балашова Дарья Алексеевна	Авторы документа: Балашова Дарья Алексеевна
Имя и фамилия автора: Балашова Дарья Алексеевна	Имя и фамилия автора: Балашова Дарья Алексеевна
Название документа: Выпускная квалификационная работа	Название документа: Выпускная квалификационная работа
Дата проверки: 19.06.2026	Дата проверки: 19.06.2026

Работу проверил: д.т.н., профессор Розен А. Е.

Дата подписи: 19.06.2026

ОТЗЫВ

на выпускную квалификационную работу студентки

Белашовой Дарьи Алексеевны

Тема работы: «Разработка технологии сборки и сварки
корпуса теплообменного аппарата 800 ТНГ-25МН из стали
10X17H13M2T»

Выпускная квалификационная работа Белашовой Дарьи Алексеевны выполнена в соответствии с заданием и содержит графическую часть на 6 листах формата А1, расчетно-пояснительную записку на 141 страницах.

На листах графической части студент приводит общий вид конструкции с техническими требованиями, предъявляемыми к сварной конструкции, чертежи сварных соединений, схему сборки и сварки изделия, таблицу параметров режимов сварки, сборочно-сварочные приспособления, таблицу технологичности сварных соединений, карту контроля сварных соединений.

В расчетно-пояснительной записке, дан анализ объекта производства и характеристика проектируемого изделия, выполнены проектировочно-прочностные расчеты сварной конструкции, выбрано сборочно-сварочное приспособление. На основе анализа НТД обоснован выбор наиболее рациональных способов сварки, выполнены расчеты технологических параметров и режимов сварки.

Оформление графической части и расчетно-пояснительной записки соответствует требованиям стандартов ЕСКД.

В процессе всего периода обучения Белашова Дарья проявила такие качества как ответственность, дисциплинированность и уважительное отношение к профессорско-преподавательскому составу и одногруппникам. На старших курсах Дарья закрывала сессию в срок. Преимущественной оценкой была оценка отлично. Интересовался научными направлениями, которые есть на кафедре.

За время выполнения выпускной квалификационной работы Белашова Дарья Алексеевна проявила себя заинтересованным, технически грамотным специалистом, обладающим знаниями, способным самостоятельно решать поставленные перед ним задачи. Отличалась целеустремленностью в написании работы и успешной защиты. Считаю, что ВКР может быть допущена к защите в ГЭК, а его автор заслуживает оценки «отлично» и присвоения квалификации бакалавра по направлению 15.03.01 «Машиностроение» по профилю «Оборудование и технология сварочного производства».

Руководитель работы: д.т.н., профессор



Розен А. Е

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

Факультет
промышленных технологий
электроэнергетики и транспорт
материаловедение»
(наименование)

Кафедра
«Сварочное, литейное производство
15.03.01 «Машиностроение»
(код и наименование)
«Оборудование и технология
сварочного производства»
(наименование)

И

Направление подготовки
Профиль

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему

«Разработка технологии сборки и сварки корпуса аппарата тепло-
обменного 800 ТНГ-25МН из стали 10Х17Н13М2Т»

Студент

_____ *Балашова Д.А.*
(подпись, дата) (фамилия, инициалы)

Научный руководитель
к.т.н., профессор

_____ *Розен А.Е.*
(подпись, дата)

Нормоконтролёр
к.т.н., доцент

_____ *Хорин АВ.*
(подпись, дата) (фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от _____ № _____)

Заведующий кафедрой _____ *Розен А.Е.*
(подпись, дата) (фамилия, инициалы)

Работа защищена с отметкой (протокол заседания ГЭК от _____)

Секретарь ГЭК

_____ *Гуськов М.С.*
(подпись, дата) (фамилия, инициалы)
Пенза 2026

Аннотация

Выпускная квалификационная работа содержит 100 с., 26 рис., 24 табл., 33 использованных источников, 2 прил. Графическая часть из 7 листов формата А1.

**ОБЕЧАЙКА, ДНИЩЕ, СТАЛЬ, СВАРКА, ШОВ, СВАРОЧНАЯ ПРОВО-
ЛОКА, СОЕДИНЕНИЕ, ФЛЮС, КАЧЕСТВО, РЕЖИМЫ СВАРКИ, СВАРОЧНОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ, ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ**

Объектом проектирования является корпус аппарата теплообменного 800 ТНГ-25МН из стали 10Х17Н13М2Т.

Предметом исследования является процесс сборки и сварки корпуса аппарата теплообменного 800 ТНГ-25МН из стали 10Х17Н13М2Т.

Цель работы – разработка технологии сборки и сварки корпуса аппарата теплообменного 800 ТНГ-25МН из стали 10Х17Н13М2Т в соответствии с НТД.

Задачи выпускной квалификационной работы:

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

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дат.				
Разраб.	Балашова				Разработка технологии сборки и сварки корпуса аппарата теплообмен- ного 800 ТНГ-25МН из стали 10Х17Н13М2Т	Лит.	Лист	Листов
Провер.	Розен А.Е.						3	100
Н. Контр.	Харин А. В					Каф.СЛП и М		
Утверд.	Розен А.Е.							

Содержание

Введение.....	5
1 Патентный обзор	7
2 Анализ объекта производства. Назначение конструкции и технические требования	12
3 Обоснование выбора основных материалов сварной конструкции	14
4 Расчет и проектирование сварной конструкции.....	17
5 Выбор способа сварки	33
6 Обоснование выбора сварочных материалов.....	37
7 Техника и технология сборки и сварки изделия.....	41
8 Расчет параметров режимов сварки	52
9 Выбор сварочного оборудования и технологической оснастки	71
10 Контроль качества сварных соединений	86
Заключение	93
Список источников	96
Приложение А	100
Приложение Б.....	125
Приложение В.....	139

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		4

Введение

Современное развитие нефтехимической и фармацевтической отраслей диктует жесткие требования к ресурсу теплообменного оборудования, работающего в условиях агрессивных сред и высоких температур. Ключевым фактором обеспечения надежности таких аппаратов является качество неразъемных соединений, к которым предъявляются требования не только по механической прочности, но и по стойкости к специфическим видам коррозии [1].

Выбор высоколегированной стали 10X17H13M2T для изготовления корпуса теплообменника обусловлен её исключительной способностью сопротивляться воздействию фосфорной, серной и уксусной кислот. Наличие молибдена и титана в химическом составе материала минимизирует риски возникновения межкристаллитной коррозии, однако одновременно усложняет процесс сварки. Главной технологической проблемой при работе с данной сталью остается склонность к образованию горячих трещин и сохранение пассивного слоя в околошовной зоне [2].

Актуальность работы обоснована необходимостью оптимизации режимов сварки для достижения равнопрочности соединения при сохранении коррозионной стойкости, что напрямую влияет на экологическую безопасность и межремонтный цикл эксплуатации теплообменных установок.

Целью данной выпускной квалификационной работы является проектирование технологии сварки корпуса теплообменного аппарата 800 ТНГ-25МН из стали 10X17H13M2T, обеспечивающей соответствие нормам промышленной безопасности.[3]

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- Анализ конструктивных особенностей аппарата и условий его эксплуатации;
- Обоснование выбора сварочных материалов, обеспечивающих аустенитную структуру шва с контролируемым содержанием ферритной фазы;

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		5

– Расчет и выбор оптимальных параметров режима сварки.

Разработка комплекса мероприятий по контролю качества, включая неразрушающие методы диагностики. Контроль качества сварных соединений корпуса из высоколегированной стали 10X17H13M2T носит комплексный характер и распределяется по всем этапам производства: от входного контроля материалов до финишных испытаний готового изделия. Специфика материала требует особого внимания к сохранению коррозионной стойкости и предотвращению образования микротрещин.

Предметом исследования выступают параметры сварных соединений высоколегированной стали 10X17H13M2T. Предметом исследования в данной работе являются технологические параметры и служебные характеристики сварных соединений высоколегированной аустенитной стали 10X17H13M2T, определяющие их эксплуатационную надежность в условиях коррозионного воздействия.

К ключевым параметрам, рассматриваемым в работе, относятся:

Геометрические и структурные параметры шва: форма и размеры валика, коэффициент формы провара, а также соотношение аустенитной и ферритной фаз в структуре металла шва (содержание ферритной фазы должно находиться в пределах от 2 до 5 % для предупреждения горячих трещин).

Режимные характеристики процесса - плотность сварочного тока, напряжение на дуге, скорость перемещения источника нагрева и погонная энергия, которая для данной стали жестко ограничивается во избежание перегрева.

Показатели коррозионной стойкости: сопротивляемость сварного соединения и зоны термического влияния (ЗТВ) межкристаллитной коррозии (МКК) и ножевой коррозии в условиях контакта с агрессивными средами.

Механические свойства: временное сопротивление разрыву, предел текучести и ударная вязкость при нормальных и рабочих температурах, а также угол изгиба сварного образца [4].

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		6

1 Патентный обзор

Патентное исследование в рамках данной квалификационной работы направлено на аналитическую оценку современного технологического уровня в области производства сварных сосудов высокого давления. Анализ позволяет выявить актуальные векторы развития технологий сварки высоколегированных хромоникель-молибденовых сталей аустенитного класса, к которым относится марка 10X17H13M2T.

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

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

Дата составления регламента – 15.04.2026.

Объект поиска – стенды для сварки обечаек.

Начало поиска – 15.12.2011

Завершение поиска – 28.05.2026.

Страны поиска – Россия.

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

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		7

а) *B23K37/053* – Установка спроектирована для автоматизации процесса стыковки и сварки цилиндрических секций (обечаек) сосудов и аппаратов [6].

б) *B23K9/028* – Способ сборки и сварки цилиндрических обечаек из коррозионностойких сталей [7].

в) *B23K 9/173* – Производительная приварка штуцеров и днищ [8].

г) *B23K 31/02* – Способ автоматической дуговой сварки и устройство для его осуществления [9].

д) *B23K 9/10* – Адаптивная система управления источником питания для дуговой сварки (обеспечивающая стабильность при сварке ответственных конструкций) [10].

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

Результаты проведенного поиска отображены в таблице 1.

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
						8
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		

Таблица 1 – Результаты поиска патентной информации

Предмет поиска (объект исследования, его составные части)	Страна выдачи и номер охранного документа. Классификационный индекс МПК	Заявитель (патенто- обладатель), страна, номер заявки, дата публикации	Название изобретения (полной модели, образца)
1	2	3	4
Технология сборки и сварки емкостного оборудования	Россия, Патент № 2529119С1 B23K37/053	Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский и конструкторский институт монтажной технологии — Атомстрой» (ОАО «НИКИМТ-Атомстрой»), Россия, Номер заявки: 2013115456/02, 27.09.2014 г.	Установка спроектирована для автоматизации процесса стыковки и сварки цилиндрических секций (обечаек) сосудов и аппаратов[6]
Технология сборки и сварки емкостного оборудования	Россия, Патент № 2734547С1 B23K9/028	Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт — Атомстрой» (ОАО «НИКИМТ-Атомстрой»), Россия, Номер заявки: 2020106294, 20.10.2020 г.	Способ сборки и сварки цилиндрических обечаек из коррозионностойких сталей [7]

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Технология сборки и сварки емкостного оборудования	Россия, Патент №2541215 С1 B23K 9/173	Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ» (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»), Россия, Номер заявки 2011124840/02, 27.01.2013 г.	Производительная приварка штуцеров и днищ [8]
Технология сборки и сварки емкостного оборудования	Россия, Патент № 2483861С1 B23K 31/02	Открытое акционерное общество «Институт сварки России»(ОАО «ИСР»), Россия, Номер заявки 2011145322, 08.11.2011 г.	Способ автоматической дуговой сварки и устройство для его осуществления [9]

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Технология сборки и сварки емкостного оборудования	Россия, Патент №2715421 С1 B23K 9/10	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», Россия, Номер заявки № 2019125430, 28.02.2020 г.	Адаптивная система управления источником питания для дуговой сварки (обеспечивающая стабильность при сварке ответственных конструкций)[9]

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

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		11

2 Анализ объекта производства. Назначение конструкции и технические требования

Объектом выпускной квалификационной работы является корпус аппарата теплообменного 800 ТНГ-25МН.

Корпус аппарата теплообменного 800 ТНГ-25МН представляет собой цилиндрический, горизонтальный резервуар.

Аппарат теплообменный, изображен на рисунке 1 предназначен для организации теплообмена жидких и газообразных сред в технологических процессах нефтеперерабатывающей отрасли промышленности.

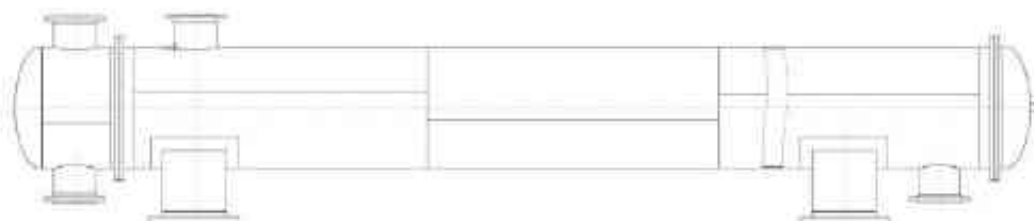


Рисунок 1 – Корпус аппарата теплообменного 800 ТНГ-25МН

Основные размеры корпуса аппарата теплообменного приведены в таблице 1

Таблица 1 – Основные размеры корпуса аппарата теплообменного

Параметр	Объем номинальный, м ³	Внутренний диаметр обечайки, мм	Длина конструкции, мм	Длина обечайки, мм
Значение	3,46	800,0	7020,0	6570,0

Проектируемый корпус аппарата теплообменного работает под давлением 2,25 МПа при температуре от минус 37 до плюс 100 °С. Следовательно он подпадает под действие Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением» [1]. Заполняемость резервуара составляет 100 %. Рабочая среда - серная кислота.

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дат		12

Технические требования на корпус аппарата теплообменного назначаем в соответствии с ГОСТ 31842 - 2012 [2] и ГОСТ 34347 - 2017 [3]. Согласно

ГОСТ 31842 - 2012 конструкцией аппарата должно быть предусмотрено обеспечение установленного режима эксплуатации, технологичности, надежности в течение назначенного срока службы, обеспечение безопасности при изготовлении, монтаже и эксплуатации, обеспечение возможности контроля технического состояния аппарата. Назначенный срок службы аппарата должен устанавливать разработчик и указывать в технической документации. Аппарат должен быть спроектирован с учетом нагрузок на штуцера и опоры. В зависимости от расчетного давления, температуры стенки и характера среды аппараты подразделяют на группы, определяющие объем контроля сварных соединений. Группа сосудов по национальным стандартам государств, упомянутых в предисловии как проголосовавшие за принятие межгосударственного стандарта. Минимальная температура стенки аппарата, находящегося под давлением.

Сварные швы допускается выполнять любым типом сварки, за исключением кислородно-ацетиленовой газовой сварки. Продольные и кольцевые сварные швы следует выполнять с полным проплавлением.

Все сварные швы приварки штуцеров к обечайкам или днищам следует выполнять с полным проплавлением на всю толщину стенки обечайки или днища или стенки штуцера или бобышки. Если штуцер вваривается в обечайку, изготовленную из листа, она должна быть проконтролирована в месте вварки на расслоение магнитопорошковым или цветным методом. На внутренних поверхностях не должно быть окалины, металлических брызг, ржавчины и грязи.

Корпус аппарата теплообменного гидроиспытать на прочность и плотность пробным избыточным давлением 3,31 МПа не менее 30 минут. Падение давления по манометру, пропуски испытательной среды в сварных соединениях и на основном металле, признаки разрыва, остаточные деформации, течи и потения не допускаются. После гидроиспытания продуть сухим сжатым воздухом до исчезновения капельной жидкости.

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	Не докум.	Под-	Дат		13

3 Обоснование выбора основных материалов сварной конструкции

При выборе материалов для изготовления теплообменных аппаратов необходимо учитывать целый ряд факторов, чтобы обеспечить длительную эксплуатацию оборудования, сохранить его прочность и защитить от преждевременного выхода из строя. Рассмотрим подробнее каждый из указанных ниже критериев.

Рабочее давление которому подвергается аппарат составляет 2,25 МПа. Рабочее давление оказывает значительное влияние на выбор материала. Чем выше давление, тем большую прочность и ударную вязкость должен демонстрировать материал.

Максимальная и минимальная температура стенки корпуса теплообменного аппарата составляет от минус 37 °С до плюс 100 °С. Температура среды, контактирующей с материалом, сильно влияет на его механические свойства. Некоторые материалы теряют прочность при высоких температурах или становятся хрупкими при низкой температуре.

Рабочая среда - серная кислота. Серная кислота оказывает сильное коррозионное воздействие на металлы. При контакте серной кислоты с металлическими поверхностями начинается химическая реакция окисления металла, приводящая к образованию сульфатов металлов и выделению водорода.

Климат региона, где планируется эксплуатация аппарата, тоже влияет на выбор материала. В нашем случае возможны понижение температуры до минус 37 °С.

Учитывая все выше перечисленное, руководствуясь ГОСТ 31842 - 2012, по которому осуществляется производство аппаратов теплообменных. В частности данный ГОСТ содержит требования к конструкции, материалам, технологии изготовления, испытаниям и маркировке продукции выбираем в качестве основного материала корпуса аппарата теплообменного сталь 10X17H13M2T.

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	Не докум.	Под-	Дат		14

Сталь 10X17H13M2T выбрана исходя из принципа обеспечения долговечности в агрессивной среде (серная кислота) и надежности конструкции при отрицательных температурах, что исключает риск холодного разрушения корпуса. Коррозионная стойкость – это решающий фактор. Сталь 10X17H13M2T относится к классу высоколегированных аустенитных сталей.

Молибден (М) в составе значительно повышает устойчивость к агрессивным средам, в частности, к серной кислоте в широком диапазоне концентраций. Титан (Т) предотвращает межкристаллитную коррозию, что критично при сварке корпуса.

Аустенитные стали (хромоникелевые) сохраняют высокую вязкость и не переходят в хрупкое состояние при отрицательных температурах. Минус 37 °С для этой марки – абсолютно безопасный режим (она сохраняет свойства до минус 196°С).

При плюс 100 °С механические характеристики стали практически не снижаются, что обеспечивает запас прочности.

Давление 2,25 МПа считается средним. Данная сталь обладает необходимым пределом текучести и временным сопротивлением, чтобы обеспечить прочность стенки при разумной толщине обечайки. Она хорошо поддается аргонодуговой и электродуговой сварке, что гарантирует герметичность соединений под давлением.

Химический состав, и механические свойства стали 10X17H13M2T приведены в таблицах 2, 3.

Таблица 2 – Химический состав стали 10X17H13M2T

Элемент	C,%	Si,%	Mn,%	S,%	P,%	Cr,%	Ni,%	Mo,%	Ti,%
Содержание %	≤0,1	≤0,8	≤2,0	≤0,02	≤0,035	16-18	12-14	2-3	≤0,7

Таблица 3 – Механические свойства стали 10X17H13M2T

Сечение, мм	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	σ_B , Н/мм ²	δ , %	ψ , %
от 4 до 50	235	530	37	55

Для высоколегированных катаных сталей рассчитывается хромоникелевый эквивалент по формулам:

$$[C]_s = Cr + 12Al + 11V + 7Ti + 3 \cdot Si + 4,5 \cdot Nb + 2Mo + 2W \quad (3.1)$$

$$[Ni]_s = Ni + 30C + 26N + 0,7Mn + 0,3Cu \quad (3.2)$$

где в правой части уравнения химические символы означают процентное содержание данных элементов в металле шва. Тогда для стали 10X17H13M2T:

$$[C]_s = 18 + 12 \cdot 0 + 11 \cdot 0 + 7 \cdot 0,7 + 3 \cdot 0,8 + 4,5 \cdot 0 + 2 \cdot 3 = 31,3 \%$$

$$[Ni]_s = 10 + 30 \cdot 0,1 + 26 \cdot 0 + 0,7 \cdot 2 + 0,3 \cdot 0 = 14,4 \%$$

Для стали 10X17H13M2T хромоникелевый эквивалент, определенный по формулам (3.1), (3.2), попадает в область диаграммы Шеффлера, при которой происходит образование лучшей структуры для сварки – аустенит плюс небольшое содержание феррита. Следовательно сталь 10X17H13M2T варится без ограничений.

4 Расчет и проектирование сварной конструкции

Проектируемый корпус аппарата теплообменного 800 ТНГ-25МН представлен на рисунке 2.

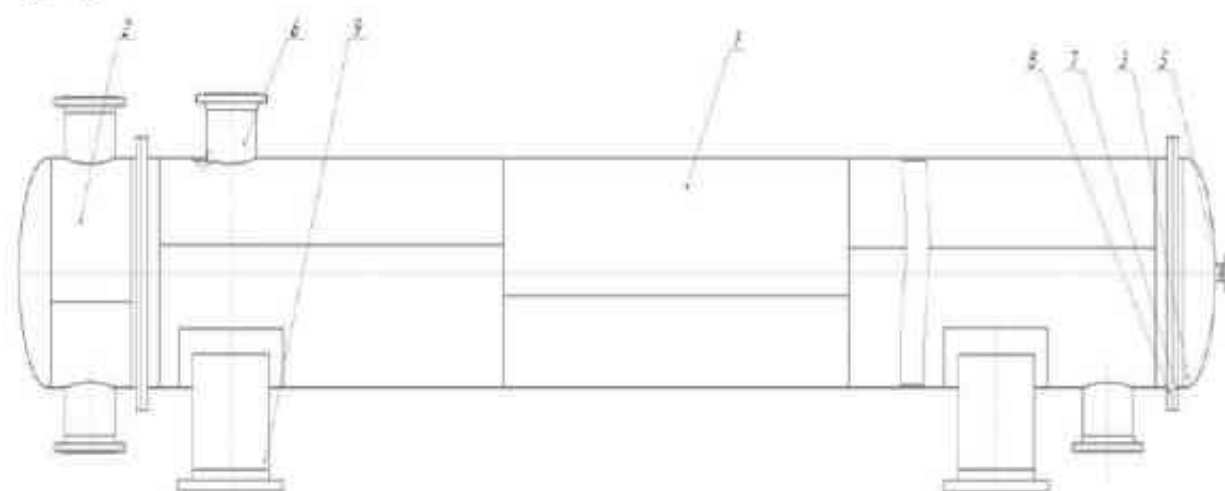


Рисунок 2 – Корпус аппарата теплообменного 800 ТНГ-25МН: 1 – обечайка, 2 – обечайка, 3 – днище, 4 – днище, 5 – штуцер, 6 – штуцер, 7 – фланец, 8 – фланец, 9 – опора седловая

При повышении давления в сосуде или аппарате во время действия предохранительных устройств более чем на 10%, по сравнению с рабочим, элементы аппарата должны рассчитываться на давление, равное 90% давления при полном открытии клапана или предохранительного устройства [6]

Давление в сосуде при действии предохранительного клапана определяется по формуле [6]:

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

где, P_k – Давление при действии предохранительного клапана, МПа;

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

$$P_k = 1,15 \cdot 2,25 = 2,58 \text{ МПа},$$

Расчетное давление без учёта гидростатического давления определяется по формуле:

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

где, P_r – Расчетное давление, МПа;

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		17

P_K – Давление при действии предохранительного клапана, МПа.

$$P_p = 0,9 \cdot 2,58 = 2,322 \text{ МПа.}$$

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

Гидростатическое давление среды, действующее на элементы сосуда, определяется по формуле [6]:

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

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

q – ускорение свободного падения, м/с²;

H_c – высота среды в аппарате, м.

Подставляем известные значения в формулу 4.3.

$$P_r = 1800 \cdot 9,81 \cdot 1,27 \cdot 10^{-6} = 0,0224 \text{ МПа.}$$

Так как гидростатическое давление среды,

$$P_r = 0,0224 < 0,05 \cdot 2,322 = 0,116 \text{ МПа,}$$

Так как гидростатическое давление среды составляет менее 5 % от рабочего давления то по формуле расчетное давление определяем без учета гидростатического по формуле [7]:

$$P_p = P_{\text{раб}} \quad (4.4)$$

$$P_p = 2,322 \text{ МПа.}$$

Пробное давление определяется по формуле [6]:

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

где P_p – расчетное давление сосуда, МПа;

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

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

Подставляем известные значения в формулу 4.5.

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		18

$$P_{пр} = 1,25 \cdot 2,322 \cdot \frac{196}{177} = 3,21 \text{ МПа}$$

Подставляем известные значения в формулу 4.3.

$$P_{Гводы} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 1,27 \cdot 10^{-6} = 0,0125 \text{ МПа.}$$

Так как гидростатическое давление воды

$$P_{Гводы} = 0,0125 < P_{пр} \cdot 0,05 = 3,21 \cdot 0,05 = 0,161 \text{ МПа}$$

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

$$P_{п} = P_{пр} \quad (4.6)$$

Тогда расчетное давление в условиях испытаний равно пробному давлению:

$$P_{п} = 3,21 \text{ МПа}$$

Если выполняется условие

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

то расчет на прочность в условиях испытаний проводить не требуется

Проверяем необходимость расчета на прочность в условиях испытания

$$3,21 < 1,35 \cdot 2,322 \cdot \frac{196}{177} = 3,47 \text{ МПа}$$

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

Рассчитаем толщину стенки обечайки по ГОСТ34233.2-2017 [8].

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

где, S_p – расчетная толщина стенки, мм;

c – сумма прибавок к расчетной толщине стенки, мм;

По безмоментной теории расчёта оболочек рассчитываем толщину стенки по формуле:

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

где, P_p – расчетное давление, МПа;

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		19

D – диаметр корпуса, мм;

φ_R – коэффициент прочности сварных швов обечайки;

Подставляем известные значения в формулу 4.9.

$$S = \frac{2,322 \cdot 800}{2 \cdot 177 \cdot 1 - 2,322} = 5,27 \text{ мм}$$

Прибавка к расчетной толщине стенки определяется по формуле:

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

где C_1 – прибавка на компенсацию коррозии, мм;

C_2 – прибавка для компенсации минусового допуска, мм;

C_3 – технологическая прибавка, мм.

Прибавка для компенсации коррозии C_1 определяем по формуле:

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

где, E_1 – скорость коррозии, мм/год;

τ – срок службы изделия, лет.

Подставляем известные значения в формулу 4.11

$$C_1 = 0,2 \cdot 10 = 2 \text{ мм}$$

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

$$S = S_p + C_1 \quad (4.12)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.10

$$S_1 = 5,27 + 2 = 7,27 \text{ мм}$$

Предварительно принимаем толщину стенки обечайки равную 8 мм

Прибавка для компенсации минусового допуска определяется по ГОСТ 19903–2015 [9] и при толщине проката от 7,5 до 10 мм составляет $c_2 = 0,8$ мм.

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

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

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		20

Подставляем известные значения в формулу 4.13

$$C_2 = 0,8 > 0,05 \cdot 8 = 0,4 \text{ мм}$$

Прибавка C_2 учитывается, так как составляет более 5% от толщины листа, согласно ГОСТ34233.1-2017.

Прибавка к расчетной толщине стенки определяется по формуле 4.13

$$c = 2 + 0,8 + 0 = 2,8 \text{ мм}$$

Подставляем известные значения в формулу 3.8.

$$S = 5,27 + 2,8 = 8,07 \text{ мм}$$

Предварительно принимаем толщину стенки обечайки $S = 9 \text{ мм}$

Так как по ГОСТ6533-78 [10] эллиптических днищ с толщиной 9 мм не бывает, следовательно назначаем толщину стенки обечайки равной толщине стенки днища. Назначаем толщину стенок днища и обечайки равной 10 мм.

Допускаемое давление рассчитываем по формуле:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (S - C)}{D + (S - C)}, \quad (3.14)$$

$$[p] = \frac{2 \cdot 177 \cdot 1 \cdot (10 - 2,8)}{800 + (10 - 2,8)} = 3,16 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполняется

$$P = 2,322 < [P] = 3,16 \quad (3.15)$$

Проверяем условие применения расчетных формул

$$\frac{S - C}{D} = \frac{10 - 2,8}{800} = 0,009 < 0,1$$

Условие выполняется.

Определяем величину развёртки обечайки определяется по формуле:

$$L_p = \pi \cdot \left(D_{вн} + S + \frac{a}{2} \right) - b_1 - b_2, \quad (4.16)$$

где L_p – длина развёртки обечайки, мм;

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

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		21

a – 1% от внешнего диаметра;

b_1 – припуск на зазор, мм;

b_2 – припуск на механическую обработку, мм.

Подставляем известные значения в формулу 4.16.

$$L_p = \pi \cdot \left(800 + 10 + \frac{8,2}{2} \right) - 2 - 2 = 2552 \text{ мм}$$

В качестве заготовки используем листы 2800×2000×10, 2800×1800×10, 2800×500×10 по ГОСТ 19903-2015.

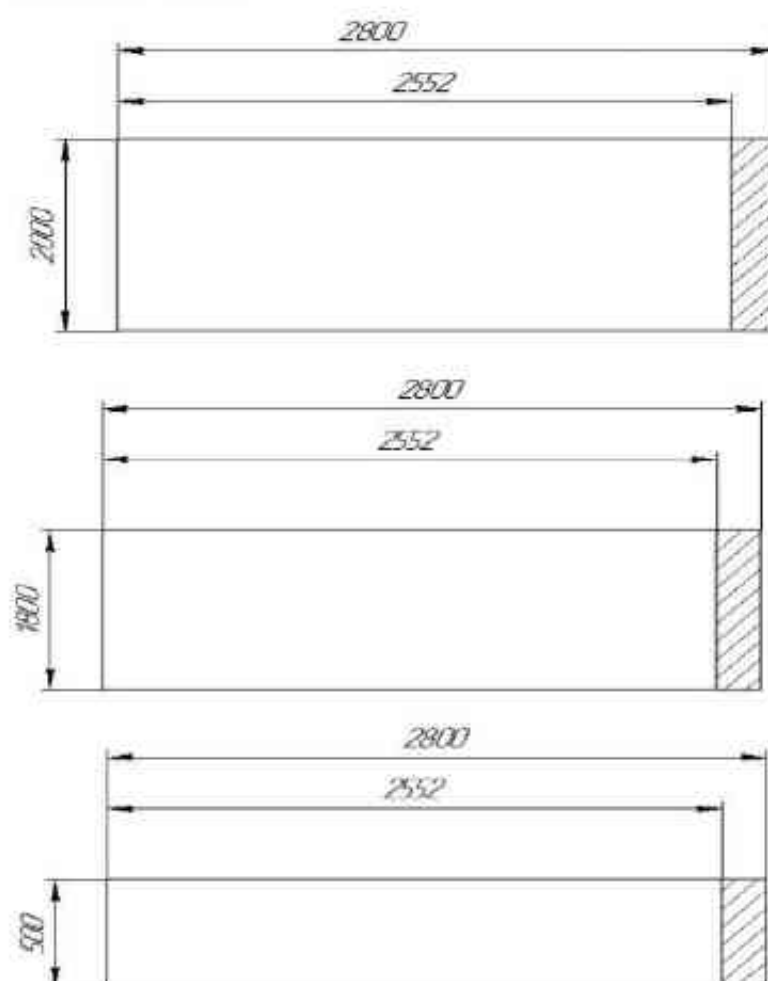


Рисунок 3 – Раскрой выбранных для обечайки листов

Произведем расчет днищ. Так же как и обечайки, днища рассчитываются по безмоментной теории расчёта оболочек.

Рассчитаем толщину стенки днища по ГОСТ34233.2-2017

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		22

$$S_d \geq \delta_d + c, \quad (4.17)$$

где δ_d – расчетная толщина стенки, мм;

c – сумма прибавок к расчетной толщине стенки, мм.

Расчётную толщину стенки эллиптических днищ определяем по формуле:

$$\delta_d = \frac{P_p \cdot R}{2\varphi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot P_p}, \quad (4.18)$$

где R – радиус кривизны в вершине днища, мм;

φ – коэффициент для днищ в зависимости от формы;

P_p – расчетное давление, МПа.

Радиус кривизны в вершине днища рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{D^2}{4H_d}, \quad (4.19)$$

Размер H_d рассчитывается по формуле:

$$H_d = 0,25 \cdot D, \quad (4.20)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.20.

$$H_d = 0,25 \cdot 800 = 200 \text{ мм}$$

Подставляем известные значения в формулу 4.19.

$$R = \frac{800^2}{4 \cdot 200} = 800 \text{ мм}$$

Подставляем известные значения в формулу 4.16.

$$\delta_d = \frac{2,322 \cdot 800}{2 \cdot 0,95 \cdot 177 - 0,5 \cdot 2,322} = 5,5 \text{ мм}$$

Подставляем известные значения в формулу 4.17.

$$S_d = 5,5 + 2,8 = 8,3 \text{ мм}$$

Принимаем толщину стенки днища по ГОСТ 6533-78 равной 10 мм.

Выбираем днище 800-10-200 ГОСТ 6533-78.

Проверяем условие применения расчетных формул:

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		23

$$0,002 \leq \frac{S-C}{D} \leq 0,1 \quad (4.21)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.21.

$$0,002 \leq 0,006 \leq 0,1$$

Условие выполняется

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

$$D = 2 \cdot \sqrt{(D_B + s) \cdot (h_1 + 0,345 \cdot \xi \cdot (D_B + s))}, \quad (4.22)$$

где, D_B – внутренний диаметр днища, мм;

s – толщина стенки днища, мм;

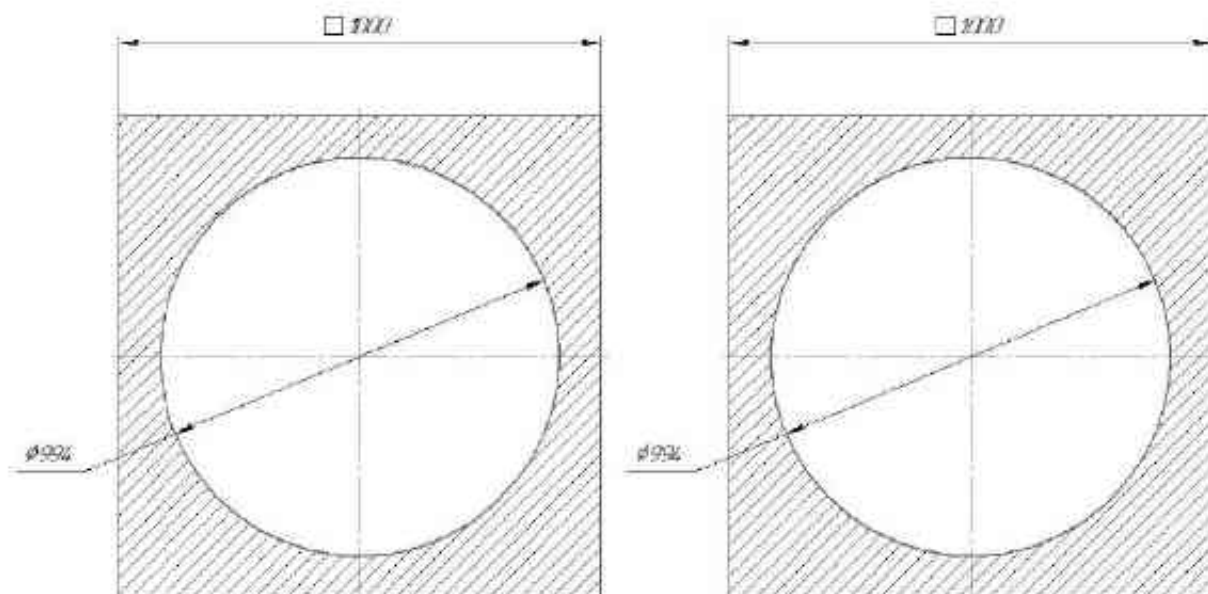
h_1 – высота отбортовки днища, мм.

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

Подставляем известные значения в формулу 4.22.

$$D = 2 \cdot \sqrt{(800 + 10) \cdot (25 + 0,345 \cdot 1,002 \cdot (800 + 10))} = 994 \text{ мм}$$

Заготовка для одного днища будет иметь размеры 1000x1000 из сортового проката по ГОСТ 19903–2015. Принимаем: два стандартных листа 1000x1000x10 мм.



					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дат		24

Рисунок 4 – Раскрой выбранных для днищ листов

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

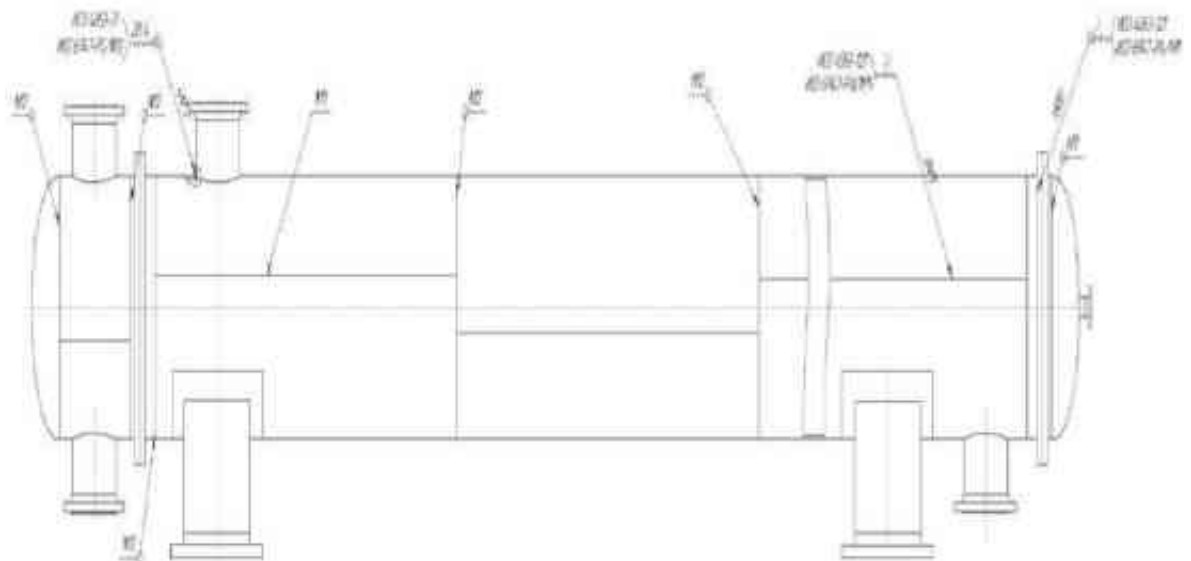


Рисунок 5 – Схема сварки корпуса аппарата теплообменного

Произведем расчеты на прочность четырех сварных соединений. Продольный (№1) и кольцевые (№2) швы выполняются по С29 ГОСТ 8713–79. Применение автоматической сварки под флюсом обеспечивает высокое качество металла шва и стабильную глубину проплавления по всей длине. Двусторонний стыковой шов типа С29 является наиболее надежным для сосудов под давлением

(2,25 МПа), так как минимизирует концентрацию напряжений.

Угловые швы (№3) выполняются по У12 РД 26-18-8-89. Данный тип шва используется для приварки штуцеров к обечайке и днищу. Разделка кромок по типу У12 гарантирует полный провар соединения, что критически важно при работе с агрессивной средой (серной кислотой) для предотвращения щелевой коррозии в узлах сопряжения.

По ГОСТ 8713-79 [12] для шва №2 соединяющего обечайку с фланцами при толщине стенок обечайки и днищ равной 10 мм с учетом диаметра обечайки равной 800 мм выбираем соединение С29. Соединение изображено на рисунке 7.

ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ					Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат	25

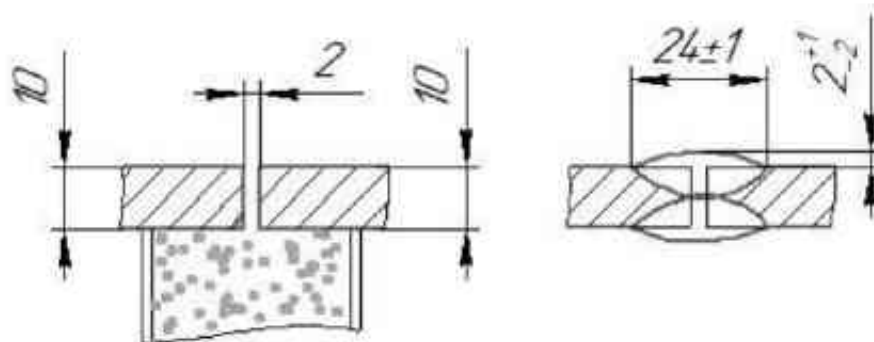


Рисунок 6 – Соединение типа С29 ГОСТ 8713–79.

Проверку прочности сварных соединений днища и обечайки считаем выполненной, если выполняется условие [13]:

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

где σ – напряжение в сварном соединении, МПа;

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

Напряжение в сварном соединении σ определяем по формуле:

$$\sigma = \frac{N}{F}, \quad (4.27)$$

где, N – продольная нагрузка, растягивающая шов, Н

F – площадь поперечного сечения шва, мм²

Продольную нагрузку N рассчитываем по формуле:

$$N = P_{\text{рас}} \cdot T, \quad (4.28)$$

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

T – расчетная площадь поверхности, на которую действует избыточное давление в аппарате теплообменном, определяем по ГОСТ 6533-78 стр. 15.

Подставляем известные значения в формулу 4.28.

$$N = 2,322 \cdot 760000 = 1764720 \text{ Н}$$

Площадь поперечного сечения шва определяется по формуле:

$$F_{\text{ш}} = \delta \cdot L_{\text{ш}}, \quad (4.29)$$

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

δ – толщина шва, мм.

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

$$L_{\text{ш}} = \pi d_{\text{ш}} - 10, \quad (4.30)$$

Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дат
------	------	----------	------	-----

ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ

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

$$L_{ш} = 3,14 \cdot 820 - 10 = 2565 \text{ мм}$$

Подставляем известные значения в формулу 4.29.

$$F_{ш} = 10 \cdot 2565 = 25650 \text{ мм}^2$$

Подставляем известные значения в формулу 4.27.

$$\sigma = \frac{1764720}{25650} = 69 \text{ МПа}$$

Проверяем выполнение условия:

$$69 \leq 177$$

Условие выполняется, следовательно, шов работоспособен.

Для продольного шва обечайки №1, выполняемого автоматической сваркой под слоем флюса, применяем соединение типа С29. Соединение изображено на рисунке 7.

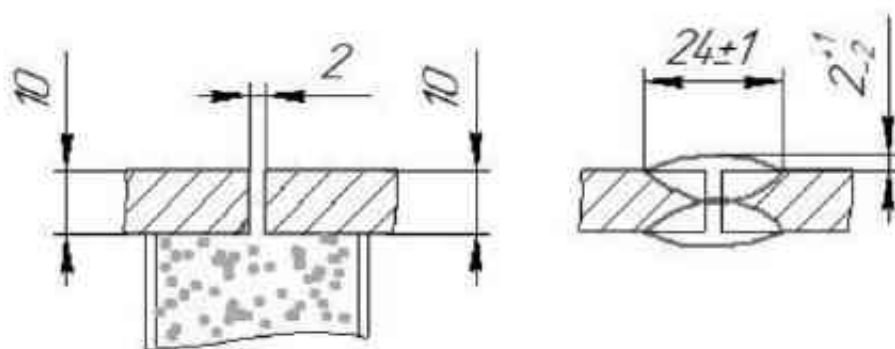


Рисунок 7 – Соединение типа С29 ГОСТ 8713–79.

Расчёт на прочность шва №1 ведётся по формуле:

$$\sigma_{ш} = \frac{N}{F_{ш}} \leq [\sigma], \quad (4.31)$$

где N – растягивающая сила, Н;

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

Растягивающая сила N будет определяться по формуле:

$$N = P_{пр} \cdot \Pi, \quad (4.32)$$

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		27

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

$$\Pi = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \frac{d_m^2}{4}, \quad (4.33)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.33.

$$\Pi = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \frac{820^2}{4} = 263917 \text{ мм}^2$$

Определяем растягивающие усилие N подставив полученные и известные значения по формуле 4.33.

$$N = 2,322 \cdot 263917 = 612815,3 \text{ Н}$$

Площадь металла шва F_m определяется по формуле:

$$F_m = a \cdot b, \quad (4.34)$$

где a – длина шва, мм;

b – толщина шва, мм.

Подставляем известные значения в формулу 4.34.

$$F_m = 6250 \cdot 10 = 62500 \text{ мм}^2$$

Обладая всеми необходимыми данными определим прочность сварного шва:

$$\sigma_m = \frac{612815,3}{62500} = 9,8 \text{ Н/мм}^2.$$

$$\sigma_m = 9,8 \leq 177 \text{ Н/мм}^2.$$

Условие выполняется, следовательно, шов работоспособен.

Произведем расчет на прочность сварного шва №3, соединение У12 РД 26-18-8-89 [14] соединяющий штуцер с обечайкой, изображен на рисунке 8.

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		28

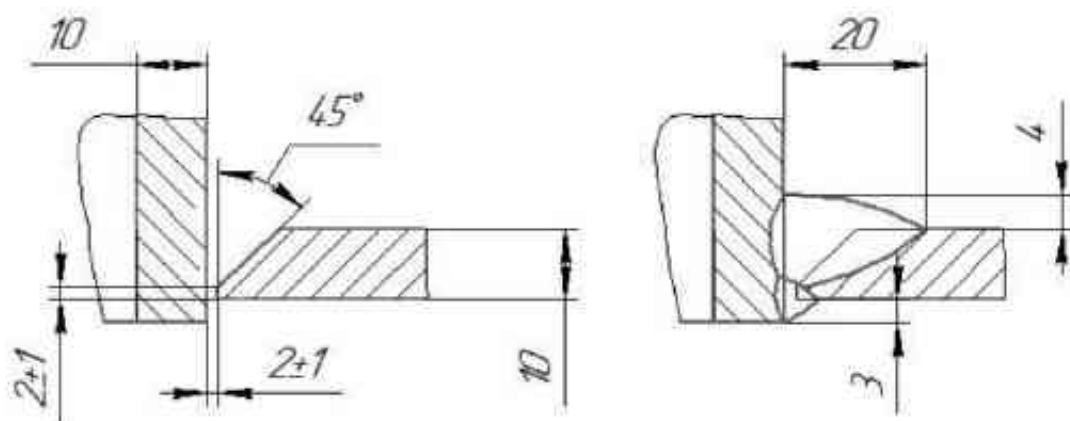


Рисунок 8 – Сварное соединение типа У12 РД 26-18-8-89

Расчет угловых соединений проводим по формуле:

$$\tau = \frac{N}{F} \leq [\sigma], \quad (4.35)$$

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

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

Площадь поперечного сечения F для угловых швов рассчитывается по формуле:

$$F = \beta \cdot h_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}}, \quad (4.36)$$

где β – коэффициент определения расчетной толщины углового шва;

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

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

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

$$L_{\text{ш}} = \pi d_{\text{ш}} - 10, \quad (4.37)$$

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

Подставляем известные значения в формулу 4.37.

$$L_{\text{ш}} = 3,14 \cdot 320 - 10 = 995 \text{ мм}$$

Для рассматриваемого углового сварного соединения величину $h_{\text{ш}}$ определяем по формуле:

$$h_{\text{ш}} = \sqrt{e^2 + g^2} + \frac{K^2}{2} \cdot K_y \quad (4.38)$$

где, e, g, K – размеры шва, мм;

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		29

K_y – коэффициент усиления.

Подставляем известные значения в формулу 4.38.

$$h_w = \sqrt{20^2 + 4^2} + \frac{3^2}{2} \cdot 1,25 = 26 \text{ мм}$$

Подставляем известные значения в формулу 4.36.

$$F = 0,7 \cdot 26 \cdot 995 = 18109 \text{ мм}^2$$

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

$$[\sigma] = (0,5 \dots 0,65) \cdot [\tau], \quad (4.39)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.39.

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

Сила среза N будет определяться по формуле:

$$N = P_{\text{пр}} \cdot \Pi, \quad (4.40)$$

где, Π – расчётная площадь поверхности

Расчётная площадь поверхности Π для штуцера определяем по формуле:

$$\Pi = \pi \cdot \frac{d_m^2}{4}, \quad (4.41)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.41.

$$\Pi = \pi \cdot \frac{320^2}{4} = 80384 \text{ мм}^2$$

Подставляем известные значения в формулу 4.40.

$$N = 2,322 \cdot 80384 = 186651,6 \text{ Н}$$

Обладая необходимыми данными определяем напряжение среза углового сварного соединения:

$$\tau = \frac{186651,6}{18109} = 10,3 \leq 88 \text{ МПа}$$

Условие выполняется, следовательно, шов работоспособен.

На основании данного расчета делаем вывод, что укрепительные кольца в конструкции корпуса теплообменного аппарата использовать не целесообразно.

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		30

Так как сварной шов обладает восьмикратным запасом прочности, дополнительных мер укрепления не требуется.

Произведем расчет на прочность сварного шва №6, соединение У12 РД 26-18-8-89 соединяющий штуцер (поз.5) с обечайкой, изображен на рисунке 9.

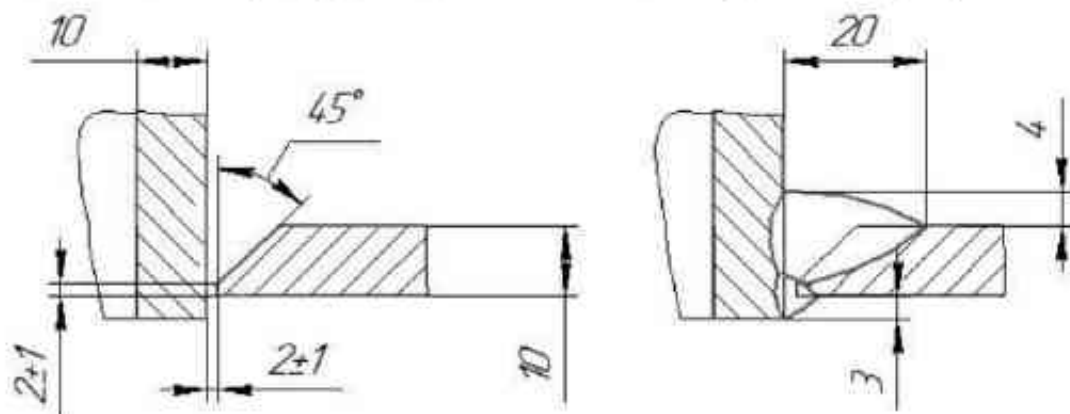


Рисунок 9 – Сварное соединение типа У12 РД 26-18-8-89

Расчет угловых соединений проводим по формуле:

$$\tau = \frac{N}{F} \leq [\sigma], \quad (4.42)$$

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

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

Площадь поперечного сечения F для угловых швов рассчитывается по формуле:

$$F = \beta \cdot h_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}}, \quad (4.43)$$

где β – коэффициент определения расчетной толщины углового шва;

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

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

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

$$L_{\text{ш}} = \pi d_{\text{ш}} - 10, \quad (4.44)$$

где $d_{\text{ш}}$ – наружный диаметр штуцера.

Подставляем известные значения в формулу 4.44.

$$L_{\text{ш}} = 3,14 \cdot 60 - 10 = 178,4 \text{ мм}$$

ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ					Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат	31

Для рассматриваемого углового сварного соединения величину h_w определяем по формуле:

$$h_w = \sqrt{e^2 + g^2} + \frac{K^2}{2} \cdot K_y \quad (4.45)$$

где, e, g, K – размеры шва, мм;

K_y – коэффициент усиления.

Подставляем известные значения в формулу 4.45.

$$h_w = \sqrt{20^2 + 4^2} + \frac{3^2}{2} \cdot 1,25 = 26 \text{ мм}$$

Подставляем известные значения в формулу 4.43.

$$F = 0,7 \cdot 26 \cdot 178,4 = 3247 \text{ мм}^2$$

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

$$[\sigma] = (0,5 \dots 0,65) \cdot [\tau], \quad (4.46)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.46.

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

Сила среза N будет определяться по формуле:

$$N = P_{\text{пр}} \cdot \Pi, \quad (4.47)$$

где, Π – расчётная площадь поверхности, мм².

Расчётная площадь поверхности Π для штуцера определяем по формуле:

$$\Pi = \pi \cdot \frac{d_m^2}{4}, \quad (4.48)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.51.

$$\Pi = \pi \cdot \frac{60^2}{4} = 2826 \text{ мм}^2$$

Подставляем известные значения в формулу 4.47.

$$N = 2,322 \cdot 2826 = 6562 \text{ Н}$$

Обладая необходимыми данными определяем напряжение среза углового сварного соединения:

$$\tau = \frac{6562}{2826} = 2,02 \leq 88 \text{ МПа}$$

Условие выполняется, следовательно, шов работоспособен.

5 Выбор способа сварки

Выбор метода сварки является определяющим фактором обеспечения надежности сосуда, работающего под давлением, и минимизации себестоимости его изготовления. На основании анализа конструкции аппарата (диаметр 800 мм, толщина стенки 10 мм) и условий серийного производства принята автоматическая сварка под слоем флюса (АФФ/АФ)

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		33

Высокая плотность тока в зоне дуги позволяет осуществлять сварку листов толщиной 10 мм без предварительной разделки кромок (тип соединения С29 по ГОСТ 8713-79). Это исключает дорогостоящую операцию фрезерования или строжки кромок обечайки.

Сварка под слоем флюса обеспечивает идеальную изоляцию сварочной ванны от атмосферного азота и кислорода. Медленное остывание металла под шлаковой коркой способствует выходу газовых включений и неметаллических примесей, что гарантирует герметичность и высокую ударную вязкость шва.

Благодаря автоматизации процесса исключается «человеческий фактор». Сварочный трактор обеспечивает стабильную скорость перемещения, что дает равномерное усиление шва и отсутствие подрезов.

При внутреннем диаметре корпуса 800 мм габариты современных малогабаритных сварочных тракторов позволяют беспрепятственно выполнять внутренний подварочный шов. Сварка производится в два прохода (снаружи и изнутри). Это позволяет отказаться от использования металлических подкладных планок, которые запрещены для некоторых категорий сосудов из-за риска возникновения щелевой коррозии.

Таблица 4 – Сравнительный анализ с альтернативными методами сварки

Критерий	РДС (Ручная)	МП (Полуавтомат)	АФф/АФ (Автоматическая)
Коэффициент наплавки	Низкий (1–1,5 кг/ч)	Средний (3–5 кг/ч)	Высокий (до 15 кг/ч)
Количество проходов	3–4 (с разделкой)	2–3 (с разделкой)	2 (без разделки)

Качество поверхности	Требуется зачистка шлака	Наличие брызг металла	Гладкий шов, легкое отделение шлака
Серийность	Не пригодна	Ограниченно пригодна	Оптимальна

В условиях серийного выпуска воздухосборников автоматизация процесса позволяет:

- Снизить расход сварочной проволоки за счет отсутствия потерь на разбрызгивание (в среде CO₂ потери достигают 10–15%, под флюсом — менее 2%);
- Сократить основное (машинное) время сварки в 3–4 раза по сравнению с механизированными способами;
- Уменьшить затраты на дефектоскопию, так как стабильность процесса АФФ/АФ сводит количество внутренних дефектов (пор, шлаковых включений) к минимуму.

Вывод: выбираем автоматическую сварку

Сущность автоматической сварки

Сущность автоматической сварки под слоем флюса заключается в полной механизации основных движений сварщика (подачи проволоки и перемещения дуги) и защите зоны плавления слоем зернистого порошка (флюса).

Электрическая дуга горит в газовом пузыре между концом электродной проволоки и основным металлом, находясь полностью скрытой под слоем расплавленного и нерасплавленного флюса.

Благодаря высокой плотности тока (в 5–10 раз выше, чем при ручной сварке) и давлению дуги в замкнутом пространстве, обеспечивается глубокое проплавление металла (до 10–12 мм за один проход без разделки кромок).

Слой флюса и шлака препятствует быстрому отводу тепла, что способствует дегазации сварочной ванны и формированию плотного шва с плавным переходом к основному металлу.

Металлургические процессы

Флюс выполняет три критические функции:

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	Не докум.	Под-	Дат		35

- Изоляция: Полная защита расплава от атмосферного азота и кислорода;
- Легирование и раскисление: Флюс вступает в химическую реакцию с жидким металлом, очищая его от вредных примесей (серы и фосфора) и насыщая легирующими элементами (кремнием, марганцем);
- Формирование: Расплавленный шлак поддерживает жидкий металл, обеспечивая правильную геометрию шва и гладкую поверхность.

Механизация по УП (Управляющей Программе)

Сущность метода в условиях автоматизации заключается в поддержании стабильности параметров:

- Постоянство скорости: Сварочный трактор перемещается с заданной скоростью, исключая неравномерность шва;
- Автоматическая подача: Скорость подачи проволоки синхронизирована со скоростью плавления, что поддерживает постоянную длину дуги.

Для выполнения угловых, тавровых и нахлесточных соединений корпуса (включая приварку штуцеров, люков и опорных элементов) принята механизированная сварка плавящимся электродом в среде активных газов (MAG). Данный выбор обусловлен следующими факторами:

- Технологические ограничения автоматизации: Применение автоматической сварки под слоем флюса для данных узлов затруднено из-за сложной пространственной траектории швов и риска неконтролируемого стекания расплавленного флюса и шлака с криволинейных поверхностей

штуцеров малого диаметра.

- Маневренность и универсальность: Механизированная сварка (полуавтоматическая) обеспечивает высокую мобильность сварочной горелки, что критично для качественного формирования корня шва в труднодоступных зонах сопряжения арматуры с обечайкой и днищами.

- Эффективность процесса: Использование метода MAG характеризуется значительно более высоким коэффициентом наплавки и коэффициентом использования рабочего времени по сравнению с ручной дуговой сваркой (РДС). Отсутствие

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	Не докум.	Под-	Дат		36

необходимости в частой смене электродов и сокращение времени на промежуточную очистку шва от шлака существенно повышают общую производительность сборочно-сварочных операций.

Сущность полуавтоматической сварки (в среде защитных газов — MIG/MAG) заключается в том, что сварочная проволока подается в зону дуги механизированно (с помощью приводного механизма), а перемещение горелки вдоль шва осуществляется сварщиком вручную.

Сплошная металлическая проволока подается из катушки через гибкий шланг в горелку с постоянной скоростью. Через сопло горелки в зону сварки подается защитный газ (аргон или смесь аргона с углекислым газом). Он вытесняет воздух, защищая расплавленный металл от окисления азотом и кислородом.

Сварщик управляет только скоростью перемещения горелки и длиной дуги, что позволяет поддерживать стабильное проплавление и высокую производительность по сравнению с ручной дуговой сваркой (ММА).

Отсутствие шлаковой корки (в отличие от сварки электродом) снижает риск загрязнения нержавеющей стали.

Высокая скорость сварки уменьшает зону термического влияния, что критически важно для сохранения коррозионной стойкости и предотвращения выгорания титана и молибдена.

6 Обоснование выбора сварочных материалов

В соответствии с требованиями ОСТ 26.260.3–2001, для сохранения коррозионной стойкости сварных соединений и обеспечения равнопрочности с основным металлом (сталь 10X17H13M2T), приняты следующие сварочные материалы: для автоматической сварки под флюсом (швы С29) – проволока Св– 06Х20Н11М3ТБ в сочетании с флюсом АН-26С.

Молибден обеспечивает стойкость металла шва к питтинговой (точечной) коррозии, что критично для контакта с органическими растворителями.

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	Не докум.	Под-	Дат		37

Титан (Т) и Ниобий (Б): Двойное стабилизирование («ТБ»). Ниобий в составе этой проволоки является определяющими факторами стойкости к МКК при автоматической сварке под флюсом, так как он, в отличие от титана, практически не выгорает в дуге и гарантированно связывает углерод.

Хром (20%) и Никель (11%): Обеспечивают высокую коррозионную стойкость и полностью аустенитную структуру шва с высокими показателями ударной вязкости.

Химический состав сварочной проволоки Св-06Х20Н11МЗТБ ГОСТ 2246–70 [16] приведен в таблице 5.

Таблица 5 – Химический состав сварочной проволоки по ГОСТ 2246–70

Марка проволоки	Химический состав, %, не более								
	Nb	Ni	S	Si	Mn	C	Ti	Cr	Mo
Св-06Х20Н11МЗТБ	0,7-1,3	10-12	0,018	0,3-0,7	1-2	до 0,09	0,5-0,9	19-22	2,5-3,5

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

Выбор сварочного флюса АН–26С

Для автоматической сварки под флюсом (швы С29) принят флюс марки АН–26С, который согласно ОСТ 26.260.3–2001 является специализированным для сварки высоколегированных сталей аустенитного класса.

Флюс относится к фторидно-основному типу с низким содержанием кремнезема (SiO_2). Это минимизирует окисление легирующих элементов (хрома, молибдена, титана) в процессе переноса металла через дуговой промежуток. Флюс обеспечивает стабильное горение дуги при работе на постоянном токе обратной полярности и гарантирует отличное формирование чешуйчатости шва.

Шлаковая корка легко отделяется от поверхности нержавеющей стали, что исключает риск возникновения поверхностных дефектов и включений, которые могли бы стать очагами коррозии при контакте с рабочей средой. Химический состав сварочного флюса приведен в таблице 6.

Таблица 6 – Химический состав сварочного флюса по ГОСТ Р 52222–2004 [17]

Марка флюса	Массовая доля, %						
	оксид кремния (IV)	оксид марганца (II)	оксид кальция	оксид магния	фтористого кальция	фтористого натрия	оксида алюминия
АН-26С	29-32	2,5-4,0	4-8	15-18	20-24	-	19-23

Продолжение таблицы 6

Марка флюса	Массовая доля, %					
	оксид калия + натрия	оксид железа (III)	оксид титана (IV)	оксид циркония (IV)	Серы	Фосфора
					не более	
АН-26С	-	не более 1,5	-	-	0,08	0,08

Выбор сварочных материалов для полуавтоматической сварки осуществляем в соответствии с ОСТ 26.260.3–2001 с целью обеспечения коррозионной стойкости и эксплуатационной надежности узлов примыкания (штуцеров).

В качестве сварочных материалов выбираем проволоку Св–08Х19Н10М3Б ГОСТ 2246–70.

Химический состав сварочной проволоки приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Химический состав сварочной проволоки Св–08Х19Н10М3Б по ГОСТ 2246–70

Химический состав, %, не более										
P	Ni	S	Si	Mn	C	Ti	Cr	Mo	Nb	N
0,025	9-11	0,018	до 0,6	1-2	до 0,1	0,5-0,8	18-20	2-3	0,9-1,3	до 0,05

Данная марка выбрана как наиболее совместимая с основным металлом (10Х17Н13М2Т) при выполнении угловых соединений.

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ					Лис
Изм.	Лис	Не докум.	Под-	Дат						39

Легирование ниобием (Б): В отличие от титана, который сильно выгорает при дуговой сварке, ниобий переходит в шов более стабильно. Он выполняет роль стабилизатора, связывая углерод и предотвращая межкристаллитную коррозию (МКК), что критически важно для аппаратов, работающих с серной кислотой.

Система «Хром–Никель–Молибден»: Содержание молибдена (МЗ) обеспечивает равнопрочность и идентичную химическую стойкость шва и основного металла в агрессивной среде. Проволока обеспечивает получение аустенитно-ферритной структуры металла шва, что повышает его стойкость к образованию горячих трещин при сварке угловых соединений (У12).

В качестве защитной среды выбираем смесь М12 (98%Ar+2%) – промышленный стандарт. 2% углекислоты стабилизируют дугу и предотвращают пористость, при этом аргон надежно защищает легирующие элементы от окисления.

7 Техника и технология сварки изделия

Сварку продольных и кольцевых стыков обечаек выполняем с помощью автоматической сваркой под флюсом на специальном стенде, состоящей из роликового вращателя ПКБА–20, сварочной колонны BCZZ с закрепленным на ней сварочным автоматом А-1416 и сварочным трактором АДФ-800. Общий вид стенда показан на рисунке 10.

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	Не докум.	Под-	Дат		40

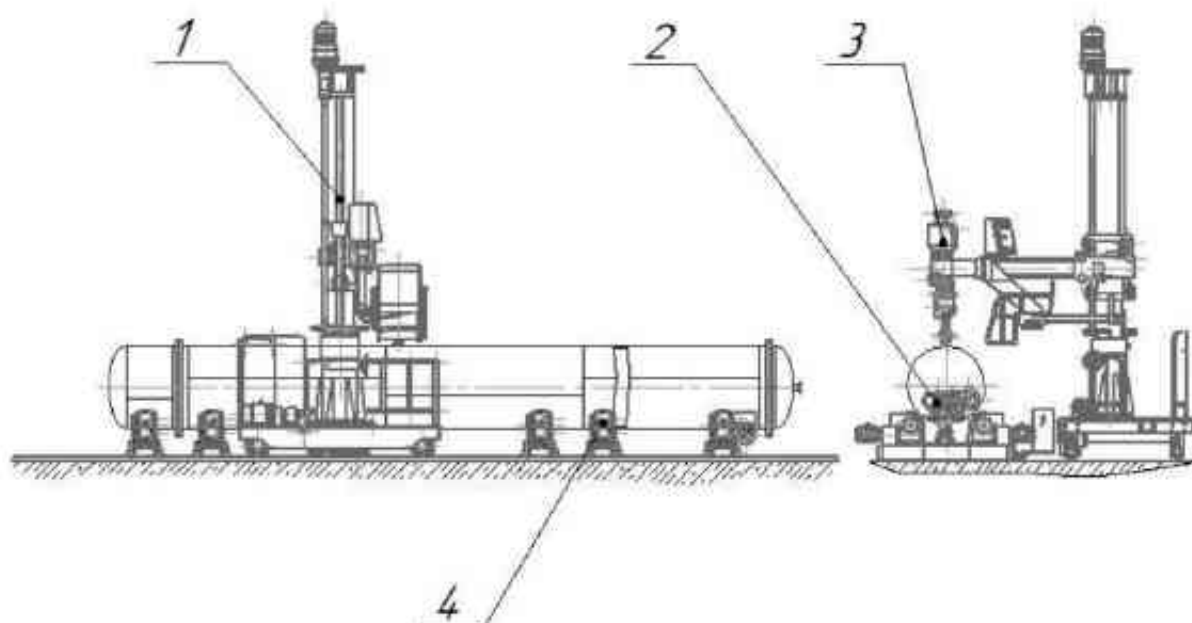


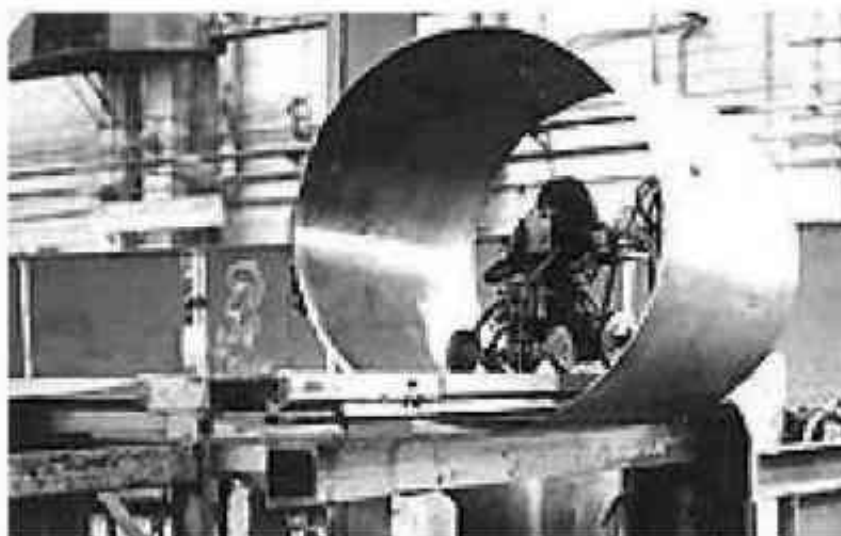
Рисунок 10 – Установка для сварки продольных и кольцевых швов:

- 1 – Сварочная колонна BCZZ, 2 – Сварочный трактор АДФ-800,
3 – Сварочный автомат А-1416, 4 –Роликовый вращатель ПКБА-20.

Сварочным автоматом А-1416 свариваются швы с наружной стороны. Сварочным трактором АДФ-800 свариваются швы внутри обечайки.

Операция 005 Сборочно-сварочная

Сборка и сварка продольных швов на каждой из четырех частей цилиндрической обечайки при соединении С29 по ГОСТ8713-79.



					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		41

Рисунок 11– Использование сварочного трактора при сварки продольного шва внутри обечайки.

Подготовка кромок и заготовок

Четыре части цилиндрической обечайки (листа), предварительно прошедшие вальцовку, подаются на сборочный стенд. Производится механическая очистка кромок и прилегающих зон (шириной не менее 20 мм) до металлического блеска с последующим обезжириванием ацетоном или спиртом для удаления следов масел (критично для предотвращения пор в нержавеющей стали).

Сборка под сварку

Листы стыкуются с обеспечением нормативного зазора. Для обеспечения проектного зазора 2 мм и соосности кромок применяется цепной фиксатор с винтовым зажимом. Привариваются полуструбцины. В технологии сборки и сварки продольных швов обечаек при толщине 10 мм полуструбцины выполняют три критически важные функции:

- Совмещение кромок в одной плоскости: При вальцовке листов часто возникает «дефект формы» (смещение кромок по высоте). Полуструбцина позволяет притянуть выступающую кромку к основной, устраняя «порог» и обеспечивая идеальное стыковое соединение типа С29.

- Фиксация зазора (2 мм): Полуструбцины удерживают заданный технологический зазор по всей длине шва (2000 мм), не давая кромкам

«схлопнуться» или разойтись под действием внутренних напряжений металла.

- Предотвращение угловых деформаций («домика»): При сварке продольного шва металл стремится стянуться, из-за чего обечайка в районе стыка может потерять цилиндрическую форму. Полуструбцины создают временную жесткость, удерживая радиус кривизны до момента постановки основных прихваток или выполнения первого прохода.

Контролируется смещение кромок (не более 10–15% от толщины листа). Фиксация производится на выводных планках (из того же материала

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дат		42

10X17H13M2T), устанавливаемых в начале и конце шва. Это необходимо для вывода кратера дуги и установившегося режима сварки за пределы основного изделия. Прихватка осуществляется полуавтоматом короткими швами (20–30 мм) с шагом 250–300 мм.

Установка передвижной флюсовой подушки ПФП–2000

Флюсовая подушка удерживает расплавленный металл и формирует обратный валик, предотвращая прожоги. Пневматическую подушку подводят под стык снаружи обечайки. Подается сжатый воздух в шланг подушки, который плотно прижимает слой флюса к нижней части стыка. Важно, чтобы слой флюса был равномерным и плотным по всей длине шва, иначе возникнут выплески металла.

Сварка продольного шва

Сварка шва №1 выполняется в два прохода (двусторонняя):

– Производится настройка автомата АДФ-800. В бункер засыпают сухой флюс, в подающий механизм заправляют сварочную проволоку. Вылет электрода и направление проволоки выставляют точно по центру разделки шва. Устанавливают параметры (сила тока, напряжение, скорость сварки) согласно техпроцессу для данной толщины металла.

– Процесс сварки. Первый проход выполняется внутри обечайки сварочным трактором. Дугу зажигают на входной технологической планке.

Автомат перемещается по направляющим (рельсам), подавая флюс и проволоку в зону дуги. Сварка идет «закрытой дугой» под слоем флюса. Сварку заканчивают на выходной планке.

– После остывания со шва скалывают шлаковую корку. Удаление стяжных скоб методом механической резки (с последующей зачисткой мест приварки и ПВК-контролем). Клеймение шва и передача на визуально-измерительный контроль. Визуально проверяют отсутствие непроваров и подрезов перед переворотом изделия для выполнения второго (внешнего) прохода.

– После выполнения внутреннего прохода и удаления флюсовой подушки приступают к второму (внешнему) проходу. Это основной этап, который обеспечи-

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		43

вает окончательное проплавление и формирование усиления шва. С наружной стороны стык зачищают стальной щеткой или шлифмашинкой. Обечайку фиксируют на роликовом стенде. Колонну BCZZ перемещают по рельсам к стыку или выдвигают консоль (стрелу) так, чтобы сварочная головка А-1416 находилась над началом шва.

– Наружный проход на колонне выполняется «на проход» поверх внутреннего шва: Поскольку А-1416 закреплен на жесткой консоли, оператор использует систему лазерного указателя или видеокамеру (частая опция для BCZZ), чтобы следить за центровкой. Флюс подается из бункера самотеком, а неиспользованный флюс засасывается вакуумной системой (флюсоотсосом), закрепленной на этой же колонне. Сварка заканчивается на выходных планках.

Операция 010 Сборочно-сварочная

Сборка трех обечаек в единую секцию с соединением С29 по ГОСТ 8713–79 (стыковое двустороннее соединение без скоса кромок) требует высокой точности центровки.

Сборка «трубы» из трех сегментов выполняется на роликовом стенде:

– Первая и вторая обечайки устанавливаются на роликоопоры. С помощью стяжных устройств выставляется нормативный зазор для С29 (согласно ГОСТ это обычно 0–2 мм при автоматической сварке);

– Проверяется совпадение кромок. Допускаемое смещение (депланация) – не более 10–15% от толщины стенки;

– После фиксации первых двух частей аналогично присоединяется третья обечайка. Приспособление должно обеспечивать соосность всей конструкции, чтобы избежать «перелома» оси секции;

– Прихватка кольцевых стыков. Прихватки выполняются полуавтоматом в среде защитных газов. Длина прихватки 50–100 мм, шаг – через каждые 300–400 мм по окружности. Прихватки должны иметь плавный переход к основному металлу, чтобы автомат мог их легко переплавить.

Автоматическая сварка (двусторонняя)

					<i>ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ</i>	<i>Лис</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Под-</i>	<i>Дат</i>		44

Соединение С29 требует провара на большую глубину. Сварка выполняется на кольцевых швах при вращении изделия на роликоопорах, в то время как сварочная колонна BCZZ с головкой А-1416 остается неподвижной в зените. Процесс сварки кольцевых швов аналогичен сварки продольного шва. Сначала сварка трактором изнутри потом автоматом снаружи. Передвижная подушка ФК-1 устанавливается под шов обечайки, который необходимо сварить. Трактор АДФ-800 заводится внутрь обечайки. Сварщик устанавливает трактор не в самой нижней точке, а с небольшим смещением «на подъем» (в сторону, противоположную вращению роликов). Это нужно, чтобы ванна кристаллизовалась в нижней точке, а не стекала под уклон. Роликовый стенд вращает обечайку с заданной скоростью, а трактор стоит «на месте» относительно земли, проваривая корень шва изнутри. Далее выполняется второй проход с наружной части обечайки сварочным автоматом А-1416

Операция 015 Вырезная

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

Разметка и позиционирование

Днище устанавливается на ложемент строго горизонтально. С помощью гибких шаблонов или специализированного циркульного приспособления наносится контур будущего отверстия. Для штуцера устанавливаемого перпендикулярно оси резервуара, отверстие на эллиптической поверхности будет иметь форму эллипса, а не круга. Разметка выполняется с учетом этого геометрического искажения. Вырезка отверстия под штуцер производится с помощью аппарата плазменной резки. Подбираются режимы: ток устанавливается в пределах 60–80 А, скорость резки — около 1,5–2,0 м/мин.

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		45

Процесс резки начинается внутри контура (с отступом 5–10 мм от линии разметки), чтобы исключить повреждение кромки отверстия в момент зажигания дуги. Плазмотрон должен удерживаться под углом 90° к касательной в каждой точке криволинейной поверхности. Если патрубок варивается «встык» с фаской, робот или копир сразу выполняет наклон сопла для формирования разделки кромок. Плазменная резка дает минимальную зону термического влияния (ЗТВ), но для предотвращения коробления тонкого края отверстия (10 мм) резку ведут непрерывно.

Финишная обработка

Удаление грата (наплывов) с нижней кромки с помощью пневматического шабера или шлифмашинки. Зачистка кромки до металлического блеска на ширину 10–15 мм под контроль ПВК (капиллярный метод), так как в зоне термического влияния после плазмы возможны микротрещины.

Используются следующие инструменты контроля:

- Контрольные шаблоны: Для проверки соответствия формы вырезанного отверстия диаметру люка или патрубка;
- Угломеры: Для проверки угла разделки кромок (если фаска выполнялась плазмой).

Операция 020 Вырезная

Вырезка отверстий под штуцера в обечайке. Разметку ведут от главных осей обечайки (продольного и кольцевого швов) согласно чертежу. Наносят осевые линии и окружность отверстия. Для точности припуска под механическую обработку (если она предусмотрена) чертят две линии: линию реза и контрольную линию.

При разметке на цилиндрической поверхности важно использовать гибкие шаблоны или специализированные разметочные приспособления, чтобы отверстие не получилось эллипсным после вырезки. Отверстия вырезаются плазменной резкой.

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		46

Операция 025 Сборочно-сварочная

Сварка днища со штуцером выполняется с использованием поворотного стола, на который устанавливается днище. Сборка и сварка штуцера с эллиптическим днищем по типу соединения У12 (угловое соединение с полной разделкой кромок на днище) является одной из самых ответственных операций при изготовлении аппаратов теплообменных, так как этот узел подвержен максимальной концентрации напряжений.

Подготовка и сборка под сварку

В отверстии на днище выполняется односторонняя разделка кромок под углом $45^\circ \pm 2^\circ$ с притуплением 1–2 мм (согласно РД 26–18–8–89). Кромки отверстия, вырезанного плазмой, зачищаются шлифмашинкой до удаления следов термического влияния. Поверхность днища вокруг отверстия зачищается на ширину 20–30 мм. Штуцер устанавливается в отверстие днища. Контролируется перпендикулярность оси штуцера к базовой плоскости днища и величина зазора (1–2 мм для обеспечения полного провара корня). Контролируется вылет штуцера над поверхностью днища.

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

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

Сварку целесообразно выполнять полуавтоматическим способом в смеси газов.

Первый (корневой) слой: Самый ответственный этап. Сварка ведется с полным проплавлением притупления.

Заполняющие слои: Выполняются в 3 прохода. Каждый последующий слой должен перекрывать предыдущий на 1/3 ширины.

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

Операция 030 Сборочно-сварочная

					ПГУ ВКР 15 03 01 223М0037 ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		47

Сборка и сварка седловых опор под обечайку выполняется в специально отведенной зоне стапеля (ложементах) с использованием полуавтоматической сварки в среде защитных газов (*MIG/MAG*).

Седловая опора состоит из ложемента (листа с радиусным вырезом), ребер жесткости и опорной плиты. Кромки деталей и зоны прилегания (шириной не менее 20 мм) очищаются от консервации и окалины до металлического блеска.

Выставление геометрии: На сборочной плите фиксируется опорная плита. Перпендикулярно ей устанавливается ложемент. Контроль ведется по угольнику и шаблонам, соответствующим радиусу обечайки. Выполняются прихватки длиной 20–30 мм полуавтоматом в шахматном порядке для минимизации сварочных напряжений. Далее происходит сварка деталей опор.

Операция 035 Сборочно-сварочная

Сборка и сварка кольцевого шва обечайки и днища с фланцами при соединении С29 по ГОСТ 8713-79.

Предварительная сборка и прихватка подборок:

– Произвести установку и центровку фланца №1 с обечайкой, выполнить фиксацию элементов прерывистыми прихватками.

– Аналогично выполнить сборку второй подборки: совместить фланец

№2 с днищем и зафиксировать их прихватками.

Контрольная сборка узла:

Осуществить стыковку двух полученных подборок по зеркалу фланцев. Для обеспечения соосности отверстий и предотвращения температурных деформаций произвести болтовую стяжку фланцевого соединения. Использовать технологические проставки между зеркалами фланцев для исключения коробления уплотнительных поверхностей при нагреве.

Внутренняя сварка:

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дат		48

Разместить собранную конструкцию на роликовом стенде. Выполнить внутренний кольцевой шов с помощью сварочного трактора (АДФ-800) методом сварки под флюсом «на подъем».

Наружная сварка:

Выполнить наружный кольцевой шов с помощью подвесной сварочной головки (А-1416), закрепленной на колонне (BCZZ). Сварку производить в автоматическом режиме с обеспечением необходимого перекрытия (замка) внутреннего и наружного швов для достижения полного провара соединения.

После полного остывания сварного соединения произвести демонтаж стяжных болтов и визуально-измерительный контроль геометрии узла.

Операция 040 Сборочно-сварочная

Сборка и сварка кольцевого шва обечаек и днища с фланцами при соединении С29 по ГОСТ 8713–79.

Предварительная сборка и прихватка подборок:

Произвести установку и центровку фланца №1 с обечайкой, выполнить фиксацию элементов прерывистыми прихватками.

Аналогично выполнить сборку второй подборки: совместить фланец №2 с обечайкой и зафиксировать их прихватками.

Совместить днище с обечайкой и зафиксировать их прихватками.

Контрольная сборка узла:

Осуществить стыковку двух полученных подборок по зеркалу фланцев. Для обеспечения соосности отверстий и предотвращения температурных деформаций произвести болтовую стяжку фланцевого соединения. Использовать технологические проставки между зеркалами фланцев для исключения коробления уплотнительных поверхностей при нагреве.

Внутренняя сварка:

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дат		49

Разместить собранную конструкцию на роликовом стенде. Выполнить внутренний кольцевой шов с помощью сварочного трактора (АДФ-800) методом сварки под флюсом «на подъем».

Наружная сварка:

Выполнить наружный кольцевой шов с помощью подвесной сварочной головки (А-1416), закрепленной на колонне (BCZZ). Сварку производить в автоматическом режиме с обеспечением необходимого перекрытия (замка) внутреннего и наружного швов для достижения полного провара соединения.

После полного остывания сварного соединения произвести демонтаж стяжных болтов и визуально-измерительный контроль геометрии узла.

Операция 045 Сборочно-сварочная

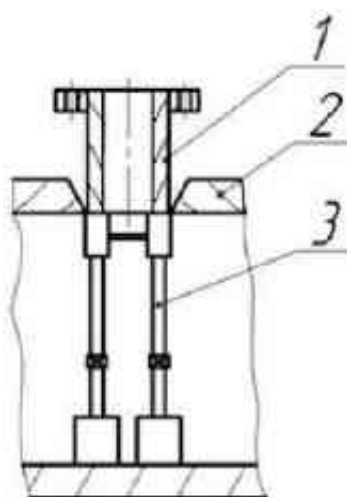


Рисунок 12 – Способ установки штуцера в корпус аппарата: 1 – штуцер (лук), 2 – стенка емкости, 3 – распорка

Штуцер устанавливается в проектное положение по схеме с заглублением в корпус аппарата. С помощью распорки устанавливаем необходимую величину заглубления люка в корпус аппарата (рис. 0). Контролируется вылет штуцера внутрь или наружу корпуса (согласно чертежу). Выполняется прихватки механизированной сваркой в среде защитных газов. Количество прихваток 3–4 равномерно по окружности, длиной 10–15 мм каждая. Прихватки должны иметь плавный переход

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	Не докум.	Под-	Дат		50

к основному металлу. Сварка выполняется в 3 прохода непрерывно по всей окружности

Операция 050 Сборочно-сварочная

Сборка и сварка корпуса аппарата теплообменного с опорами при соединении Н1 по ГОСТ 14771-76. Технологический процесс сборки и сварки седловых опор с корпусом теплообменного аппарата (соединение Н1 по ГОСТ 14771-76) характеризуется высокой ответственностью, так как опоры воспринимают статические и динамические нагрузки от массы аппарата и рабочей среды.

Поверхность обечайки в местах прилегания опор и опорные листы (ложеры) зачищаются до металлического блеска на ширину 25–30 мм от кромки будущего шва.

Производится контроль геометрии опор на соответствие радиусу кривизны корпуса (820 мм) для обеспечения плотного прилегания (зазор не должен превышать 1,5–2 мм согласно требованиям к нахлесточным соединениям).

Корпус теплообменника с помощью мостового крана (кран-балки) устанавливается на предварительно выверенные по уровню и межосевому расстоянию седловые опоры.

Контролируется перпендикулярность опор к продольной оси аппарата и симметричность их расположения относительно вертикальной оси.

Фиксация (прихватка): Выполняется механизированной сваркой в среде защитных газов (MAG). Прихватки наносятся прерывисто с обеих сторон опоры (длина прихватки 30–40 мм, шаг 200–300 мм).

Используется проволока Св-08Х19Н10МЗБ диаметром 1,6 мм.

Сварочные работы (Соединение Н1): Сварка выполняется полуавтоматом, что обеспечивает минимальное тепловложение и отсутствие деформаций тонкостенной обечайки (10 мм). Тип шва: Нахлесточный двусторонний (Н1) с катетом 10 мм. Сварка ведется «от середины к краям» для равномерного распределения сварочных напряжений.

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	Не докум.	Под-	Дат		51

8 Расчет параметров режимов сварки

Основными детерминантами режима автоматической сварки под флюсом, определяющими глубину проплавления обечайки (10 мм), являются сварочный ток и дуговое напряжение. Схематическое изображение стыкового соединения приведено на рисунке 13.

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		52

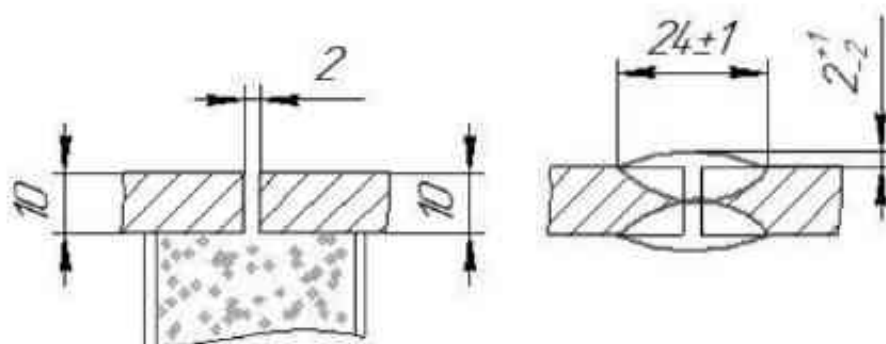


Рисунок 13 – Эскиз стыкового соединения С29 ГОСТ8713-79

Устанавливаем требуемую глубину проплавления при сварке шва с внутренней стороны по формуле [19]:

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

где S - толщина обечайки

$$h = \frac{10}{2} + 2 = 7 \text{ мм}$$

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

$$I_{\text{св}} = (80 \dots 100) \cdot h_0, \quad (8.2)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.2.

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

Принимаем $I_{\text{св}} = 600 \text{ А}$

Определяем диаметр эл электродной проволоки по формуле:

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

где, $I_{\text{св}}$ – величина сварочного тока, А;

j – плотность тока, А/мм²

Допускаемая плотность тока при автоматической сварке зависит от диаметра электрода и определяется по таблице 8.

Таблица 8 – Допустимая плотность тока для электродов

$d_{\text{эл}}$, мм	1	2	3	4	5	6	
							Лис
							53
Изм.	Лис	Не докум.	Под-	Дат	ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ		

J, A/мм ²	90...400	65...200	45...90	35...60	30...50	25...45
----------------------	----------	----------	---------	---------	---------	---------

Принимаем для расчетов плотность тока $j = 60 \text{ A/мм}^2$. Подставляем полученные значения в формулу 8.3.

$$d_{\text{эл}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{600}{60}} = 3,5 \text{ мм}$$

Принимаем $d_{\text{эл}} = 4 \text{ мм}$

Для проволоки $d_{\text{эл}} = 4 \text{ мм}$ скорость сварки $V_{\text{св}}$ определяем по формуле [19]:

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

Подставляем полученные значения в формулу 8.4.

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

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

Полученный предел скорости сварки соответствует рекомендуемому 4...16 мм/с при использовании флюса АН – 26С.

Оптимальное напряжение дуги $U_{\text{д}}$ может быть определено по формуле:

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

Подставляем полученные значения в формулу 8.5.

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{4^{0,5}} \cdot 600 \pm 1 = 35 \text{ В}$$

Принимаем $U_{\text{д}} = 35 \text{ В}$

Значение коэффициента определяется по таблице исходя из условий по формуле:

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

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	Не докум.	Под-	Дат		54

Коэффициент формы провара в зависимости от основных параметров режима сварки может быть определяем по формуле:

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

Значение коэффициента K^I определяем по таблице 8.2.

Принимаем:

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

Таблица 9 – Значение коэффициента K^I

Род тока	Полярность	Величина коэффициента K^I	Величина коэффициента K^I
Переменный	–	1	1
Постоянный	Обратная	$0,367 \cdot j^{0,1925}$	$0,367 \cdot j^{0,1925}$
	Прямая	$2,82 \cdot j^{0,1925}$	$2,82 \cdot j^{0,1925}$
	Обратная	0,92	0,92
	Прямая	1,12	1,12

Подставляем исходные значения в формулу 8.7.

$$K^I = 0,367 \cdot \left(\frac{600 \cdot 4}{\pi \cdot 4^2} \right)^{0,1925} = 0,86$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.6.

$$\psi_{пр} = 0,86 \cdot (19 - 0,01 \cdot 600) \cdot \frac{2 \cdot 35}{600} = 2,9$$

Величина погонной энергии q_n рассчитывается по формуле:

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

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

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		55

Принимаем $\eta_d = 0,9$

Подставляем исходные значения в формулу 8.8.

$$q_{II} = \frac{600 \cdot 35 \cdot 0,9}{0,5} = 39960 \text{ Дж/см}$$

Определяем глубину проплавления h_{ϕ} по формуле:

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

Подставляем исходные значения в формулу 8.9

$$h_{\phi} = 7,6 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{39960}{2,9}} = 0,8 \text{ см} = 8 \text{ мм}$$

Определяем ширину шва e по формуле:

$$e = \psi \cdot h_{\phi}, \quad (8.10)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.10.

$$e = 2,9 \cdot 8 = 23,2 \text{ мм}$$

Определяем высоту валика по формуле:

$$c = \frac{F_H - H \cdot b_1}{0,73 \cdot e - b_1}, \quad (8.11)$$

где F_H – площадь поперечного сечения наплавленного металла за данный проход, мм^3 ;

0,75 – коэффициент полноты валика при автоматической и полуавтоматической сварке;

H – площадь поперечного сечения наплавленного металла за данный проход, мм^2

Определяем площадь поперечного сечения наплавленного металла за данный проход при установленной скорости перемещения дуги по формуле:

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

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

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		56

α_H – коэффициент наплавки, г/А ч.

Коэффициент наплавки, определяется по формуле:

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

где ψ – потери электродного металла.

α_p – коэффициент расплавления электродной проволоки, г/А ч.

Коэффициент расплавления электродной проволоки, определяется по формуле [19]:

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

Подставляем полученные значения в формулу 8.14.

$$\alpha_p = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{600}{4}\right) \cdot 10^{-4} = 0,0052 \text{ г/А} \cdot \text{с} = 18,2 \text{ г/А} \cdot \text{ч};$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.13.

$$\alpha_H = 18,2 \cdot \left(1 - \frac{2,9}{100}\right) = 16,4 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.12.

$$F_H = \frac{16,4 \cdot 600}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,5} = 0,3 \text{ см}^2 = 30 \text{ мм}^2$$

Определяем высоту валика по формуле:

$$c = \frac{F_H}{0,73 \cdot e}, \quad (8.15)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.15.

$$c = \frac{30}{0,73 \cdot 23,2} = 1,76 \text{ мм}$$

Определяем высоту шва H по формуле:

$$H = h_{\phi} + c, \quad (8.16)$$

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		57

Подставляем полученные значения в формулу

$$H = 8 + 1,76 = 9,76 \text{ мм}$$

Определяем скорость подачи проволоки по формуле:

$$V_{\text{ппр}} = \frac{4 \cdot \alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{св}}}{\pi \cdot d_{\text{ст}}^2 \cdot \gamma}, \quad (8.17)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.17.

$$V_{\text{ппр}} = \frac{4 \cdot 16,4 \cdot 600}{\pi \cdot 4^2 \cdot 7,8} = 88,9 \text{ м/ч}$$

Расчет режимов для сварки шва №3. Угловое соединение У12 РД26–18–8–89 изображено на рисунке 14.

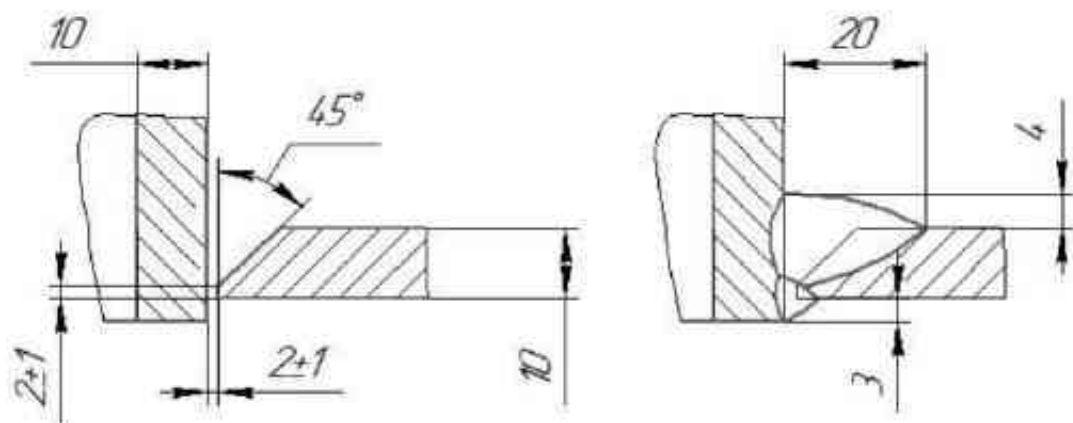


Рисунок 14 – Угловое соединение типа У12 РД26–18–8–89

Выбираем диаметр электродной проволоки по таблице 10.

Таблица 10 – Зависимость величины диаметра электродной проволоки от толщины свариваемых изделий.

Параметр	Значение			
Толщина деталей S , мм	1,0...2,0	3,0...6,0	6,0...10,0	10,0...24,0
Диаметр сварочной проволоки $d_{\text{ст}}$	0,8...1,0	1,2...1,6	1,6...2,0	2,0 и более

На основании таблицы 10 принимаем диаметр электродной проволоки равным 1,6 мм.

Расчет величины сварочного тока. Величина сварочного тока определяется в зависимости от диаметра электродной проволоки согласно рекомендациям таблицы 11.

Таблица 11 – Допускаемая величина сварочного тока в зависимости от диаметра электродной проволоки

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

Исходя из конструктивных особенностей данного сварного соединения, сварку необходимо выполнять в несколько проходов. Принимаем следующие исходные данные согласно таблицы 11.

$d_{эл} = 1,6$ мм, величина сварочного тока, $I_{св} = 230$ А;

Определяем площадь шва по формуле:

$$F = S \cdot b + 0,5 \cdot (S - C)^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha + 0,75 \cdot e \cdot q \quad (8.18)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.18

$$F = 10 \cdot 2 + 0,5 \cdot (10 - 1) \cdot \operatorname{tg} 45 + 0,75 \cdot 20 \cdot 4 = 84,5 \text{ мм}^2$$

Определяем оптимальное напряжение дуги по формуле:

$$U_{д} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_{эл}^{0,5}} \cdot I_{св} \pm 1 \quad (8.19)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.19.

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,6^{0,5}} \cdot 230 \pm 1 = 23,5 \pm 1 \text{ В}$$

Принимаем $U_{\text{д}} = 24 \text{ В}$

Определяем коэффициент провара по формуле [11]:

$$\psi_{\text{пр}} = K^I \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{\text{св}}) \cdot \frac{d_{\text{эл}} \cdot U_{\text{д}}}{I_{\text{св}}}, \quad (8.20)$$

Тогда

$$K^I = 0,367 \cdot j^{0,1925} = 0,367 \cdot \left(\frac{I_{\text{св}} \cdot 4}{\pi \cdot d_{\text{эл}}^2} \right)^{0,1925}, \quad (8.21)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.21.

$$K^I = 0,367 \cdot \left(\frac{230 \cdot 4}{\pi \cdot 1,6^2} \right)^{0,1925} = 0,94$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.20.

$$\psi_{\text{пр}} = 0,88 \cdot (19 - 0,01 \cdot 230) \cdot \frac{1,6 \cdot 24}{240} = 2,4$$

Коэффициент наплавки определяется по формуле [11]:

$$\alpha_{\text{н}} = \alpha_{\text{р}} \cdot \left(1 - \frac{\psi}{100} \right), \quad (8.22)$$

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

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

Коэффициент расплавления электродной проволоки определяется по формуле:

$$\alpha_{\text{р}} = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{I_{\text{св}}}{d_{\text{эл}}} \right) \cdot 10^{-4}, \quad (8.23)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.23

$$\alpha_{\text{р}} = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{240}{1,6} \right) \cdot 10^{-4} = 0,00413 \text{ г/Ас} = 14,9 \text{ г/Ач}$$

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	Не докум.	Под-	Дат		60

Подставляем полученные значения в формулы 8.22.

$$\alpha_H = 14,9 \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 14,5 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$$

Определяем скорость подачи проволоки по формуле:

$$V_{\text{ппр}} = \frac{4 \cdot \alpha_H \cdot I_{\text{св}}}{\pi \cdot d_{\text{эл}}^2 \cdot \gamma} \quad (8.24)$$

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

$I_{\text{св}}$ – величина сварочного тока, А;

$d_{\text{эл}}$ – диаметр электрода, мм.

$$V_{\text{ппр}} = \frac{4 \cdot 14,5 \cdot 230}{\pi \cdot 1,6^2 \cdot 7,85} = 219 \text{ м/ч}$$

Определяем скорость сварки по формуле:

$$V_{\text{св}} = \frac{\alpha_H \cdot I_{\text{св}}}{\gamma \cdot F_H}, \quad (8.25)$$

где γ – плотность стали, г/см³;

α_H – коэффициент наплавки, г/А · ч;

F_H – площадь наплавки одного валика, мм².

Подставляем полученные значения в формулы 8.25.

$$V_{\text{св}} = \frac{14,5 \cdot 230}{7,8 \cdot 40} = 10,6 \text{ м/час}$$

Расчет режимов для сварки шва №4. Нахлесточное соединение

Н1 ГОСТ 14771-76 изображено на рисунке 15.

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		61

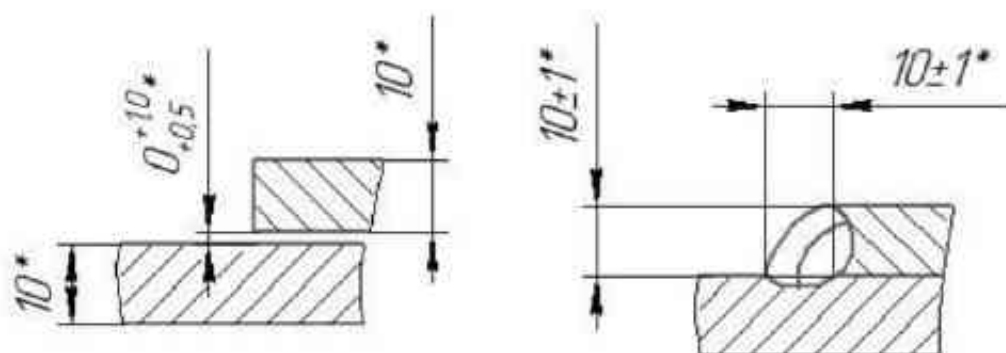


Рисунок 15 – Соединение типа Н1 ГОСТ 14771-76

Выбираем диаметр электродной проволоки по таблице 10.

На основании таблицы 10 принимаем диаметр электродной проволоки равным 1,6 мм. Расчет величины сварочного тока. Величина сварочного тока определяется в зависимости от диаметра электродной проволоки согласно рекомендациям таблицы 11. Исходя из конструктивных особенностей данного сварного соединения, сварку необходимо выполнять в несколько проходов.

Принимаем следующие исходные данные согласно таблицы 11.

$d_{эл} = 1,6$ мм, величина сварочного тока, $I_{св} = 230$ А;

Определяем площадь шва по формуле:

$$F = \frac{K}{2}, \quad (8.26)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.26.

$$F = \frac{10}{2} = 50 \text{ мм}^2$$

Определяем оптимальное напряжение дуги по формуле:

$$U_{д} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_{эл}^{0,5}} \cdot I_{св} \pm 1 \quad (8.27)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.27.

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		62

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,6^{0,5}} \cdot 230 \pm 1 = 23,5 \pm 1 \text{ В}$$

Принимаем $U_{\text{д}} = 24 \text{ В}$

Определяем коэффициент провара по формуле [11]:

$$\psi_{\text{пр}} = K^I \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{\text{св}}) \cdot \frac{d_{\text{эл}} \cdot U_{\text{д}}}{I_{\text{св}}}, \quad (8.28)$$

Тогда

$$K^I = 0,367 \cdot j^{0,1925} = 0,367 \cdot \left(\frac{I_{\text{св}} \cdot 4}{\pi \cdot d_{\text{эл}}^2} \right)^{0,1925}, \quad (8.29)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.21,

$$K^I = 0,367 \cdot \left(\frac{230 \cdot 4}{\pi \cdot 1,6^2} \right)^{0,1925} = 0,94$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.28.

$$\psi_{\text{пр}} = 0,88 \cdot (19 - 0,01 \cdot 230) \cdot \frac{1,6 \cdot 24}{240} = 2,4$$

Коэффициент наплавки определяется по формуле [11]:

$$\alpha_{\text{н}} = \alpha_{\text{р}} \cdot \left(1 - \frac{\psi}{100} \right), \quad (8.30)$$

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

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

Коэффициент расплавления электродной проволоки определяется по формуле:

$$\alpha_{\text{р}} = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{I_{\text{св}}}{d_{\text{эл}}} \right) \cdot 10^{-4}, \quad (8.31)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.31

$$\alpha_{\text{р}} = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{240}{1,6} \right) \cdot 10^{-4} = 0,00413 \text{ г/Ас} = 14,9 \text{ г/Ач}$$

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	Не докум.	Под-	Дат		63

Подставляем полученные значения в формулы 8.22.

$$\alpha_H = 14,9 \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 14,5 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$$

Определяем скорость подачи проволоки по формуле:

$$V_{\text{ппр}} = \frac{4 \cdot \alpha_H \cdot I_{\text{св}}}{\pi \cdot d_{\text{эл}}^2 \cdot \gamma} \quad (8.32)$$

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

$I_{\text{св}}$ – величина сварочного тока, А;

$d_{\text{эл}}$ – диаметр электрода, мм.

$$V_{\text{ппр}} = \frac{4 \cdot 14,5 \cdot 230}{\pi \cdot 1,6^2 \cdot 7,85} = 219 \text{ м/ч}$$

Определяем скорость сварки по формуле:

$$V_{\text{св}} = \frac{\alpha_H \cdot I_{\text{св}}}{\gamma \cdot F_H}, \quad (8.33)$$

где γ – плотность стали, г/см³;

α_H – коэффициент наплавки, г/А · ч;

F_H – площадь наплавки одного валика, мм².

Подставляем полученные значения в формулы 8.33.

$$V_{\text{св}} = \frac{14,5 \cdot 230}{7,8 \cdot 25} = 17,1 \text{ м/час}$$

Расчет режимов для сварки шва №5. Тавровое соединение ТЗ

ГОСТ 14771-76 изображено на рисунке 16.

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		64

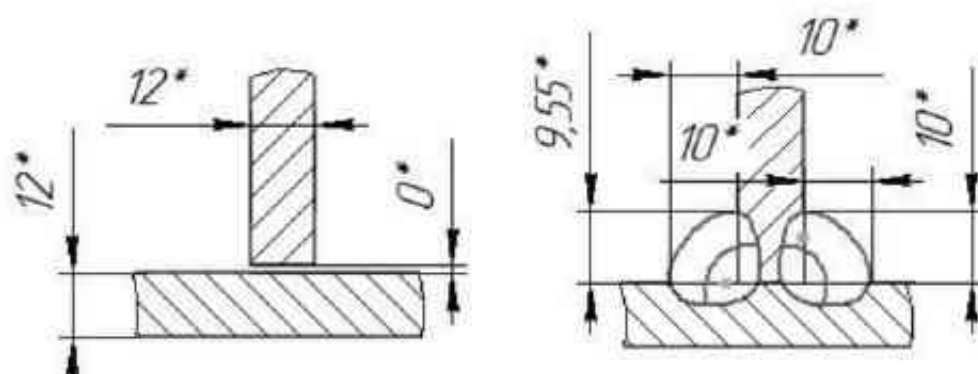


Рисунок 16 – Соединение типа ТЗ ГОСТ 14771-76

Выбираем диаметр электродной проволоки по таблице 10.

На основании таблицы 10 принимаем диаметр электродной проволоки равным 1,6 мм. Расчет величины сварочного тока. Величина сварочного тока определяется в зависимости от диаметра электродной проволоки согласно рекомендациям таблицы 11. Исходя из конструктивных особенностей данного сварного соединения, сварку необходимо выполнять в несколько проходов.

Принимаем следующие исходные данные согласно таблицы 11.

$d_{эл} = 1,6$ мм, величина сварочного тока, $I_{св} = 230$ А;

Определяем площадь шва по формуле:

$$F = \frac{K}{2}, \quad (8.34)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.34.

$$F = \frac{10}{2} = 50 \text{ мм}^2$$

Определяем оптимальное напряжение дуги по формуле:

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_{эл}^{0,5}} \cdot I_{св} \pm 1 \quad (8.35)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.35.

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,6^{0,5}} \cdot 230 \pm 1 = 23,5 \pm 1 \text{ В}$$

Принимаем $U_{\text{д}} = 24 \text{ В}$

Определяем коэффициент провара по формуле [11]:

$$\psi_{\text{пр}} = K^I \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{\text{св}}) \cdot \frac{d_{\text{эл}} \cdot U_{\text{д}}}{I_{\text{св}}}, \quad (8.36)$$

Тогда

$$K^I = 0,367 \cdot j^{0,1925} = 0,367 \cdot \left(\frac{I_{\text{св}} \cdot 4}{\pi \cdot d_{\text{эл}}^2} \right)^{0,1925}, \quad (8.37)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.21,

$$K^I = 0,367 \cdot \left(\frac{230 \cdot 4}{\pi \cdot 1,6^2} \right)^{0,1925} = 0,94$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.36.

$$\psi_{\text{пр}} = 0,88 \cdot (19 - 0,01 \cdot 230) \cdot \frac{1,6 \cdot 24}{240} = 2,4$$

Коэффициент наплавки определяется по формуле [11]:

$$\alpha_{\text{н}} = \alpha_{\text{р}} \cdot \left(1 - \frac{\psi}{100} \right), \quad (8.38)$$

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

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

Коэффициент расплавления электродной проволоки определяется по формуле:

$$\alpha_{\text{р}} = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{I_{\text{св}}}{d_{\text{эл}}} \right) \cdot 10^{-4}, \quad (8.39)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.39.

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		66

$$\alpha_p = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{240}{1,6} \right) \cdot 10^{-4} = 0,00413 \text{ г/Ас} = 14,9 \text{ г/Ач}$$

Подставляем полученные значения в формулы 8.38.

$$\alpha_H = 14,9 \cdot \left(1 - \frac{10}{100} \right) = 14,5 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$$

Определяем скорость подачи проволоки по формуле:

$$V_{\text{ппр}} = \frac{4 \cdot \alpha_H \cdot I_{\text{св}}}{\pi \cdot d_{\text{эл}}^2 \cdot \gamma} \quad (8.40)$$

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

$I_{\text{св}}$ – величина сварочного тока, А;

$d_{\text{эл}}$ – диаметр электрода, мм.

$$V_{\text{ппр}} = \frac{4 \cdot 14,5 \cdot 230}{\pi \cdot 1,6^2 \cdot 7,85} = 219 \text{ м/ч}$$

Определяем скорость сварки по формуле:

$$V_{\text{св}} = \frac{\alpha_H \cdot I_{\text{св}}}{\gamma \cdot F_H}, \quad (8.41)$$

где γ – плотность стали, г/см³;

α_H – коэффициент наплавки, г/А ч;

F_H – площадь наплавки одного валика, мм².

Подставляем полученные значения в формулы 8.41.

$$V_{\text{св}} = \frac{14,5 \cdot 230}{7,8 \cdot 25} = 17,1 \text{ м/час}$$

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		67

Расчет режимов для сварки шва №6. Угловое соединение У12 РД26-18-8-89 изображено на рисунке 17.

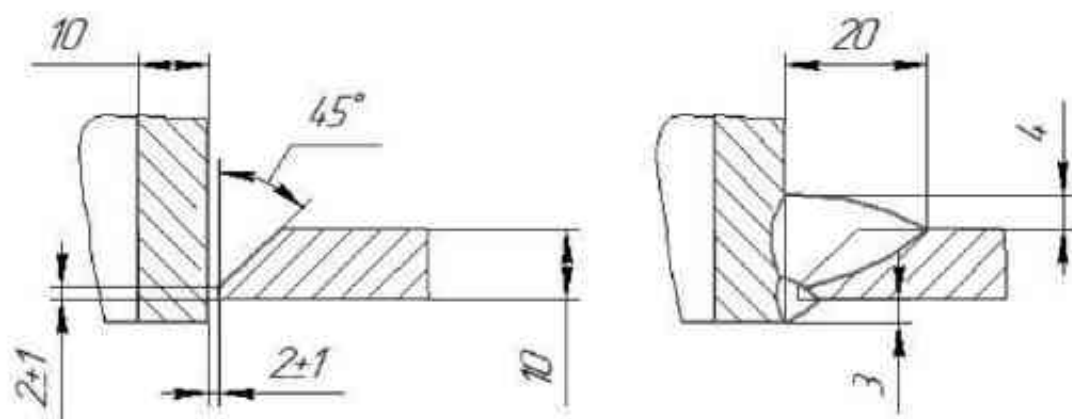


Рисунок 17 – Угловое соединение типа У12 РД26-18-8-89

Выбираем диаметр электродной проволоки по таблице 10. На основании таблицы 10 принимаем диаметр электродной проволоки равным 1,6 мм. Величина сварочного тока определяется в зависимости от диаметра электродной проволоки согласно рекомендациям таблицы 11.

Исходя из конструктивных особенностей данного сварного соединения, сварку необходимо выполнять в несколько проходов. Принимаем следующие исходные данные согласно таблицы 11.

$d_{эл} = 1,6$ мм, величина сварочного тока, $I_{св} = 230$ А;

Определяем площадь шва по формуле:

$$F = S \cdot b + 0,5 \cdot (S - C)^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha + 0,75 \cdot e \cdot q \quad (8.42)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.42

$$F = 10 \cdot 2 + 0,5 \cdot (10 - 1) \cdot \operatorname{tg} 45 + 0,75 \cdot 20 \cdot 4 = 84,5 \text{ мм}^2$$

Определяем оптимальное напряжение дуги по формуле:

$$U_{д} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_{эл}^{0,5}} \cdot I_{св} \pm 1 \quad (8.43)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.19.

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		68

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,6^{0,5}} \cdot 230 \pm 1 = 23,5 \pm 1 \text{ В}$$

Принимаем $U_{\text{д}} = 24 \text{ В}$

Определяем коэффициент провара по формуле [11]:

$$\psi_{\text{пр}} = K^I \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{\text{св}}) \cdot \frac{d_{\text{эл}} \cdot U_{\text{д}}}{I_{\text{св}}}, \quad (8.44)$$

Тогда

$$K^I = 0,367 \cdot j^{0,1925} = 0,367 \cdot \left(\frac{I_{\text{св}} \cdot 4}{\pi \cdot d_{\text{эл}}^2} \right)^{0,1925}, \quad (8.45)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.45.

$$K^I = 0,367 \cdot \left(\frac{230 \cdot 4}{\pi \cdot 1,6^2} \right)^{0,1925} = 0,94$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.20.

$$\psi_{\text{пр}} = 0,88 \cdot (19 - 0,01 \cdot 230) \cdot \frac{1,6 \cdot 24}{240} = 2,4$$

Коэффициент наплавки определяется по формуле [11]:

$$\alpha_{\text{н}} = \alpha_{\text{р}} \cdot \left(1 - \frac{\psi}{100} \right), \quad (8.46)$$

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

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

Коэффициент расплавления электродной проволоки определяется по формуле:

$$\alpha_{\text{р}} = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{I_{\text{св}}}{d_{\text{эл}}} \right) \cdot 10^{-4}, \quad (8.47)$$

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	Не докум.	Под-	Дат		69

Подставляем полученные значения в формулу 8.47

$$\alpha_p = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{240}{1,6} \right) \cdot 10^{-4} = 0,00413 \text{ г/Ас} = 14,9 \text{ г/Ач}$$

Подставляем полученные значения в формулы 8.22.

$$\alpha_H = 14,9 \cdot \left(1 - \frac{10}{100} \right) = 14,5 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$$

Определяем скорость подачи проволоки по формуле:

$$V_{\text{ппр}} = \frac{4 \cdot \alpha_H \cdot I_{\text{св}}}{\pi \cdot d_{\text{эл}}^2 \cdot \gamma} \quad (8.48)$$

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

$I_{\text{св}}$ – величина сварочного тока, А;

$d_{\text{эл}}$ – диаметр электрода, мм.

$$V_{\text{ппр}} = \frac{4 \cdot 14,5 \cdot 230}{\pi \cdot 1,6^2 \cdot 7,85} = 219 \text{ м/ч}$$

Определяем скорость сварки по формуле:

$$V_{\text{св}} = \frac{\alpha_H \cdot I_{\text{св}}}{\gamma \cdot F_H}, \quad (8.49)$$

где γ – плотность стали, г/см³;

α_H – коэффициент наплавки, г/А ч;

F_H – площадь наплавки одного валика, мм².

Подставляем полученные значения в формулы 8.50.

$$V_{\text{св}} = \frac{14,5 \cdot 230}{7,8 \cdot 40} = 10,6 \text{ м/час}$$

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		70

9 Выбор сварочного оборудования и технологической оснастки

Для правки листа шириной 2000 мм и толщиной 10 мм используем семивалковую листопрямильную машину модели ЛГС–10х2000. Технические характеристики многовалковой машины марки ЛГС–10х2000, приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Техническая характеристика многовалковой машины марки ЛГС-10х2000

Наименование параметра	Значение параметра
Ширина листа, мм	2200
Толщина листа, мм	10
Предел текучести выправляемого листа, МПа	400
Диаметр валков	200
Количество валков	7
Мощность двигателя кВт	37 кВт

Для раскроя листов металла с целью изготовления из него обечайки и днища и других деталей используется станок плазменной резки с ЧПУ модели Енисей-2М представленный на рисунке 18. Технические характеристики станка плазменной резки с ЧПУ модели Енисей-2М приведены в таблице 13.



Рисунок 18 – Станок плазменной резки с ЧПУ Енисей-2М

Таблица 13 – Техническая характеристика станка плазменной резки с ЧПУ Енисей-2М

Наименование параметра	Значение параметра
Длина зоны обработки, мм	6000
Ширина зоны обработки, мм	2000-2200
Толщина разрезаемого металла (плазма), мм	20
Точность позиционирования по осям X,Y,Z мм/м	±0,1
Скорость позиционирования, м/мин	25-30
Диапазон обрабатываемых толщин с пробивкой, мм	0,5-30
Применяемые газы	пропан, кислород
Потребляемая мощность, кВт	3,0
Вес, кг	1500
Габаритный размеры , мм	3200 × 7500 × 1600

Толщина стенки днища составляет 10 мм. Диаметр днища 820 мм. Исходя из данных параметров выбираем для штамповки гидравлический пресс двойного действия модели ПЗ239, изображенный на рисунке 19.

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		72

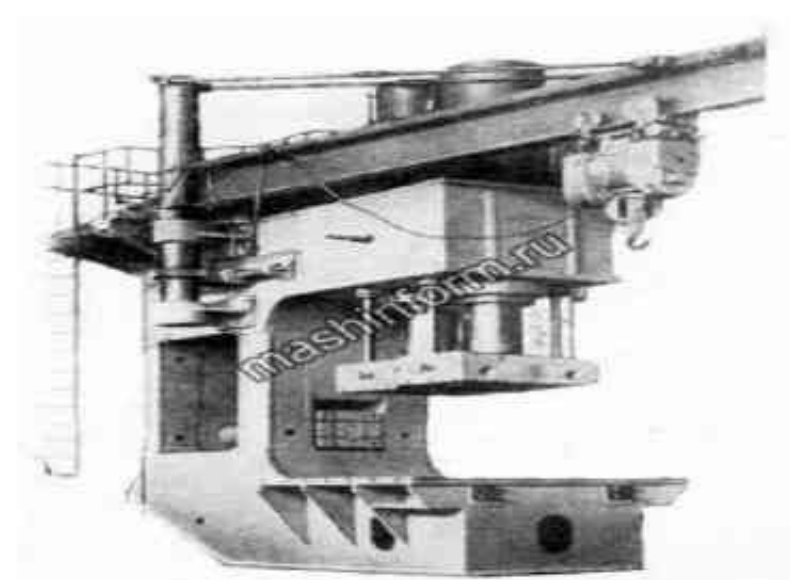


Рисунок 19 – Гидравлический пресс двойного действия модели ПЗ239

Пресс предназначен для холодного выдавливания рельефных полостей, поверхностей, для выдавливания рельефа штампов и может быть применен в условиях серийного производства. Технические характеристики гидравлического пресса ПЗ239, приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Техническая характеристика гидравлического пресса П4654

Наименование параметра	Значение параметра
Номинальное усилие главного ползуна, кН	8000
Усилие прижима (выталкивателя), кН	3200
Ход ползуна, мм	1000
Размеры стола (длина × ширина), мм	2500
Расстояние между стойками, мм	2500x2500
Максимальное расстояние между столом и ползуном, мм	2600
Мощность электродвигателя привода, кВт	75
Масса пресса, кг	65000

Для вальцовки обечайки диаметром 820 мм из листа толщиной 10 мм наиболее эффективным и современным отечественным решением является 4-х валковая гидравлическая машина модели ИБ2424 (производства ОАО «Тяжпрессмаш», г. Рязань).

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лист 73
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дат		

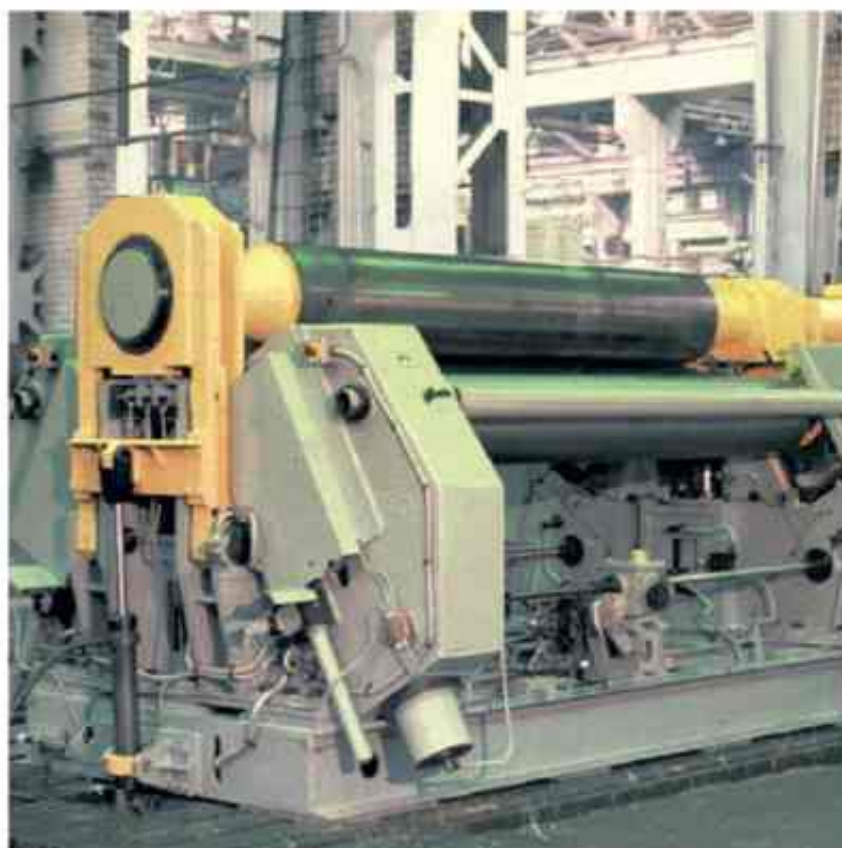


Рисунок 20 – 4-х валковая гидравлическая машина ИБ2424

Технические характеристики 4-х валковой гидравлической машины ИБ2424 приведены в таблице 17

Таблица 15 – Техническая характеристика 4-х валковой гидравлической машины ИБ2424

Наименование параметра	Значение параметра
Ширина рулона, мм	2050
Скорость гиба, м/мин.	4-8
Мощность, кВт	45
Вес, кг	24000
Макс.толщина листа с подгибом кромок, мм	25
Габаритный размеры, мм	5200x2100x2300

После завершения операций термического раскроя на установке плазменной резки с ЧПУ, поверхности реза обечаек и днищ подвергаются

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дат		74

обязательной механической зачистке с использованием угловых шлифовальных машин (УШМ). Оптимальная модель для зачистки кромок обечаек и днищ толщиной 10 мм – МШУ-1,8-230-А (серия «Лепсе») представленная на рисунке 17.



Рисунок 21 – УШМ Лепсе МШУ-1.8-230-А

Таблица 16 – Технические характеристики УШМ Лепсе МШУ-1.8-230-А

Наименование параметра	Значение параметра
Напряжение питающей сети, В	220
Мощность, Вт	180
Диаметр диска, мм	230
Резьба шпинделя, мм	14
Число оборотов, об/мин	6000
Электр. регулировка оборотов	есть
Масса, кг	5,3

Для вырезания отверстия под штуцера и люк используется плазморез АПР-140. Для вырезания круговых отверстий под штуцеры Ø320 мм в обечайке толщиной 10 мм оптимально использовать мобильную установку плазменной резки с циркульным устройством.

Наиболее подходящей отечественной маркой для этих целей является продукция компании «ИТС» (г. Санкт-Петербург)». В промышленном сегменте для

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		75

ручной и полуавтоматической резки отверстий выделяется аппарат АПР–140 в паре с циркульным приспособлением.

Таблица 17 – Технические характеристики плазмореза АПР–140.

Наименование параметра	Значение параметра
Толщина обрабатываемого листа, мм	35
Диапазон регулировки тока, А	140
Питание, В	220
Напряжение питающей сети, В	380

Для выполнения стыковых швов корпуса (кольцевых и продольных) используется автоматическая установка, состоящая из самоходной тележки ГТ–1 и сварочной головки А1–416. Данный комплекс обеспечивает автоматизацию процесса сварки под слоем флюса, высокую производительность и стабильность геометрических параметров шва. Применение тележки "велосипедного" типа позволяет выполнять сварку наружных швов, при минимальной переналадке оборудования, что соответствует требованиям серийного производства.

Глагольная тележка ГТ–1 представляет собой самоходную трехколесную платформу для автоматизированной сварки, использующую двухрельсовую колею без верхнего монорельса для повышения виброустойчивости. Конструкция включает подпружиненные боковые ролики, обеспечивающие безлофтовое движение, и позволяет регулировать рабочую скорость сварки в пределах 0,3–1,3 м/мин

Основные технические характеристики велосипедной тележки ГТ–1 приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Технические характеристики глагольной тележки ГТ–1

Техническая характеристика	Значение параметра
Высота уровня сварки, мм:	
наименьшая	1500

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		76

наибольшая	3500
Вылет консоли от оси колонны до оси электрода, мм:	
наименьший	1500
наибольший	2500
Скорость перемещения тележки,	
Рабочая, м/час.	10
Маршевая, м/мин:	13
Скорость горизонтального перемещения консоли, м/мин:	1
Грузоподъемность (на вылете штанги)	300
Масса, кг	2000

Для обеспечения вращения корпуса аппарата при сварке кольцевых швов под флюсом (АФф/АФ) выбран роликовый стенд модели ПКБА–20. Комплект состоит из одной приводной и четырех холостых секций.

Инженерные особенности и преимущества:

– Обеспечивает прецизионную регулировку скорости вращения, что позволяет точно синхронизировать линейную скорость движения кромок корпуса (Ø800 мм) со скоростью сварки автомата А–1416;

– Перестановка роликоопор по раме стенда позволяет надежно фиксировать как обечайку (Ø800 мм), так и более габаритные узлы аппарата;

– Обрезиненное покрытие роликов увеличивает коэффициент трения (сцепления) и защищает поверхность чистовой заготовки от механических повреждений и проскальзывания при пуске;

– Стенд оснащен пультом дистанционного управления, который может быть интегрирован в общую систему управления сварочным комплексом, обеспечивая одновременный старт вращения и подачи сварочной проволоки».

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	Не докум.	Под-	Дат		77



Рисунок 22 – Роликовый стенд модели ПКБА–20

Таблица 19 – Технические характеристики роликового стенд модели ПКБА–20

Наименование параметра	Значение
Крутящий момент на оси вращения приводных роликов, Нм, не менее	1800
Наибольшая грузоподъемность, кг	20000
Наружный диаметр роликов, мм	350
Диаметр свариваемых изделий, мм	
наибольший	1500
наименьший	300
Угловой люфт приводного ролика, градусы, не более (не более 3мм на радиус 200 мм)	0,8
Количество приводных секций, шт.	1
Количество не приводных секций, шт.	1
Габаритный размеры , мм	
Приводной	3350x695x560
Не приводной	2684x530x560
Установленная мощность, кВт, не более	7000

ПФП-2000 (Подушка Флюсовая Пневматическая на длину 2000 мм) предназначена для:

- Удержания сварочной ванны: Предотвращение вытекания расплавленного металла и жидкого шлака через зазор стыка при автоматической сварке под флюсом (АФ) продольных швов обечайки;
- Формирования обратного валика: Обеспечение качественного провара корня шва с образованием равномерного усиления с внутренней стороны без необходимости последующей подварки;
- Защиты корня шва: Изоляция обратной стороны сварочной ванны от атмосферного воздуха слоем поджатого флюса.

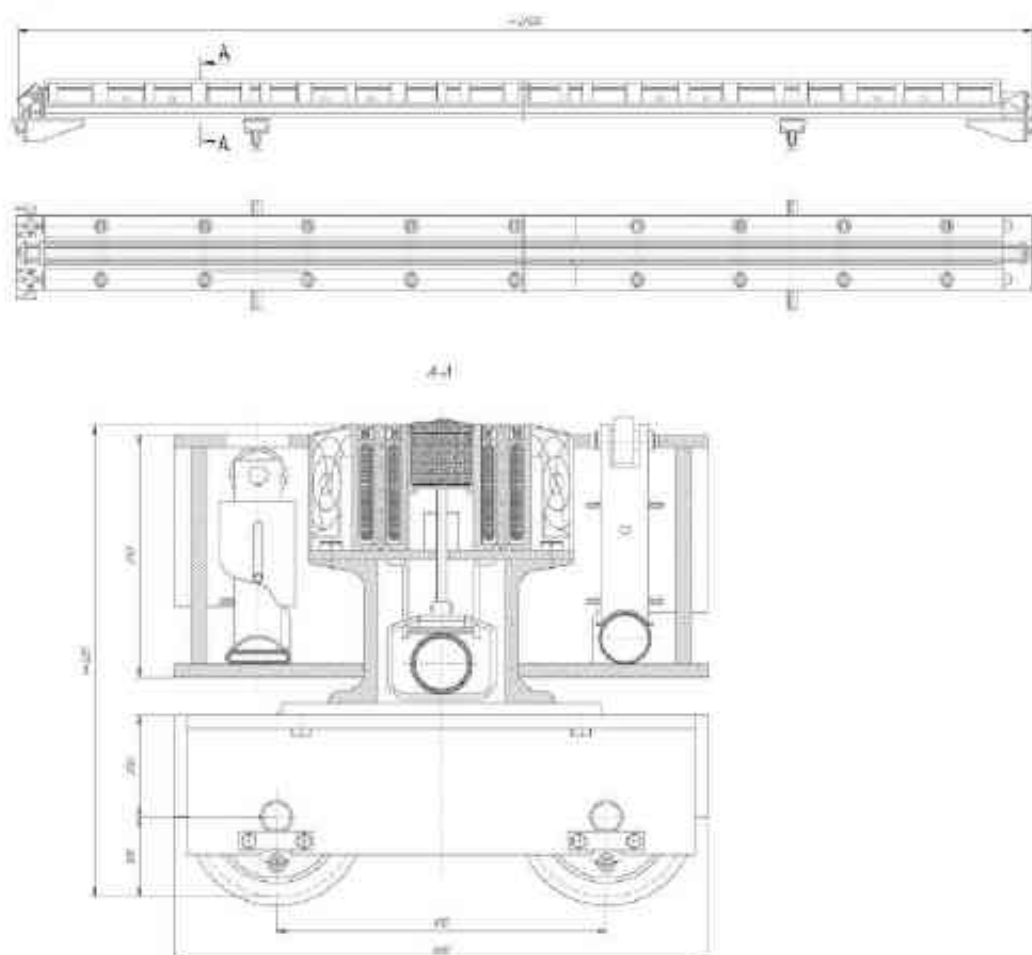


Рисунок 23 – Подушка флюсовая для сварки продольного шва ПФП-2000

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		79

В основу работы устройства положен пневмомеханический способ поджатия сыпучего материала (флюса) к свариваемым кромкам.

Технологический цикл:

– Засыпка флюса: В верхний лоток (желоб) подушки засыпается слой сварочного флюса;

– Позиционирование: Собранная на прихватках обечайка укладывается на стенд таким образом, чтобы продольный стык располагался точно по центральной оси лотка подушки;

– Поджатие (Активация): В нижнюю камеру (гибкий пневмошланг/рукав) подается сжатый воздух под давлением 0,4–0,6 МПа. Распирясь, шланг поднимает подвижный лоток с флюсом и плотно прижимает его к внутренней поверхности обечайки в зоне стыка;

– Сварка: Сварочный трактор перемещается снаружи вдоль стыка. Тепловая энергия дуги проплавляет металлы на всю толщину (10 мм), при этом расплав опирается на «подушку» из флюса, которая не дает ему стечь и формирует гладкую поверхность корня шва;

– Разгрузка: По окончании сварки давление воздуха сбрасывается, лоток опускается, позволяя беспрепятственно снять готовую обечайку со стенда.

Таблица 20 – Технические характеристики подушки ПФП-2000.

Параметры	Значения
Масса сварочного флюса, кг	120
Потребляемая мощность, кВт	1,1
Напряжение сети, В	380
Масса, кг	620

Для выполнения внутренних кольцевых швов (стык С29 по ГОСТ 8713-79) применяется переносная ременная флюсовая подушка модели ПФК-1.

Пневматическое поджатие ленты к внутренней поверхности стыка исключает протекание металла при вращении корпуса на стенде Т-20, обеспечивая формирование качественного обратного валика в автоматическом режиме.

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дат		80

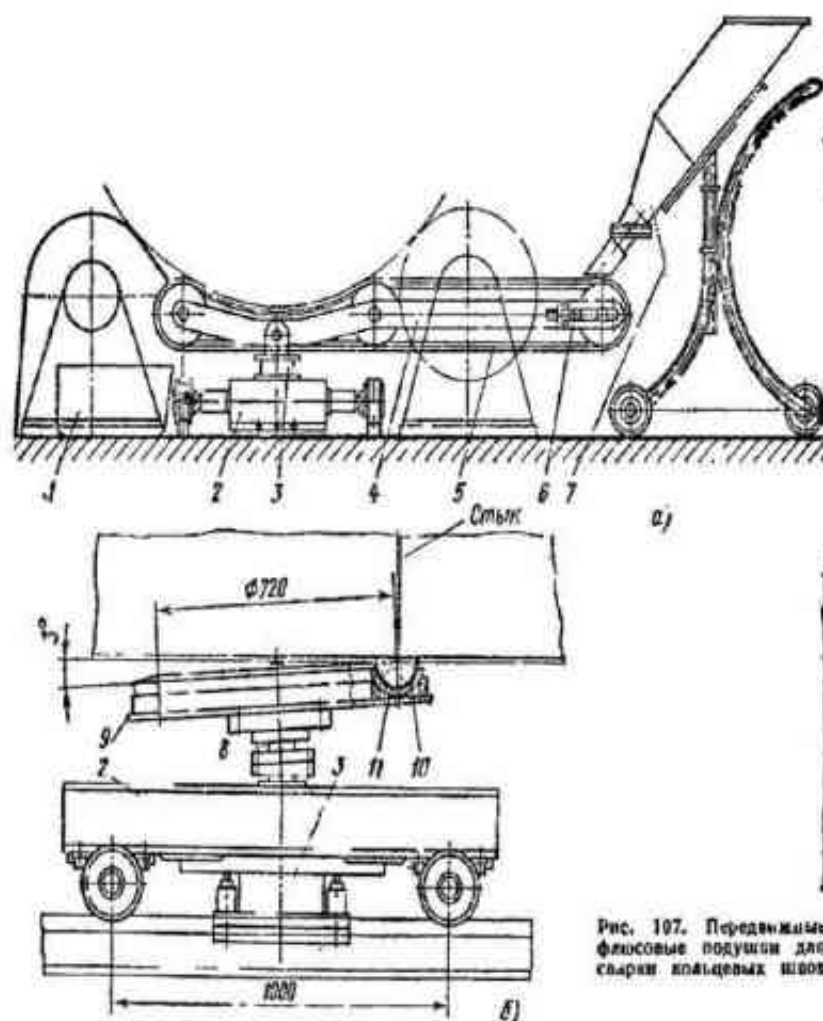


Рис. 107. Передвижные флюсовые подушки для сварки кольцевых швов

Рисунок 24 – Подушка флюсовая для сварки кольцевых швов ПФК-1

В отличие от стационарных балок для продольных швов, ПФК-1 – это компактное переносное устройство. Его внешний вид определяется следующими узлами:

- Гибкий ремень (лента): Основной рабочий элемент, который огибает нижнюю часть свариваемого кольцевого стыка. Он выглядит как широкая прорезиненная или термостойкая лента;
- Корпус с роликами: Металлическая рама с направляющими роликами, через которые пропущена лента. Она удерживает «петлю» флюса под местом сварки;
- Пневмоцилиндр представляет собой небольшой механизм с манометром, который натягивает ленту и поджимает находящийся в ней флюс к металлу;

– Рукоятки или элементы крепления: Поскольку модель переносная, на корпусе предусмотрены ручки для установки или скобы для временной фиксации на стенде.

Таблица 21 – Технические характеристики подушки ПФК–1

Параметры	Значения
Ширина зоны поджатия флюса, мм	80–120
Максимальное давление сжатого воздуха, МПа	0,4–0,6
Ход прижимного механизма, мм	50–100
Масса, кг	25

Для выполнения продольных и кольцевых швов корпуса выбран сварочный автомат тракторного типа АДФ-800 представленный на рисунке 21.

Компактные габариты трактора позволяют выполнять внутренние швы обечайки диаметром 800 мм. Трактор перемещается непосредственно по изделию или по направляющей линейке. Система управления обеспечивает стабилизацию скорости сварки и скорости подачи проволоки независимо от колебаний нагрузки, что гарантирует равномерный провар стенки толщиной 10 мм.

Аппарат оснащен сменными роликами и мундштуками, что позволяет использовать проволоку различных диаметров в зависимости от выбранного режима. Наличие суппортов для ручной корректировки положения электрода относительно стыка в процессе сварки позволяет оперативно компенсировать увод дуги».



Рисунок 25 – Сварочный автомат АДФ-800

Технические характеристики сварочного автомата указаны в таблице 22.

Таблица 22 – Технические характеристики трактора АДФ-800

Техническая характеристика	Значение параметра
Номинальное напряжение сети, В	3х380
Частота тока питающей сети, Гц	50
Номинальный сварочный ток, А (ПВ, 5%)	800
Диапазон регулирования сварочного тока, А	200–800
Диапазон регулирования сварочного напряжения, В	20–56
Количество электродов	1
Диаметр сплошной электродной проволоки, мм	2,0–5,0
Диапазон ступенчатого регулирования скорости подачи электродной проволоки, м/ч	40–400
Флюсоаппаратура, объем, дм ³	6
Масса, кг	50
Габаритные размеры, мм	580х320х520

Сварочный автомат АДФ-800 поставляется с блоком управления для источника питания типа ВДУ–800, его технические характеристики указаны в таблице 23.

Таблица 23 – Техническая характеристика ВДУ–800

Наименование параметра	Значение параметра
U питающей сети, В	3х380,0
Номинальный сварочный ток , А	800,0
Пределы регулирования сварочного тока , А	100,0–800,0
Номинальное рабочее напряжение, В	46,0
Напряжение холостого хода, В	55,0
Потребляемая мощность, кВт	73,0
Габаритный размеры , мм	830х610х1030
Масса, кг	350

Для варки штуцеров, приварки опор, в защитной газовой среде выбран сварочный полуавтомат Форсаж–502.

Выбор данного инверторного источника для варки штуцеров (У12) и приварки седловых опор (Н1) обусловлен следующими факторами:

– Энергетическая стабильность: Инверторная схема управления обеспечивает жесткую внешнюю характеристику и мгновенную реакцию на колебания длины дуги. Это гарантирует отсутствие непроваров в корне угловых швов штуцеров Ø320х10 мм, работающих под давлением 2,25 МПа;

– Мобильность (Выносной механизм подачи): Использование выносного блока подачи проволоки позволяет разместить основной источник питания стационарно, в то время как сварщик с компактным механизмом подачи может свободно перемещаться внутри и снаружи обечайки Ø800 мм;

– Режим импульсно-дуговой сварки: позволяет управлять капельным переносом металла. Это минимизирует разбрызгивание и обеспечивает плавный переход от шва к основному металлу, исключая подрезы на корпусе;

– Промышленный класс надежности: ПВ (продолжительность включения) составляет 100% при токе 500 А, что позволяет вести непрерывную сварку протяженных нахлесточных швов опор без пауз на охлаждение аппарата, повышая общую производительность цеха.

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		84



Рисунок 26 – Сварочный полуавтомат Форсаж–502

Таблица 24 – Технические характеристики сварочного полуавтомата Форсаж-502

Наименование параметра	Значение параметра
Напряжение питающей сети, В	380±15%
Рабочее напряжение MIG, В	10...57
Рабочее напряжение MMA, В	70...85,0
Сварочный ток MIG/ MMA, А	40,0...500,0
Подающий механизм	Встроенный
Диаметр электрода MMA, мм	1,5...6
Диаметр сварочной проволоки MIG, мм	0,8; 1; 1,2;1,6
Габаритный размеры, мм	525x255x440

Аппарат имеет встроенную защиту от перегрева, перегрузки и принудительное интеллектуальное охлаждение.

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис 85
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		

10 Контроль качества сварных соединений

Контроль качества сварных соединений проводится по ГОСТ ИСО1763–72014 [20] ГОСТ 34347–2017. Оценка качества сварных соединений проводится по ГОСТ ИСО17637–2014 и ГОСТ 3242–79 [21]

При проведении ВИК (визуально-измерительного контроля) корпуса теплообменника основное внимание уделяется продольным и кольцевым швам, а также зонам приварки штуцеров. Контроль регламентируется требованиями РД 03-606-03 и специализированных стандартов (например, ГОСТ 34347-2017 для стальных сосудов и аппаратов).

Основные этапы и объекты контроля:

– Подготовка поверхности. Шов и прилегающая зона (не менее 20 мм в каждую сторону) должны быть очищены от шлака, брызг металла, окалины и грязи. Шероховатость поверхности шва не должна препятствовать выявлению дефектов;

– Визуальный осмотр (поиск дефектов). С помощью лупы (до 7-10х) и фонарика выявляют: трещины любого вида и размера (недопустимы), подрезы (занижение основного металла у границы шва), поры и включения. Одиночные или скопления (сравниваются с допустимыми нормами по диаметру и количеству), непровары и несплавления: видимые на поверхности, наплывы, которые представляют собой избыток наплавленного металла, перетекающий на основной металл без сплавления, кратеры (незаваренные углубления в конце прохода);

– Измерительный контроль (геометрия). Используется набор УШС (универсальный шаблон сварщика). Смещение кромок проверяется по наружной поверхности. Допуск обычно составляет не более 10% от толщины стенки (но не более 3 мм). Увод (перпендикулярность) кромок: проверка «угловатости» шва в цилиндрической части корпуса.

– Контроль штуцеров. Проверяется катет шва (с помощью набора радиусных шаблонов или катетомера). Контролируется отсутствие перекосов патрубков относительно оси корпуса.

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	Не докум.	Под-	Дат		86

По итогам составляется Акт визуального и измерительного контроля. Если обнаружены недопустимые дефекты, шов маркируется, дефекты выбираются механическим способом и завариваются повторно с последующим ВИК.

Объем контроля: все швы подлежат 100% проверке ВИК.

Ультразвуковая дефектоскопия (УЗК)

Ультразвуковой контроль (УЗК) стыковых соединений корпуса теплообменника проводится для выявления внутренних дефектов (непроваров, пор, трещин, шлаковых включений), которые невозможно обнаружить при ВИК.

Проверка сварных соединений осуществляется в соответствии с требованиями ГОСТ Р 55724–2013 [22] и СТО 00220256–005–2005 [23]. Последний стандарт также применяется для итоговой оценки качества. Швы №1, №2 подлежат 100% ультразвуковой проверке.

Поверхность основного металла вдоль шва зачищается на ширину, равную 1,5–2 толщинам стенки плюс ширина самого шва. Это необходимо для свободного перемещения датчика (ПЭП). На поверхность наносится контактная жидкость (масло, клейстер или специальный гель) для передачи ультразвука в металл. Стыковые швы обычно контролируются наклонными совмещенными преобразователями (хордовая схема или «зигзаг») с двух сторон от усиления шва.

Определяет выбор угла ввода луча (для толщин 4–12 мм используют угол 65–70°). Выполняется по СОП (стандартному образцу предприятия) с искусственным дефектом типа «зарубка», «плоскодонное отверстие» или «цилиндрическое отверстие». Для диаметра 820 мм поверхность считается «условно плоской», если подошва датчика плотно прилегает без значительного зазора. Если зазор по центру или краям датчика превышает 0,5 мм, ПЭП необходимо притирать под радиус 410 мм. Использование непритертых датчиков на таком диаметре может привести к потере чувствительности и искажению угла ввода луча.

Поиск дефектов ведется «вдоль» и «поперек» шва. При перемещении датчика поперек кольцевого шва (изнутри или снаружи) луч движется по радиусу. Важно

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		87

следить за постоянством акустического контакта, так как при малейшем перекосе сигнал может «уйти».

Продольные швы контролируются по всей длине. Особое внимание уделяется местам пересечения продольных швов с кольцевыми («Т-образные стыки»).

Капиллярный контроль

Контроль сварных соединений капиллярным методом регламентируется требованиями ГОСТ 18442–80 [24]. В данной работе цветной метод капиллярного контроля назначен для проверки сварных швов № 3, № 4, № 5 в объеме 100 %.

Капиллярный контроль (ПВК) этих швов критически важен, так как именно в угловых и тавровых соединениях возникают максимальные напряжения, а геометрия шва часто мешает проведению УЗК.

Угловые швы (Обечайка + Штуцер)

Это самая «тонкая» зона теплообменника. ПВК здесь ищет дефекты, выходящие на поверхность в зоне резкого перехода сечений. Обязательно захватывается весь шов и околошовная зона (не менее 20 мм). Ищем радиальные трещины, выходящие из корня шва на поверхность, и подрезы у кромки штуцера.

Необходимо тщательно вычистить «галтель» (впадину шва) от остатков флюса или шлака, так как они дают ложные индикации.

Нахлесточные швы (Подкладной лист + Обечайка)

Зона контроля является периметр подкладного листа. Ищем несплавления по кромке листа и межваликовые несплавления.

Тавровые швы (Седловые опоры)

Здесь швы несут статическую нагрузку от веса аппарата с рабочей средой.

Зона контроля: Углы примыкания ребер жесткости и опорной плиты к обечайке. В этих узлах часто возникают холодные трещины. ПВК проводят через 24–48 часов после сварки (если это предусмотрено ТУ), так как трещины могут проявиться не сразу. Особое внимание точкам начала и окончания сварного шва (кратерам), где чаще всего зарождаются трещины.

Ключевые правила для всех трех типов:

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		88

– Обезжиривание: Нахлесточные и угловые швы склонны задерживать масло и СОЖ. Перед нанесением пенетранта обязательна промывка растворителем.

– Время выдержки: Для цветного метода (красный пенетрант) выдержка составляет 5–20 минут. Не допускать высыхания пенетранта на поверхности.

Гидравлические испытания

Контроль регламентируется РД 24.200.11–90 [25], а критерии оценки качества определяются согласно ГОСТ 34347–2017 и ГОСТ 3242–79 [26].

Гидравлические испытания под давлением 3,21 МПа являются завершающим этапом контроля прочности и плотности теплообменного аппарата. На этом этапе проверяется надежность всех типов соединений: стыковых (корпус), угловых (штуцеры).

Согласно РД 24.200.11–90 и ГОСТ 34347–2017, процедура и критерии оценки следующие:

– Аппарат полностью заполняется водой, воздух вытесняется через верхние воздушники. Температура воды должна быть не ниже +5 °С и не выше +40 °С (если иное не указано в ТУ).

– Давление поднимается плавно. На пути к 3,21 МПа рекомендуется делать промежуточные остановки для контроля отсутствия видимых утечек.

– Под пробным давлением (3,21 МПа) аппарат выдерживается не менее 30 минут.

– После выдержки давление снижается до расчетного, и только тогда проводится тщательный визуальный осмотр всех сварных швов. Важно: осмотр

под полным пробным давлением запрещен по технике безопасности.

Результаты считаются неудовлетворительными, если обнаружены:

– Течь или «слезки»: появление капель воды на поверхности шва или в околошовной зоне;

– Потение: образование влаги на шве, не превращающееся в каплю (часто встречается на пористых угловых швах штуцеров);

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	Не докум.	Под-	Дат		89

- Падение давления: фиксация снижения давления по манометру во время выдержки (при условии герметичности самой испытательной системы);
- Видимые деформации: остаточные изменения формы корпуса или узлов после сброса давления.

Особенности для угловых швов штуцеров

Угловые швы наиболее склонны к проявлению «потения». Если при ПВК дефекты не были обнаружены, но при гидравлике шов «заплакал», это свидетельствует о наличии сквозного микродефекта, требующего переварки.

Результаты оформляются актом, который является обязательным документом для пуска аппарата в эксплуатацию.

В данной работе гидравлическими испытаниями проверяются сварные швы № 1, № 2, № 3 в объеме 100 %.

Механические испытания

Проведение тестов и оценка их результатов выполняются на основании ГОСТ 6996-66 [27] и РД 26-11-08-86 [28].

Механические испытания проводятся на контрольных сварных соединениях (КСС), выполненных в тех же условиях, что и основные швы аппарата. Согласно ГОСТ 6996-66 (методы испытаний) и РД 26-11-08-86 (нормы для химического машиностроения), требования распределяются следующим образом:

- Статическое растяжение (Определение временного сопротивления).

Цель – подтвердить, что прочность шва не ниже минимально допустимой прочности основного металла.

Количество образцов: Не менее 2 шт.

Форма образцов: Плоские образцы типа XII или XIII (для листов) с удаленным усилением шва. Если толщина стенки велика, вырезаются цилиндрические образцы (тип II или III). Образец вырезается поперек шва, чтобы сварной стык находился посередине рабочей части.

- Статический изгиб (Определение пластичности)

					<i>ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ</i>	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		90

Цель – проверка способности стыка выдерживать заданную деформацию без образования трещин.

Количество образцов: Не менее 2 шт.

Форма образцов: Тип XXVII (изгиб со стороны корня) или XXVIII (изгиб со стороны облицовки).

– Ударный изгиб (Определение ударной вязкости KCU/KCV)

Количество образцов: Не менее 3 шт. для каждого участка (обычно по центру шва и по зоне термического влияния — ЗТВ).

Форма образцов: Тип VI, VII или IX (с надрезом). Чаще всего используются образцы Шарпи (надрез V-образный) или Менаже (надрез U-образный). Размеры образца обычно 10x10x55 мм. Надрез наносится перпендикулярно поверхности шва.

Если хотя бы один образец показывает результат ниже нормы, проводятся повторные испытания на удвоенном количестве образцов. Если и в этом случае результат плохой — весь объем сварки по данному техпроцессу бракуется.

Подготовка образцов (Мехобработка)

Прежде чем рвать или гнуть металл, его нужно вырезать из контрольного соединения (КСС) без перегрева:

– Станок для резки: Ленточнопильный станок или установка гидроабразивной резки (чтобы не изменить структуру металла в ЗТВ);

– Фрезерный станок: Для снятия усиления шва заподлицо с основным металлом и доведения образцов до нужных размеров (тип XII, XIII и др.);

– Протяжной станок (для ударного изгиба): Специальное устройство для нанесения калиброванного U-образного (Менаже) или V-образного (Шарпи) надреза на образцы 10x10x55 мм.

Статическое растяжение и изгиб

Используются универсальные испытательные машины (разрывные машины):

Гидравлические или электромеханические (например, серии ИР, МИР, ГМС или современные аналоги типа WAW, UTM).

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	Не докум.	Под-	Дат		91

Для сталей обычно требуются машины с максимальной нагрузкой 200 кН (20 т) или 500 кН (50 т)

Оснастка для изгиба: Спецприспособление с набором сменных пуансонов (оправок). Диаметр оправки 20 мм.

Ударный изгиб

Маятниковый копер серии МК–30.

Энергия удара: до 300 Дж.

Криостат (термостат): Испытания проводятся при отрицательных температурах, образцы охлаждают в жидком азоте или спиртовой смеси перед ударом.

Измерительный инструмент для фиксации результатов до и после испытаний:

- Штангенциркуль (ШЦ–I, ШЦ–II): Погрешность не более 0,05–0,1 мм.
- Микрометр: Для точного замера сечения образца перед растяжением.
- Секундомер: Для контроля скорости нагружения по ГОСТ.

Испытание на стойкость против межкристаллитной коррозии

Для стали 10X17H13M2T испытания на стойкость против межкристаллитной коррозии (МКК) являются обязательными, так как теплообменный аппарат предназначен для работы в серной кислоте.

Молибден повышает стойкость к точечной (питтинговой) коррозии, но при нарушении режима сварки или термообработки в ЗТВ могут выпадать сложные карбиды. Метод АМУ подтверждает, что титан полностью связал углерод и границы зерен остались чистыми.

Испытание на стойкость против межкристаллитной коррозии следует проводить по ГОСТ 6032–2017 [30] или соответствующей нормативно-технической документации.

Метод АМУ по ГОСТ 6032–2017 является наиболее распространенным для стали 10X17H13M2T, так как он эффективно выявляет склонность к МКК в хромоникельмолибденовых сталях, стабилизированных титаном.

В соответствии с ГОСТ 6032–2017 количество образцов 4 шт. Форма образцов плоские пластины (80–100 мм в длину, толщиной до 5 мм).

					ПГУ ВКР.15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		92

Поверхность образцов зачищается мелким абразивом до шероховатости и обезжиривается.

Пластины укладываются на дно колбы так, чтобы образцы лежали непосредственно на меди или были ею окружены. Это создает гальваническую пару, ускоряющую процесс.

Образцы кипятят в закрытой колбе с обратным холодильником. Для стали 10X17H13M2T стандартное время кипячения составляет 24 часа.

Оценка результатов производится после кипячения. Образцы промывают, сушат и изгибают на угол 90° (радиус оправки равен толщине образца). Осмотр проводится под лупой с увеличением 8–12х.

Критерий брака: Наличие трещин, надрывов или характерной «сетки» (морщин) на выпуклой стороне изгиба. Обычные механические надрывы на кромках браком по МКК не считаются.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были выполнены задачи по проектированию корпуса аппарата теплообменного из стали 10X17H13M2T и разработке технологии его сборки и сварки.

Для реализации вышеуказанных задач были проведены следующие исследования и расчеты:

– Проведен патентно-информационный поиск и анализ научно-технических решений в области технологий сборки и автоматизированной сварки емкостного оборудования за последние 15 лет. Анализ охватывает ключевые направления развития отрасли, включая патенты РФ и ведущих зарубежных стран;

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		93

– Произведены расчеты параметров сосуда, работающего под давлением. Определены величины рабочего 2,25 МПа. и расчетного давления 2,322 МПа, а также давления при срабатывании предохранительного клапана и проведении гидростатических испытаний 3,21 МПа. Установлена оптимальная толщина стенок обечайки и днища, составившая 10 мм;

– Правильность проектных решений и выбранных геометрических параметров подтверждена поверочными расчетами на прочность по допускаемым давлениям, а также компьютерным моделированием в программном комплексе «ПАС-САТ». Результаты аналитического и программного методов показали полную сходимость;

– Обоснован выбор способов сварки: для стыковых соединений принята автоматическая сварка под слоем флюса (проволока Св-06Х19Н11МЗТ, флюс АН-26С), для угловых, нахлесточных и тавровых швов – механизированная сварка. Защитная среда аргон, проволока Св-08Х19Н10МЗБ;

– Рассчитаны и назначены оптимальные режимы сварки, обеспечивающие требуемое качество формирования швов и производительность труда;

– Сформирована комплексная система контроля качества сварных соединений. Для стыковых швов предусмотрен 100% объем ВИК, УЗК, а также гидравлические и механические испытания (на статическое растяжение, статический и ударный изгиб) и на межкристаллическую коррозию. Для угловых и тавровых соединений выбраны метод ВИК и капиллярной (цветной) дефектоскопии. Угловые швы так же испытываются на гидроиспытаниях.

В рамках выполнения работы были спроектированы сварные швы. Проектирование охватывает пять основных типов сварных соединений, определяющих прочность и плотность изделия:

– Стыковые соединения (продольные и кольцевые) типа С29 по ГОСТ 8713. Разработана технология автоматической сварки под слоем флюса с применением специализированной оснастки – стационарной флюсовой подушки ПФП-

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		94

2000 для продольных швов и переносной ременной подушки ПФК-1 для кольцевых стыков. Данное решение обеспечивает качественное формирование обратного валика и минимизацию сварочных деформаций;

– Угловые соединения штуцеров с обечайкой типа У12: предусмотрена подготовка кромок и многослойная сварка, обеспечивающая требуемую несущую способность узлов приварки арматуры;

– Нахлесточные соединения типа Н1 «обечайка + седловая опора» свариваются полуавтоматом в среде защитных газов по ГОСТ14771-76;

– Тавровые соединения седловых опор типа Т3 свариваются полуавтоматом в среде защитных газов по ГОСТ14771-76.

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
						95
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		

Список использованной литературы

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. **Методы электрошлаковой сварки** [Текст]: В23К 9/18; МПК В23К 37/04 / Исигами, Ацуси, Хаякава, НаояДжФе [и др.]; заявитель и патентообладатель «Стил Корпорейшн». № 2005103201/23; заяв. 07.02.2005, опубл. 27.06.2006. – 8 с: ил.
6. **Стенд для сварки цилиндрической обечайки с днищем** [Текст]: пат.541215 С1 Рос. Федерация: МПК В23К 37/04 / Ибрагимов Наиль Габдулбарович (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 В23Q3/152, В23Q3/06, В23Q7/05, В23К37/04, В23К101/12 / 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 В23К 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. – № 2013143488/02; заяв. 26.09.2013, опубл. 10.02.2015, Бюл. № 4. – 11 с: ил.

					ПГУ ВКР 15 03 01 223М0037 ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		96

др.]; заявитель и патентообладатель Публичное акционерное общество «Татнефть» им. В.Д. Шашина. – № 2015131974; заяв. 1.07.2016, опубл. 03.02.2017, Бюл. № 4. – 20 с: ил.

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

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

11. **Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность при ветровых, сейсмических и других внешних нагрузках** [Текст]: ГОСТ 34283-2017–32с– Введ. 2017–05–18.–М.: Стандартиформ, 2017 – 31 с.

12. **Шрифты для средств измерений и автоматизации. Начертания и основные размеры (с Изменениями № 1, 2)** [Текст]: ГОСТ 26.020-80– Введ. 2008–02–13. – М.: Стандартиформ, 2008– 30 с.

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

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

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

16. **Прокат повышенной прочности. Общие технические условия (с Изменением №1)** [Текст]: ГОСТ 19281 - 2014. –Введ. 2016–09–01.–М.: Стандартиформ, 2016. – 9 с.: ил.

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		97

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

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

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

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

21. Проволока стальная сварочная. Технические условия [Текст]:

ГОСТ 2246–70. – Введ. 1973–01–01. – М.: Стандартиформ, 2008. – III, 15 с.

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

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

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

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

ОАО «НИИХИММАШ», 2006. – 113 с.

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	Не докум.	Под-	Дат		98

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

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

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

29. **Сварные соединения. Методы определения механических свойств** [Текст]: ГОСТ 6996–66. – Введ. 1967–01–01. – М.: Стандартинформ, 2005. – 83 с. 38.

32. **Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования** [Текст]: ГОСТ 18442–80. – Введ. 1981–06–30. – М.: Издательство стандартов, 1987. – 56 с.

33. **Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод** [Текст]: ГОСТ 7512–82. – Введ. 1982–07–22. – М.: Издательство стандартов, 1982. – 51 с.

					<i>ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ</i>	<i>Лис</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лис</i>	<i>Не докум.</i>	<i>Под-</i>	<i>Дат</i>		<i>99</i>

Приложение А

Карты технологического процесса сварки

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
						100
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ № 1

Таблица 1 – Характеристики процесса

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ 31842-2012
2	Способ сварки	АФф
3	Основной материал (марки)	10Х17Н13М2Т
4	Основной материал (группа)	11 (М11)
5	Сварочные материалы	Сварочная проволока Св-06Х20Н11М3ТБ по ГОСТ 2246-70 Флюс АН-26С по ГОСТ Р 52222-2004
6	Толщина свариваемых деталей	10,0 мм
7	Длина деталей в зоне сварки	6250,0 мм
8	Тип шва	СШ
9	Тип соединения	С29 ГОСТ 8713-79
10	Вид шва соединения	дс, зк
11	Форма подготовки кромок	Без скоса кромок
12	Положение при сварке	Н1
13	Режимы подогрева	Отсутствует
14	Режимы термообработки	Отсутствует
15	Дополнительные параметры	Нет

Таблица 2 – Конструкция соединения, конструктивные элементы шва

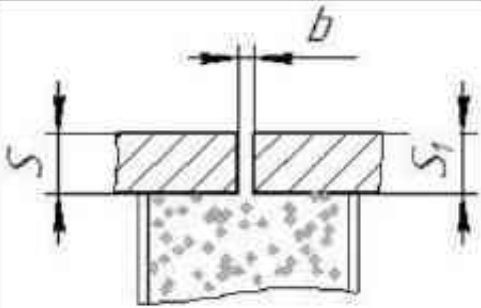
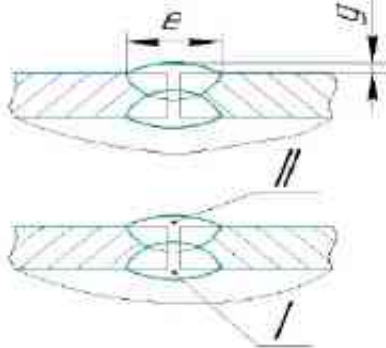
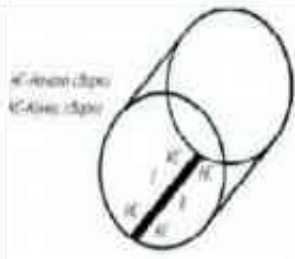
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

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

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

16. Сварочное оборудование (тип): АЗ совместно с А10. Универсальный сварочный выпрямитель – ВДУ–800; сварочный трактор – АДФ–800; Сварочный автомат А-1416

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	4,0	по	500,0... 600,0	36,0... 40,0	27,0... 33,0	25,0... 30,0	170,0... 180,0
Шов № 2	4,0	по	500,0... 600,0	36,0... 40,0	27,0... 33,0	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-08Х19Н10МЗБ по ГОСТ 2246–70, защитный газ – смесь М12 (98%Ar+2%). Режимы сварки: диаметр сварочной проволоки 1,6 мм; постоянный ток обратной полярности; сварочный ток 160...180 А; напряжение дуги 22...24 В; вылет электродной проволоки 15...20 мм.

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

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
						103
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		

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			3 образца
Межкристаллическая коррозия	ГОСТ 6032-2017	ГОСТ 6032-2017	4 образца

Разработал: _____ /Балашова/

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ № 2

Таблица 1 – Характеристики процесса

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ 31842-2012
2	Способ сварки	АФф
3	Основной материал (марки)	10Х17Н13М2Т
4	Основной материал (группа)	11 (М11)
5	Сварочные материалы	Сварочная проволока Св-06Х20Н11М3ТБ по ГОСТ 2246-70 Флюс АН-26С по ГОСТ Р 52222-2004
6	Толщина свариваемых деталей	10,0 мм
7	Длина деталей в зоне сварки	2565,0 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

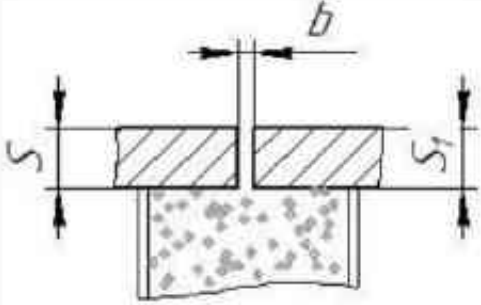
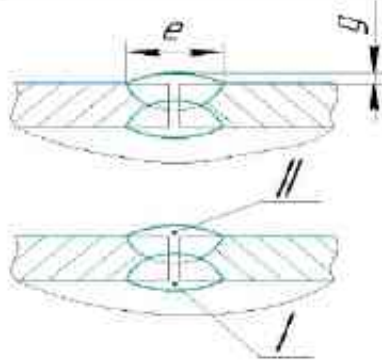
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

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 24,0	0,5...3,0

16. Сварочное оборудование (тип): АЗ совместно с А10. Универсальный сварочный выпрямитель – ВДУ–800; сварочный трактор – АДФ–800; Сварочный автомат А-1416

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	4,0	по	500,0... 600,0	36,0... 40,0	27,0... 33,0	25,0... 30,0	170,0... 180,0
Шов № 2	4,0	по	500,0... 600,0	36,0... 40,0	27,0... 33,0	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-08Х19Н10МЗБ по ГОСТ 2246–70, защитный газ – смесь М12 (98%Ar+2%). Режимы сварки: диаметр сварочной проволоки 2,0 мм; постоянный ток обратной полярности; сварочный ток 160...180 А; напряжение дуги 22...24 В; вылет электродной проволоки 15...20 мм.

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

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
						107
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		

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			3 образца
Межкристаллическая коррозия	ГОСТ 6032-2017	ГОСТ 34347-2017	4 образца

Разработал: _____/Балашова/

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		108

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ № 3

Таблица 1 – Характеристики процесса

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ 31842-2012
2	Способ сварки	УП
3	Основной материал (марки)	10X17H13M2T
4	Основной материал (группа)	11 (M11)
5	Сварочные материалы	Сварочная проволока Св-08X19H10M3Б по ГОСТ 2246-70 Защитный газ-смесь M12 (98%Ar+2%)
6	Толщина свариваемых деталей	10,0 мм
7	Длина деталей в зоне сварки	995,0 мм
8	Тип шва	УШ
9	Тип соединения	У12 РД 26-18-8-89
10	Вид шва соединения	ос, бп
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

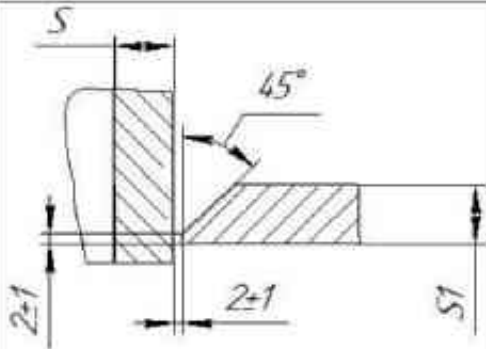
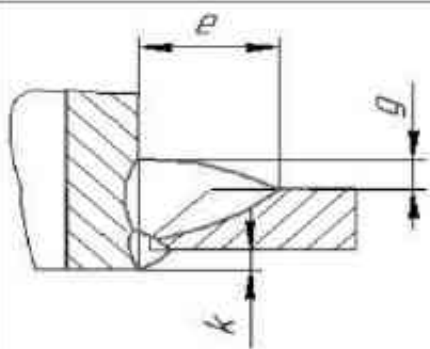
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

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

Параметр	S	S_f	N	b	e	K	g
Значение	10,0	10,0	2	2	20	3	4

16. Сварочное оборудование (тип): АЗ. Сварочный полуавтомат – Форсаж-502

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	Расход газа (смеси) в сварочной горелке, л/мин
Шов № 1	1,6	по	220,0... 240,0	20,0... 28,0	8,0... 12,0	25,0... 30,0	15,0... 20,0
Шов № 2	1,6	по	220,0... 240,0	20,0... 28,0	8,0... 12,0	25,0... 30,0	15,0... 20,0

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-08Х19Н10М3Б по ГОСТ 2246–70, защитный газ – смесь М12 (98%Ar+2%) . Режимы сварки: диаметр сварочной проволоки 1,6 мм; постоянный ток обратной полярности; сварочный ток 160...180 А; напряжение дуги 22...24 В; вылет электродной проволоки 15...20 мм.

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

18.3. Выполнить шов согласно чертежу. Выполнить шов согласно чертежу. Шов выполняется механизированной сваркой в среде защитных газов. Сварочные материалы: Св- 08Х19Н10М3Б по ГОСТ 2246–70, защитный газ –аргон по ГОСТ10157-2016. Режимы сварки: диаметр сварочной проволоки 2,0 мм; постоянный ток обратной полярности; сварочный ток 150...250 А; напряжение дуги 27...29 В; вылет электродной проволоки 15...20 мм.

Провести визуальный контроль.

18.4. Выбрать корень шва механическим путем.

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

18.6. Провести визуальный и измерительный контроль шва.

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		111

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 %
Гидравлический	РД 24.200.11-90	ГОСТ 34347-2017 ГОСТ 3242-79	100 %
Межкристаллическая коррозия	ГОСТ 6032-2017	ГОСТ 34347-2017	4 образца

Разработал: _____/Балашова/

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		112

АРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ № 4

Таблица 1 – Характеристики процесса

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ 31842-2012
2	Способ сварки	УП
3	Основной материал (марки)	10X17H13M2T
4	Основной материал (группа)	11 (M11)
5	Сварочные материалы	Сварочная проволока Св-08X19H10M3Б по ГОСТ 2246-70 Защитный газ-смесь M12 (98%Ar+2%)
6	Толщина свариваемых деталей	10,0 мм
7	Длина деталей в зоне сварки	2200,0 мм
8	Тип шва	НШ
9	Тип соединения	Н1 ГОСТ 14771-76
10	Вид шва соединения	ос, бп
11	Форма подготовки кромок	Без скоса кромок
12	Положение при сварке	Н2
13	Режимы подогрева	Отсутствует
14	Режимы термообработки	Отсутствует
15	Дополнительные параметры	Нет

Таблица 2 – Конструкция соединения, конструктивные элементы шва



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

Параметр	S	S_1	k	N	b
Значение	10,0	10,0	10	2	0...1

16. Сварочное оборудование (тип): АЗ. Сварочный полуавтомат – Форсаж-502

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	Расход газа (смеси) в сварочной горелке, л/мин
Шов № 1	1,6	по	220,0... 240,0	20,0... 28,0	16,0... 18,0	25,0... 30,0	15,0... 20,0
Шов № 2	1,6	по	220,0... 240,0	20,0... 28,0	16,0... 18,0	25,0... 30,0	15,0... 20,0

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-08Х19Н10МЗБ по ГОСТ 2246–70, защитный газ – смесь М12 (98%Ar+2%). Режимы сварки: диаметр сварочной проволоки 1,6 мм; постоянный ток обратной полярности; сварочный ток 160...180 А; напряжение дуги 22...24 В; вылет электродной проволоки 15...20 мм.

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

18.3. Выполнить шов согласно чертежу. Выполнить шов согласно чертежу. Шов выполняется механизированной сваркой в среде защитных газов. Сварочные материалы: Св-08Х19Н10МЗБ по ГОСТ 2246–70, защитный газ – смесь М12 (98%Ar+2%). Режимы сварки: диаметр сварочной проволоки 2,0 мм; постоянный ток обратной полярности; сварочный ток 150...250 А; напряжение дуги 27...29 В; вылет электродной проволоки 15...20 мм.

Провести визуальный контроль.

18.4. Выбрать корень шва механическим путем.

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

18.6. Провести визуальный и измерительный контроль шва.

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		115

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: _____/Балашова/

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		116

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ № 5

Таблица 1 – Характеристики процесса

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	Обозначения (показатели)
2	Способ сварки	ГОСТ 31842-2012
3	Основной материал (марки)	УП
4	Основной материал (группа)	10X17H13M2T
5	Сварочные материалы	11 (M11)
6	Толщина свариваемых деталей	Сварочная проволока Св-08X19H10M3Б по ГОСТ 2246-70 Защитный газ-смесь M12 (98%Ar+2%)
7	Длина деталей в зоне сварки	12,0 мм
8	Тип шва	440,0 мм
9	Тип соединения	ТШ
10	Вид шва соединения	ТЗ ГОСТ 14771-76
11	Форма подготовки кромок	ос, бп
12	Положение при сварке	Без скоса кромок
13	Режимы подогрева	H2
14	Режимы термообработки	Отсутствует
15	Дополнительные параметры	Отсутствует
		Нет

Таблица 2 – Конструкция соединения, конструктивные элементы шва

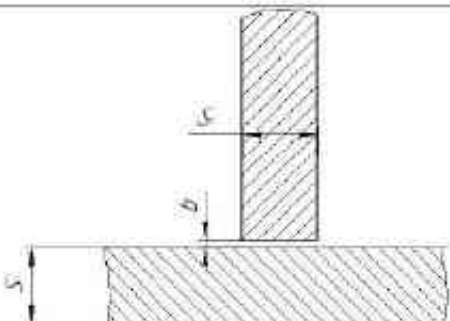
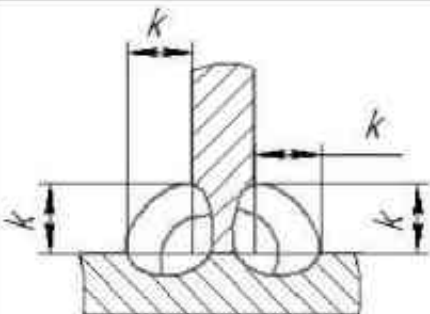
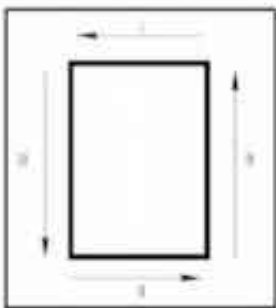
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

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

Параметр	S	Sl	k	N	b
Значение	12,0	12,0	10	2	0...1

16. Сварочное оборудование (тип): АЗ. Сварочный полуавтомат – Форсаж–502

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	Расход газа (смеси) в сварочной горелке, л/мин
Шов № 1	1,6	по	220,0... 240,0	20,0... 28,0	16,0... 18,0	25,0... 30,0	15,0... 20,0
Шов № 2	1,6	по	220,0... 240,0	20,0... 28,0	16,0... 18,0	25,0... 30,0	15,0... 20,0

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-08Х19Н10МЗБ по ГОСТ 2246–70, защитный газ – смесь М12 (98%Ar+2%). Режимы сварки: диаметр сварочной проволоки 1,6 мм; постоянный ток обратной полярности; сварочный ток 160...180 А; напряжение дуги 22...24 В; вылет электродной проволоки 15...20 мм.

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

18.3. Выполнить шов согласно чертежу. Выполнить шов согласно чертежу. Шов выполняется механизированной сваркой в среде защитных газов. Сварочные материалы: Св-08Х19Н10МЗБ по ГОСТ 2246–70, защитный газ – смесь М12 (98%Ar+2%). Режимы сварки: диаметр сварочной проволоки 2,0 мм; постоянный ток обратной полярности; сварочный ток 150...250 А; напряжение дуги 27...29 В; вылет электродной проволоки 15...20 мм.

Провести визуальный контроль.

18.4. Выбрать корень шва механическим путем.

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

18.6. Провести визуальный и измерительный контроль шва.

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		119

Таблица 5 – Требования к контролю качества

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

Разработал: _____/Балашова/

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		120

АРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ № 6

Таблица 1 – Характеристики процесса

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ 31842-2012
2	Способ сварки	УП
3	Основной материал (марки)	10X17H13M2T
4	Основной материал (группа)	11 (M11)
5	Сварочные материалы	Сварочная проволока Св-08X19H10M3Б по ГОСТ 2246-70 Защитный газ-смесь M12 (98%Ar+2%)
6	Толщина свариваемых деталей	10,0 мм
7	Длина деталей в зоне сварки	178,4 мм
8	Тип шва	УШ
9	Тип соединения	У12 РД 26-18-8-89
10	Вид шва соединения	ос, бп
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

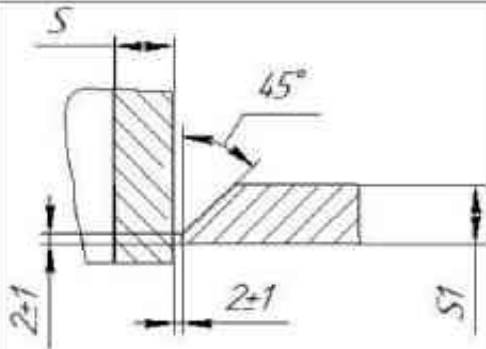
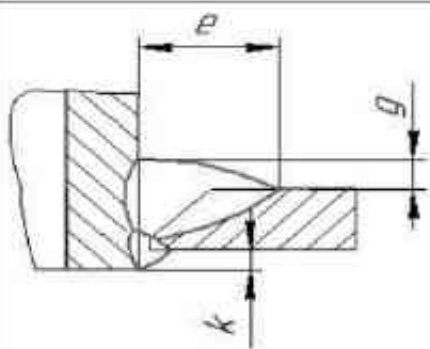
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

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

Параметр	S	S_f	N	b	e	K	g
Значение	10,0	10,0	2	2	20	3	4

16. Сварочное оборудование (тип): АЗ. Сварочный полуавтомат – Форсаж-502

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	Расход газа (смеси) в сварочной горелке, л/мин
Шов № 1	1,6	по	220,0... 240,0	20,0... 28,0	8,0... 12,0	25,0... 30,0	15,0... 20,0
Шов № 2	1,6	по	220,0... 240,0	20,0... 28,0	8,0... 12,0	25,0... 30,0	15,0... 20,0

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-08Х19Н10М3Б по ГОСТ 2246–70, защитный газ – смесь М12 (98%Ar+2%) . Режимы сварки: диаметр сварочной проволоки 1,6 мм; постоянный ток обратной полярности; сварочный ток 160...180 А; напряжение дуги 22...24 В; вылет электродной проволоки 15...20 мм.

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

18.3. Выполнить шов согласно чертежу. Выполнить шов согласно чертежу. Шов выполняется механизированной сваркой в среде защитных газов. Сварочные материалы: Св- 08Х19Н10М3Б по ГОСТ 2246–70, защитный газ –аргон по ГОСТ10157-2016. Режимы сварки: диаметр сварочной проволоки 2,0 мм; постоянный ток обратной полярности; сварочный ток 150...250 А; напряжение дуги 27...29 В; вылет электродной проволоки 15...20 мм.

Провести визуальный контроль.

18.4. Выбрать корень шва механическим путем.

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

18.6. Провести визуальный и измерительный контроль шва.

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		123

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 %
Гидравлический	РД 24.200.11-90	ГОСТ 34347-2017 ГОСТ 3242-79	100 %
Межкристаллическая коррозия	ГОСТ 6032-2017	ГОСТ 34347-2017	4 образца

Разработал: _____/Балашова/

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		124

Приложение Б

Расчеты в программе Пассат

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
						125
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		

4 Общие положения

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

1.1.1 Общий вид аппарата



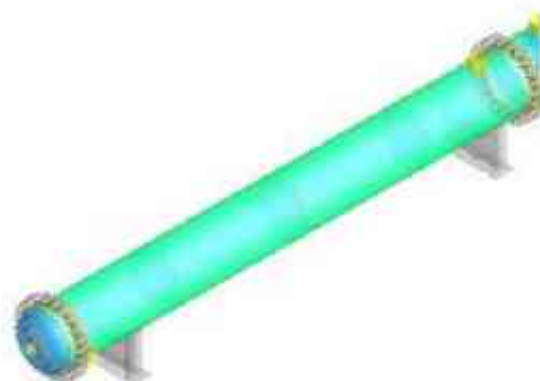
Вид сверху



Вид слева



Вид спереди



Изометрический вид

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дат		126

5 Сводные таблицы
5.1 Основные элементы

Таблица 1.1. Исходные данные

Элемент	Материал	Диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Длина (высота), мм	Суммарная прибавка, мм	Козфф. прочности сварного шва
Днище эллиптическое №2	Ст3 Труба	790	18	215,5	2,8	1
Обечайка цилиндрическая №5	Ст3 Труба	790	18	494	2,8	1
Обечайка цилиндрическая №1	Ст3 Труба	800	10	1500	2,8	1
Обечайка цилиндрическая №2	Ст3 Труба	800	10	2000	2,8	1
Обечайка цилиндрическая №3	Ст3 Труба	800	10	2000	2,8	1
Обечайка цилиндрическая №4	Ст3 Труба	800	10	1500	2,8	1
Днище эллиптическое №1	Ст3 Труба	790	10	207,5	2,8	1

Таблица 1.2. Рабочие условия

Элемент	Расчетная температура, °C	Расчетное давление, МПа	Допускаемые напряжения, МПа	Расчетная толщина с уч. прибавок, мм	Допускаемое давление, МПа	Условие прочности
Днище эллиптическое №2	20	2,26	154	8,617	5,87	выполнено
Обечайка цилиндрическая №5	20	2,26	154	8,639	5,814	выполнено
Обечайка цилиндрическая №1	20	2,26	154	8,713	2,747	выполнено
Обечайка цилиндрическая №2	20	2,26	154	8,713	2,747	выполнено
Обечайка цилиндрическая №3	20	2,26	154	8,713	2,747	выполнено
Обечайка цилиндрическая №4	20	2,26	154	8,713	2,747	выполнено
Днище эллиптическое №1	20	2,26	154	8,617	2,794	выполнено

Таблица 1.3. Условия испытаний

Элемент	Расчетное давление, МПа	Допускаемые напряжения, МПа	Расчетная толщина с уч. прибавок, мм	Допускаемое давление, МПа	Условие прочности
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат	Лис
ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ					127

Днище эллиптическое №2	2,51	227,3	7,174	8,662	выполнено
Обечайка цилиндрическая №5	2,51	227,3	7,186	8,581	выполнено
Обечайка цилиндрическая №1	2,51	227,3	7,242	4,054	выполнено
Обечайка цилиндрическая №2	2,51	227,3	7,242	4,054	выполнено
Обечайка цилиндрическая №3	2,51	227,3	7,242	4,054	выполнено
Обечайка цилиндрическая №4	2,51	227,3	7,242	4,054	выполнено
Днище эллиптическое №1	2,51	227,3	7,174	4,124	выполнено

Таблица 1.4. Исходные данные

Элемент	Метка	Тип	Материал	Диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Длина (высота), мм	Суммарная прибавка, мм
Штуцер №3		Непроходящий без укрепления	Ст3 Труба	203	9	180	1
Штуцер №5		Непроходящий без укрепления	Ст3 Труба	203	9	180	1
Штуцер №4		Непроходящий без укрепления	Ст3 Труба	203	9	180	1
Штуцер №6		Непроходящий без укрепления	Ст3 Труба	203	9	180	1
Штуцер №2		Непроходящий без укрепления	Ст3 Труба	100	10	70	2

Таблица 1.5. Рабочие условия

Элемент	Расчетная температура, °C	Расчетное давление, МПа	Диаметр отв., не треб. укрепления, мм	Расчетная толщина с уч. прибавок, мм	Допускаемое давление, МПа	Условие прочности
Штуцер №3	20	2,252	397,2	2,51	2,914	выполнено
Штуцер №5	20	2,262	394,7	2,516	2,914	выполнено
Штуцер №4	20	2,252	64,04	2,51	2,065	НЕ ВЫПОЛНЕНО
Штуцер №6	20	2,262	63,25	2,516	2,065	НЕ ВЫПОЛНЕНО
Штуцер №2	20	2,256	93,76	2,767	2,794	выполнено

Условия испытаний

					ПГУ ВКР.15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		128

Элемент	Расчетное давление, МПа	Диаметр отв., не треб. укрепления, мм	Расчетная толщина с уч. прибавок, мм	Допускаемое давление, МПа	Условие прочности
Штуцер №3	2,502	586,5	2,135	4,301	выполнено
Штуцер №5	2,512	583,6	2,139	4,301	выполнено
Штуцер №4	2,502	125,4	2,135	3,048	выполнено
Штуцер №6	2,512	124,4	2,139	3,048	выполнено
Штуцер №2	2,506	181	2,577	4,124	выполнено

5.2 Фланцы

Таблица 1.6. Исходные данные

Элемент	Тип фланцев	Исполнение	Материал	Теплоизоляция	Выбор из БД	Прокладка	Крепеж	Контроль затяжки
Фланцевое соединение №2	Приварные встык	Плоские	Ст3 Труба Ст3 Труба	Нет	ГОСТ 12821-80 PN (Class) 2.5 DN (NPS) 800	Резина по ГОСТ 7338 с твердостью по Шору А до 65 единиц	Шпильки 42 24 шт. 35 Крепеж	Без контроля затяжки
Фланцевое соединение №1	Приварные встык	Плоские	Ст3 Труба Ст3 Труба	Нет	ГОСТ 12821-80 PN (Class) 2.5 DN (NPS) 800	Резина по ГОСТ 7338 с твердостью по Шору А до 65 единиц	Шпильки 42 24 шт. 35 Крепеж	Без контроля затяжки

Рабочие условия

Элемент	Расчетное давление, МПа	Момент затяжки, кН·м	Допускаемое давление, МПа	Условие прочности
Фланцевое соединение №2	2,26	0,6847	-	НЕ ВЫПОЛНЕНО
Фланцевое соединение №1	2,26	0,6847	-	НЕ ВЫПОЛНЕНО

Элемент	Расчетное давление, МПа	Момент затяжки, кН·м	Условие прочности
Фланцевое соединение №2	2,51	0,6847	НЕ ВЫПОЛНЕНО
Фланцевое соединение №1	2,51	0,6847	НЕ ВЫПОЛНЕНО

5.3 Заполнение

Таблица 1.7. Рабочие условия

					ПГУ ВКР.15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		129

Элемент	Полный объем, м³	Объем про- дукта, м³	Масса про- дукта, кг	Высота столба, мм	Макс. высота столба при 100%, мм	ξ
Днище эллипти- ческое №2	0,06454	0,06454	64,54	988	988	1
Обечайка цилин- дрическая №5	0,2421	0,2421	242,1	988	988	1
Штуцер №3	0,006501	0,006501	6,501	211,3	211,3	1
Штуцер №5	0,006501	0,006501	6,501	1186	1186	1
Фланцевое соеди- нение №2	0,1387	0,1387	138,7	988	988	1
Обечайка цилин- дрическая №1	0,754	0,754	754	993	993	1
Штуцер №4	0,006237	0,006237	6,237	206,1	206,1	1
Обечайка цилин- дрическая №2	1,005	1,005	1005	993	993	1
Обечайка цилин- дрическая №3	1,005	1,005	1005	993	993	1
Обечайка цилин- дрическая №4	0,754	0,754	754	993	993	1
Штуцер №6	0,006237	0,006237	6,237	1183	1183	1
Фланцевое соеди- нение №1	0,1387	0,1387	138,7	988	988	1
Днище эллипти- ческое №1	0,06454	0,06454	64,54	988	988	1
Штуцер №2	$0,6168 \cdot 10^{-3}$	$0,6168 \cdot 10^{-3}$	0,6168	643	643	1
Σ	4,193	4,193	4193	—	—	—

5.4 Полости аппарата

ρ – плотность рабочей среды

V_{полн} – полный объем

V_{прод} – объем продукта

M – масса продукта

Таблица 1.8. Параметры заполнения полостей

Элемент	Испытания	P _{исп} , МПа	Жид- кость	ρ, кг/м³	V _{полн} , м³	V _{прод} , м³	M, кг	Среда	H ₂ S
Днище эллиптическое №2	Гидроиспытания	2,5	Да	1000	4,193	4,193	4193		Нет (–)

5.5 Веса и центры тяжести

Таблица 1.9. Рабочие условия (с заполнением продуктом)

Элемент	Вес, кН	Положение центра тяжести (относительно начала координат модели )
Днище эллиптическое №2	1,624	X = 0 мм, Y = 0 мм, Z = -99,81 мм
Обечайка цилиндрическая №5	4,022	X = 0 мм, Y = 0 мм, Z = 249,2 мм
Штуцер №3	0,1499	X = 0 мм, Y = 496,6 мм, Z = 150 мм
Штуцер №5	0,1499	X = 0 мм, Y = -496,6 мм, Z = 150 мм

Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат	ПГУ ВКР.15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
						130

Фланцевое соединение №2	6,607	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 635,5 мм
Обечайка цилиндрическая №1	10,31	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 1528 мм
Штуцер №4	0,1473	X = 0 мм, Y = 495,3мм, Z = 1152 мм
Опора седловая №1	1,073	X = 0 мм, Y = -545,5мм, Z = 1152 мм
Обечайка цилиндрическая №2	13,78	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 3277 мм
Обечайка цилиндрическая №3	13,78	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 5277 мм
Обечайка цилиндрическая №4	10,31	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 7026 мм
Штуцер №6	0,1473	X = 0 мм, Y = -495,3мм, Z = 7402 мм
Опора седловая №2	1,073	X = 0 мм, Y = -545,5мм, Z = 6977 мм
Фланцевое соединение №1	6,607	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 7918 мм
Днище эллиптическое №1	1,164	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 8152 мм
Штуцер №2	0,02458	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 8299 мм
Σ	70,96	X = 0 мм, Y = -16,49мм, Z = 3990 мм

Условия испытаний (с заполнением средой)**При пневмониспытаниях, для не заполняемого элемента, или отсутствия испытаний для элемента выводится сухой вес

Элемент	Вес, кН	Положение центра тяжести (относительно начала координат модели )
Днище эллиптическое №2	1,624	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = -99,81 мм
Обечайка цилиндрическая №5	4,022	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 249,2 мм
Штуцер №3	0,1499	X = 0 мм, Y = 496,6мм, Z = 150 мм
Штуцер №5	0,1499	X = 0 мм, Y = -496,6мм, Z = 150 мм
Фланцевое соединение №2	6,607	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 635,5 мм
Обечайка цилиндрическая №1	10,31	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 1528 мм
Штуцер №4	0,1473	X = 0 мм, Y = 495,3мм, Z = 1152 мм
Опора седловая №1	1,073	X = 0 мм, Y = -545,5мм, Z = 1152 мм
Обечайка цилиндрическая №2	13,78	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 3277 мм
Обечайка цилиндрическая №3	13,78	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 5277 мм

					ПГУ ВКР.15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		131

Обечайка цилиндрическая №4	10,31	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 7026 мм
Штуцер №6	0,1473	X = 0 мм, Y = -495,3мм, Z = 7402 мм
Опора седловая №2	1,073	X = 0 мм, Y = -545,5мм, Z = 6977 мм
Фланцевое соединение №1	6,607	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 7918 мм
Днище эллиптическое №1	1,164	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 8152 мм
Штуцер №2	0,02458	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 8299 мм
Σ	70,96	X = 0 мм, Y = -16,49мм, Z = 3990 мм

Таблица 1.10. Условия монтажа (сухой вес)

Элемент	Вес, кН	Положение центра тяжести
		(относительно начала координат модели )
Днище эллиптическое №2	0,9913	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = -116,3 мм
Обечайка цилиндрическая №5	1,648	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 252,3 мм
Штуцер №3	0,08614	X = 0 мм, Y = 499,6мм, Z = 150 мм
Штуцер №5	0,08612	X = 0 мм, Y = -499,6мм, Z = 150 мм
Фланцевое соединение №2	5,247	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 635,5 мм
Обечайка цилиндрическая №1	2,913	X = 0 мм, Y = -3,442мм, Z = 1530 мм
Штуцер №4	0,08611	X = 0 мм, Y = 496,6мм, Z = 1152 мм
Опора седловая №1	1,073	X = 0 мм, Y = -545,5мм, Z = 1152 мм
Обечайка цилиндрическая №2	3,918	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 3277 мм
Обечайка цилиндрическая №3	3,918	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 5277 мм
Обечайка цилиндрическая №4	2,913	X = 0 мм, Y = 3,441мм, Z = 7024 мм
Штуцер №6	0,08611	X = 0 мм, Y = -496,6мм, Z = 7402 мм
Опора седловая №2	1,073	X = 0 мм, Y = -545,5мм, Z = 6977 мм
Фланцевое соединение №1	5,247	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 7918 мм
Днище эллиптическое №1	0,5313	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 8173 мм
Штуцер №2	0,01853	X = 0 мм, Y = 0мм, Z = 8300 мм
Σ	29,84	X = 0 мм, Y = -39,23мм, Z = 3942 мм

5.6 Материалы конструкции

Таблица 1.11. Материалы элементов

Элемент	Материал	Количество	Площадь поверхности (наружная+внутренняя)
Днище эллиптическое №2			
	Ст3 Труба	101,1 кг	14770 см ²
Обечайка цилиндрическая №5			
	Ст3 Труба	168 кг	24940 см ²
Штуцер №3			
	Ст3 Труба	8,783 кг	2610 см ²
Штуцер №5			

	Ст3 Труба	8,782 кг	2610 см ²
Фланцевое соедине- ние №2			
	35 Крепеж	101,9 кг	17850 см ²
	Резина по ГОСТ 7338 с твёрдостью по Шору А до 65 единиц	1 шт.	866,6 см ²
	Ст3 Труба	433,1 кг	32860 см ²
Обечайка цилиндри- ческая №1			
	Ст3 Труба	297,1 кг	76280 см ²
Штуцер №4			
	Ст3 Труба	8,78 кг	2612 см ²
Опора седловая №1			
	Ст3 Крепеж	0,1021 кг	77,88 см ²
	Ст3 Труба	109,3 кг	29130 см ²
Обечайка цилиндри- ческая №2			
	Ст3 Труба	399,5 кг	102300 см ²
Обечайка цилиндри- ческая №3			
	Ст3 Труба	399,5 кг	102300 см ²
Обечайка цилиндри- ческая №4			
	Ст3 Труба	297,1 кг	76280 см ²
Штуцер №6			
	Ст3 Труба	8,78 кг	2612 см ²
Опора седловая №2			
	Ст3 Крепеж	0,1021 кг	77,88 см ²
	Ст3 Труба	109,3 кг	29130 см ²
Фланцевое соедине- ние №1			
	35 Крепеж	101,9 кг	17850 см ²
	Резина по ГОСТ 7338 с твёрдостью по Шору А до 65 единиц	1 шт.	866,6 см ²
	Ст3 Труба	433,1 кг	32860 см ²
Днище эллиптическое №1			
	Ст3 Труба	54,17 кг	14090 см ²
Штуцер №2			
	Ст3 Труба	1,89 кг	550,8 см ²

Итого:

35 Крепеж	203,8 кг	35700 см ²
Резина по ГОСТ 7338 с твёрдостью по Шору А до 65 единиц	2 шт.	1733 см ²
Ст3 Крепеж	0,2042 кг	155,8 см ²
Ст3 Труба	2838 кг	545900 см ²

5.7

Расчёт давления испытаний по ГОСТ 34347 гидроиспытания

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		133

Таблица 1.12.Значение давления по элементам

Элемент	Давление испытаний, МПа
Днище эллиптическое №2	2,815
Обечайка цилиндрическая №5	2,815
Штуцер №3	2,813
Штуцер №5	2,815
Фланцевое соединение №2	2,815
Обечайка цилиндрическая №1	2,815
Штуцер №4	2,813
Обечайка цилиндрическая №2	2,815
Обечайка цилиндрическая №3	2,815
Обечайка цилиндрическая №4	2,815
Штуцер №6	2,815
Фланцевое соединение №1	2,815
Днище эллиптическое №1	2,815
Штуцер №2	2,814
$P_{test,min} = 2,813$	

Таблица 1.13.Категория оборудования по ТР ТС 032/2013

Элемент, связанный с полостью	Только жидкость ($\rho > 0,99$)	Группа рабочей среды	Вместимость, м ³	Произведение значения расчетного давления и значения вместимости, МПа·м ³	Расчетное давление, МПа	Категория оборудования
Днище эллиптическое №2	Да	I	4,193	9,435	2,25	2

Примечание: в соответствии с п.2, 3 ТР ТС 032/2013 категория оборудования, предназначенного для эксплуатации с расчетной температурой выше переходной температуры ползучести металла, увеличивается на 1 (кроме 4-й категории). Переходная температура ползучести составляет:
 400°C - для углеродистых и низколегированных кремнемарганцовистых сталей;
 450°C - для низколегированных хромомолибденовых и хромомолибденованадиевых сталей;
 525°C - для легированных высокохромистых мартенситного класса и аустенитных сталей;
 575°C - для сплавов на железоникелевой и никелевой основе.

5.8 Приложенные нагрузки

Таблица 1.14.Рабочие условия

Название элемента	Нагрузки						Примечание
Обечайка цилиндрическая №5							Авто
Штуцер №3	$F_R=0,1499$ кН	$F_C=0$ кН	$F_L=0$ кН	$M_C=0$ кН·м	$M_L=0$ кН·м	$M_T=0$ кН·м	Авто

Изм.	Лист	№ докум.	Под-	Дат	ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ		Лист
							134

Штуцер №5	$F_R=(-0,1499) \text{ кН}$	$F_C=0 \text{ кН}$	$F_L=0 \text{ кН}$	$M_C=0 \text{ кН}\cdot\text{м}$	$M_L=0 \text{ кН}\cdot\text{м}$	$M_T=0 \text{ кН}\cdot\text{м}$	АВТО
Фланцевое соединение №2	$F_R=0 \text{ кН}$	$F_C=0 \text{ кН}$	$F_L=(-5,946) \text{ кН}$	$M_C=0 \text{ кН}\cdot\text{м}$	$M_L=2,705 \text{ кН}\cdot\text{м}$	$M_T=0 \text{ кН}\cdot\text{м}$	АВТО
Обечайка цилиндрическая №1							АВТО
Штуцер №4	$F_R=0,1473 \text{ кН}$	$F_C=0 \text{ кН}$	$F_L=0 \text{ кН}$	$M_C=0 \text{ кН}\cdot\text{м}$	$M_L=0 \text{ кН}\cdot\text{м}$	$M_T=0 \text{ кН}\cdot\text{м}$	АВТО
Обечайка цилиндрическая №2							АВТО
Обечайка цилиндрическая №3							АВТО
Обечайка цилиндрическая №4							АВТО
Штуцер №6	$F_R=(-0,1473) \text{ кН}$	$F_C=0 \text{ кН}$	$F_L=0 \text{ кН}$	$M_C=0 \text{ кН}\cdot\text{м}$	$M_L=0 \text{ кН}\cdot\text{м}$	$M_T=0 \text{ кН}\cdot\text{м}$	АВТО
Фланцевое соединение №1	$F_R=0 \text{ кН}$	$F_C=0 \text{ кН}$	$F_L=7,796 \text{ кН}$	$M_C=0 \text{ кН}\cdot\text{м}$	$M_L=0 \text{ кН}\cdot\text{м}$	$M_T=0 \text{ кН}\cdot\text{м}$	АВТО
Штуцер №2							АВТО

Таблица 1.15. Условия испытаний

Название элемента	Нагрузки						Примечание
Обечайка цилиндрическая №5							АВТО
Штуцер №3	$F_R=0,1499 \text{ кН}$	$F_C=0 \text{ кН}$	$F_L=0 \text{ кН}$	$M_C=0 \text{ кН}\cdot\text{м}$	$M_L=0 \text{ кН}\cdot\text{м}$	$M_T=0 \text{ кН}\cdot\text{м}$	АВТО
Штуцер №5	$F_R=(-0,1499) \text{ кН}$	$F_C=0 \text{ кН}$	$F_L=0 \text{ кН}$	$M_C=0 \text{ кН}\cdot\text{м}$	$M_L=0 \text{ кН}\cdot\text{м}$	$M_T=0 \text{ кН}\cdot\text{м}$	АВТО
Фланцевое соединение №2	$F_R=0 \text{ кН}$	$F_C=0 \text{ кН}$	$F_L=(-5,946) \text{ кН}$	$M_C=0 \text{ кН}\cdot\text{м}$	$M_L=2,705 \text{ кН}\cdot\text{м}$	$M_T=0 \text{ кН}\cdot\text{м}$	АВТО
Обечайка цилиндрическая №1							АВТО
Штуцер №4	$F_R=0,1473 \text{ кН}$	$F_C=0 \text{ кН}$	$F_L=0 \text{ кН}$	$M_C=0 \text{ кН}\cdot\text{м}$	$M_L=0 \text{ кН}\cdot\text{м}$	$M_T=0 \text{ кН}\cdot\text{м}$	АВТО
Обечайка цилиндрическая №2							АВТО
Обечайка цилиндрическая №3							АВТО
Обечайка цилиндрическая №4							АВТО
Штуцер №6	$F_R=(-0,1473) \text{ кН}$	$F_C=0 \text{ кН}$	$F_L=0 \text{ кН}$	$M_C=0 \text{ кН}\cdot\text{м}$	$M_L=0 \text{ кН}\cdot\text{м}$	$M_T=0 \text{ кН}\cdot\text{м}$	АВТО

Фланцевое со- единение №1	$F_R=0$ кН	$F_C=0$ кН	$F_L=7,796$ кН	$M_C=0$ кН·м	$M_L=0$ кН·м	$M_T=0$ кН·м	АВТО
Штуцер №2							АВТО

6 Эшоры сил и моментов

6.1 Расчёт в рабочих условиях



					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		136

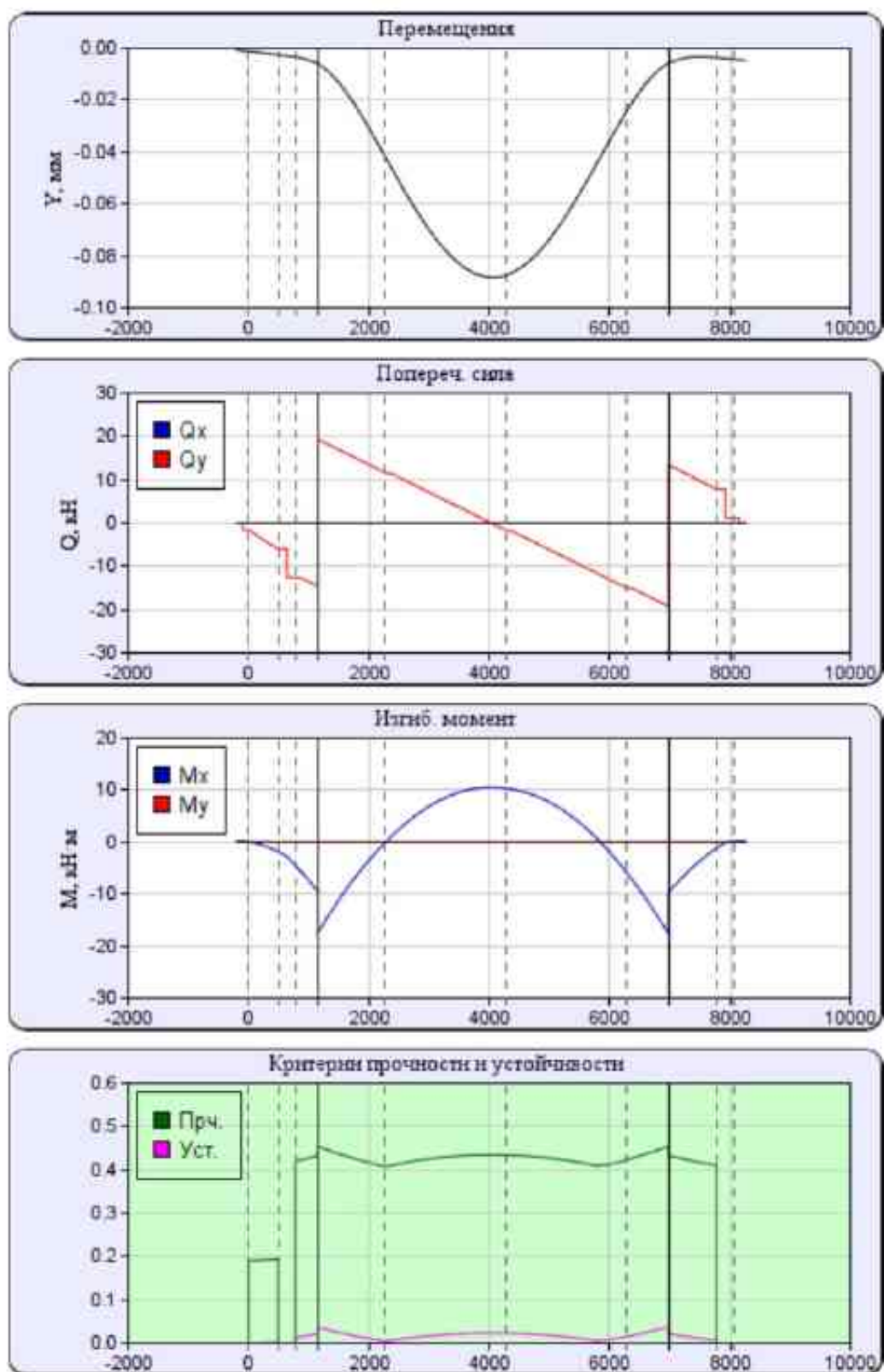


Рис.1.2. Эшоры нагрузок и критериев
Условие работоспособности выполнено.

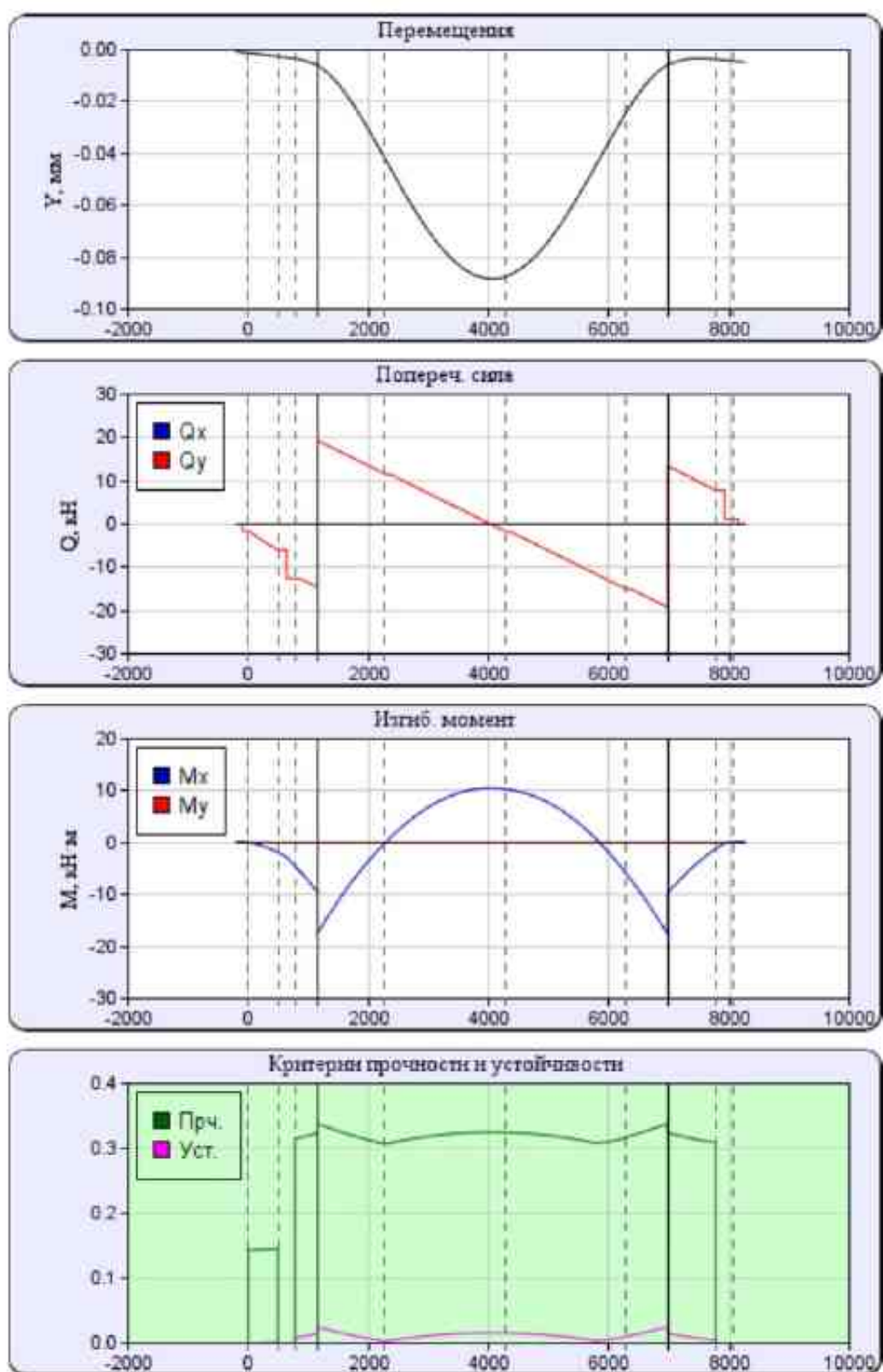


Рис. 1.3. Эшоры нагрузок и критериев
Условие работоспособности выполнено.

Приложение В

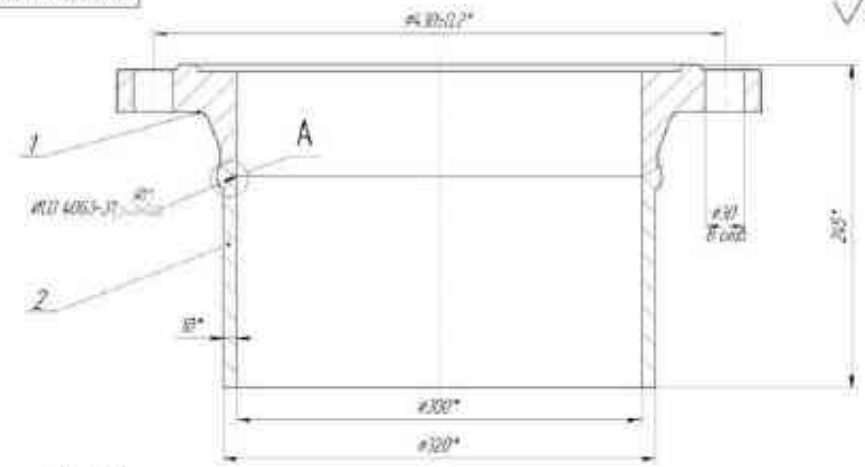
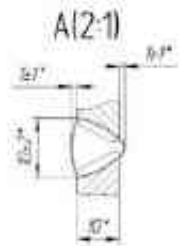
Графическая часть

					ПГУ ВКР 15.03.01.223М0037.ПЗ	Лис
						139
Изм.	Лис	№ докум.	Под-	Дат		

[illegible]

15.03.01.223.M0037C602

√ Ra 12,5

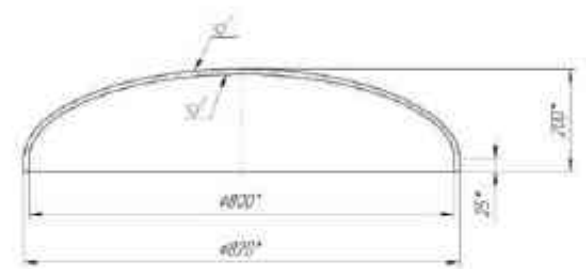


- 1* Размеры для справок.
2. Собственные углы кромок в радиусе не более 12 мм.
3. Маркировка обозначение чертёж и клеймо каталога ОТК краской шрифтом 10 (ГОСТ 26.020-80)

ПЧ.ВКР.15.03.01.223.M0037C602			
Исполн.	М.В.В.	Д.В.В.	Д.В.В.
Провер.	Провер.	Провер.	Провер.
Дат.	15.03.01.223	15.03.01.223	15.03.01.223
Штампёр			
Собственный чертёж			
Копия 1/1 и 1/2			
арх. 22.343.4.1			

15.03.01.223.M0037C601

√ Ra 12,5

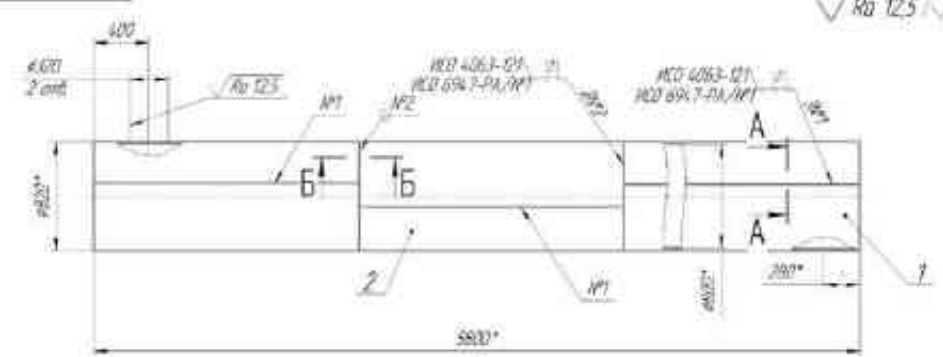
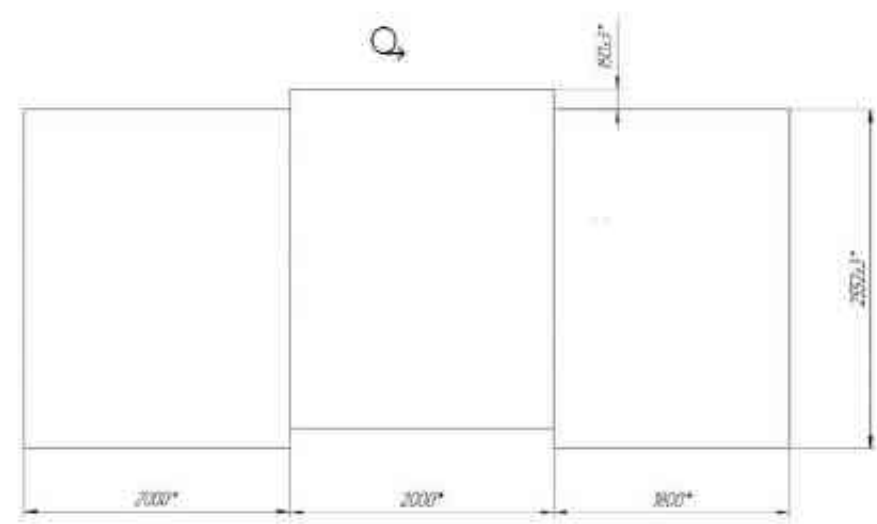


- 1* Размеры для справок.
2. Собственные углы кромок по ГОСТ 308933-нп.
3. Маркировка обозначение чертёж и клеймо каталога ОТК краской шрифтом 10 (ГОСТ 26.020-80)

ПЧ.ВКР.15.03.01.223.M0037C601			
Исполн.	М.В.В.	Д.В.В.	Д.В.В.
Провер.	Провер.	Провер.	Провер.
Дат.	15.03.01.223	15.03.01.223	15.03.01.223
Днище			
Собственный чертёж			
Копия 1/1 и 1/2			
арх. 22.343.4.1			

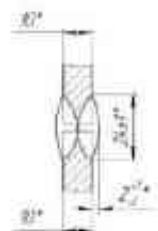
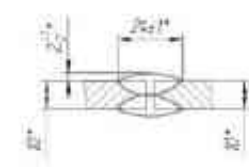
15.03.01.223.M0037C603

√ Ra 12,5



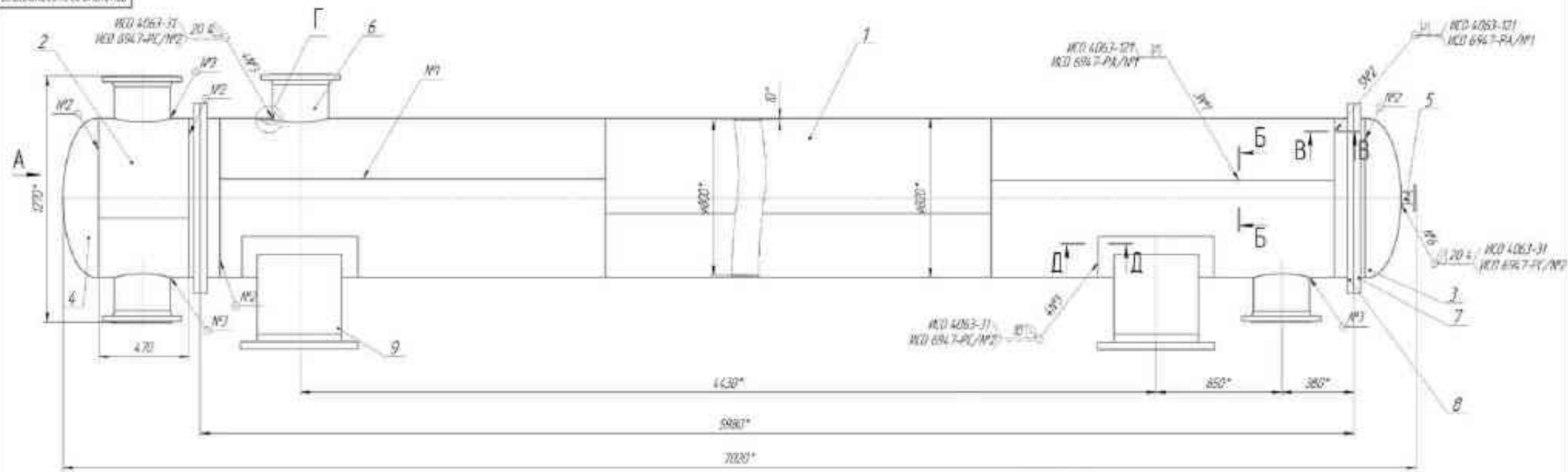
A-A(11)

B-B(11)

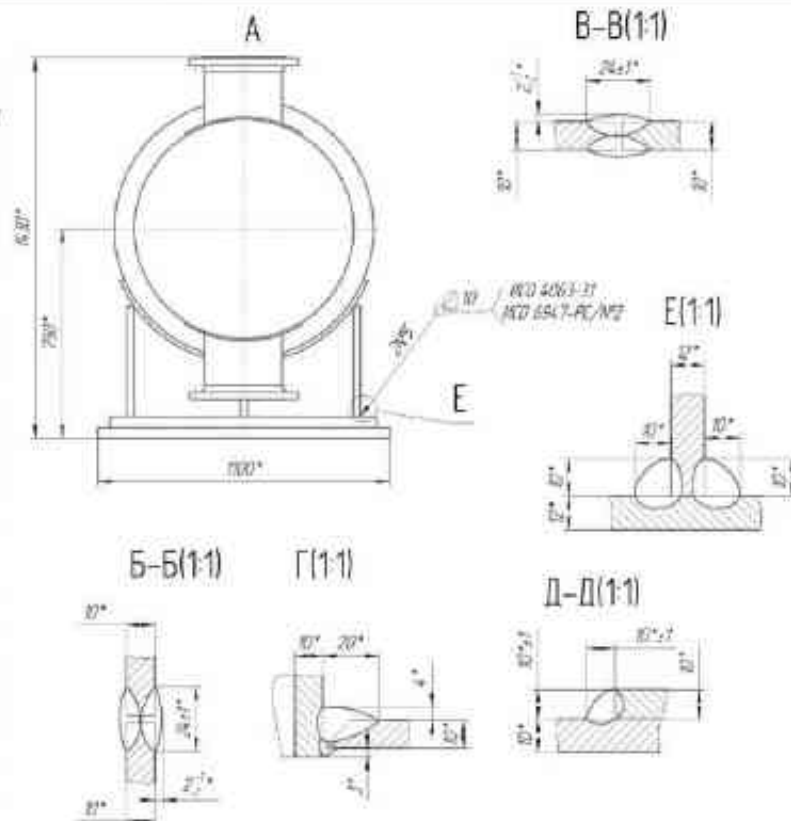


- 1* Размеры для справок.
2. Собственные углы кромок не более 12 мм.
3. Собственные углы кромок в радиусе не более 12 мм.
3. Маркировка обозначение чертёж и клеймо каталога ОТК краской шрифтом 20 (ГОСТ 26.020-80)

ПЧ.ВКР.15.03.01.223.M0037C603			
Исполн.	М.В.В.	Д.В.В.	Д.В.В.
Провер.	Провер.	Провер.	Провер.
Дат.	15.03.01.223	15.03.01.223	15.03.01.223
Образцы			
Собственный чертёж			
Копия 1/1 и 1/2			
арх. 22.343.4.1			



Технические характеристики		
Наименование параметра		Значение параметра
Назначение аппарата		Для подогрева (охлаждения) среды
Группа аппарата		1
Давление, МПа	рабочее	2,25
	расчетное	2,322
Пробное давление испытания, МПа	гидравлическое	3,21
	пневматическое	—
Допустимая рабочая температура стенки, °C	максимальная	плюс 70
	минимальная	плюс 45
Расчетная температура стенки, °C		плюс 100
Минимально допустимая отрицательная температура стенки, °C		минус 37
Наименование рабочей среды и ее состав		H ₂ SO ₄
Характеристика рабочей среды	Класс опасности по ГОСТ 12.1.007-76	вс 2 класс
	Пожароопасность	нет
	Взрывоопасность	нет
Основной материал		10X17H13M2T по ГОСТ 5632-2014
Скорость коррозии, мм/год		0,2
Прирост на коррозию (эрозия), мм		2
Срок службы, лет		10
Вместимость, м ³		346

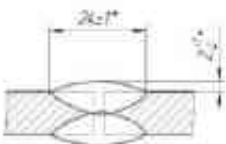
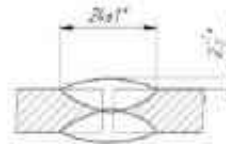
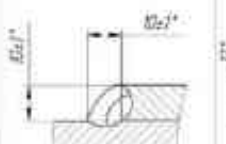
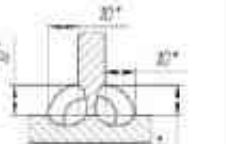
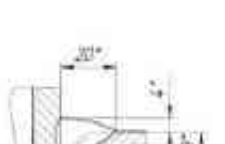


Технические требования

1. *Размеры для справок.
2. Аппарат изготовить в соответствии с требованиями к требованиям Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением ГОСТ 31842-2012 ИСО 36812:2007 Нефтегазовая и газовая промышленность. Теплообменники кожухотрубчатые. Технические требования. ГОСТ 36347-2017 "Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия".
3. На внутренних поверхностях не должно быть окалины, металлических брызг, ржавчины и грязи.
4. Гидравлическая на прочность и плотность пробным избыточным давлением 3,21 МПа в течение 30 минут. Падение давления по манометру, пропуску испытательной среды в сварных соединениях и на основном металле, признаки разрыва, остаточные деформации, течи и потения не допускаются. После гидравлического пробного сжатия воздухом до исчезновения капельной жидкости.
5. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-мк.

[illegible]

Методы контроля сварных швов и КСС

Номер сварного шва	1	2	3	4	5	6
Эскиз сварного шва						
Обозначение сварного шва	Г29 ГОСТ 8713-79	Г29 ГОСТ 8713-79	У12 РД26-18-8-89	Н1 ГОСТ 14771-76	Т3 ГОСТ 14771-76	У12 РД26-18-8-89
Методы контроля	Визуальный и измерительный контроль, 100%	+	+	+	+	+
	Ультразвуковой, 100%	+	+	-	-	-
	Гидравлический, 100%	+	+	+	-	+
	Цветная дефектоскопия, 100%	-	-	+	+	+
	Статическое растяжение	+	+	-	-	-
	Ударный изгиб	+	+	-	-	-
	Статический изгиб	+	+	-	-	-
Межкристаллитная коррозия	+	+	+	-	-	+

Обозначение шва	Численное обозначение способа сварки	НТД под сварку	Тип подготовки кромок	Порядок выполнения шва	Технические режимы сварки						Марка проволоки	Диаметр проволоки d, мм	Защитная среда
					Обозначение прохода	Сварочный ток I, А	Напряжение U, В	Скорость сварки V _{св} , м/ч	Скорость подачи электрода V _п , м/ч	Вылет электрода l, мм			
1	АФФ	С29 по ГОСТ 8713-79			A	500-600	36-40	27-33	170-180	25-30	СВ-06Х20Н1М3ТБ по ГОСТ 2246-70	4,0	Флюс АН-26С по ГОСТ Р 52222-2004
					Б	500-600	36-40	27-33	170-180	25-30		4,0	
2	АФФ	С29 по ГОСТ 8713-79			A	500-600	36-40	27-33	170-180	25-30	СВ-06Х20Н1М3ТБ по ГОСТ 2246-70	4,0	Флюс АН-26С по ГОСТ Р 52222-2004
					Б	500-600	36-40	27-33	170-180	25-30		4,0	
3	УП	У12 по РД26-18-В-89			A	220-240	20-28	8-12	220-230	15-20	СВ-08Х19Н10М3Б по ГОСТ 2246-70	16	Газовая смесь Ar98%+CO ₂ 2% по ТУ 2114-001-87/44354-2012
					Б	220-240	20-28	8-12	220-230	15-20		15-20	
4	УП	Н1 по ГОСТ 14771-76			A	220-240	20-28	16-18	220-230	15-20	СВ-08Х19Н10М3Б по ГОСТ 2246-70	16	Газовая смесь Ar98%+CO ₂ 2% по ТУ 2114-001-87/44354-2012
					Б	280-320	20-28	16-18	220-230	15-20		25-30	
5	УП	Г3 по ГОСТ 14771-76			A	220-240	20-28	16-18	220-230	15-20	СВ-08Х19Н10М3Б по ГОСТ 2246-70	16	Газовая смесь Ar98%+CO ₂ 2% по ТУ 2114-001-87/44354-2012
					Б	280-320	20-28	16-18	220-230	15-20		25-30	
6	УП	У12 по РД26-18-В-89			A	220-240	20-28	16-18	220-230	15-20	СВ-08Х19Н10М3Б по ГОСТ 2246-70	16	Газовая смесь Ar98%+CO ₂ 2% по ТУ 2114-001-87/44354-2012
					Б	220-240	20-28	16-18	220-230	15-20		15-20	

[illegible]



