

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

Факультет
промышленных технологий
электроэнергетики и транспорт
(наименование)

Кафедра
«Сварочное, литейное производство
и материаловедение»

15.03.01 «Машиностроение»
(код и наименование)

Направление подготовки
Профиль

«Оборудование и технология
сварочного производства»
(наименование)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
на тему
«Разработка технологии сборки и сварки корпуса
воздухосборника В-6,3-0,7-098 из стали 16ГС»

Студент

Серов Д.М.

(подпись, дата)

Научный руководитель
к.т.н., профессор

Кривенков А.О.
(фамилия, инициалы)

(подпись, дата)

Нормоконтролёр
к.т.н., доцент

Хорин А.В.
(фамилия, инициалы)

(подпись, дата)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от

№)

Заведующий кафедрой

Розен А.Е.

(подпись, дата)

(фамилия, инициалы)

Работа защищена с отметкой

ГЭК от

Секретарь ГЭК

Гуськов М.С.
(фамилия, инициалы)

Пенза 2025

Аннотация

Выпускная квалификационная работа содержит 89 с., 22 рис., 24 табл., 37 использованных источников, 3 прил. Графическая часть из 7 листов А1.

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

Объектом разработки является сварная конструкция – корпус воздухохоборника В-6,3-0,7-098 из стали 16ГС.

Предметом исследования является процесс сборки и сварки корпуса воздухохоборника В-6,3-0,7-098 из стали 16ГС.

Цель работы – разработка технологии сборки и сварки корпуса воздухохоборника В-6,3-0,7-098 из стали 16ГС 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. технология сборки и сварки корпуса.

					ПГУ ВКР 15.03.01.213МО41.098ПЗ							
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Разработка технологии сборки и сварки корпуса воздухохоборника В-6,3-0,7- 098			Лит.	Лист	Листов		
Разраб.		Серов Д.М								3	89	
Провер.		Кривенков А.О						Каф.СЛП и М				
Реценз.												
Н. Контр.		Хорин А. В										
Утверд.		Розен А.Е										

Содержание

Введение.....	5
1 Патентный обзор	7
2 Анализ объекта производства. Назначение конструкции и технические требования.....	10
3 Обоснование выбора основных материалов сварной конструкции.....	13
4 Расчет и проектирование сварной конструкции	15
5 Выбор способа сварки	32
6 Обоснование выбора сварочных материалов.....	35
7 Техника и технология сборки и сварки изделия	37
8 Расчет параметров режимов сварки	38
9 Выбор сварочного оборудования и технологической оснастки	49
10 Контроль качества сварных соединений	71
10.1 Визуально - измерительный контроль	71
10.2 Ультразвуковой контроль	72
10.3 Капиллярный контроль.....	76
10.4 Механические испытания.....	78
10.5 Гидравлические испытания.....	81
Заключение.....	84
Список используемых источников.....	86
Приложение А карты технологического процесса сварки.....	91
Приложение Б расчет в программе ПАССАТ	110
Приложение В графическая часть	114

					<i>ПГУ ВКР 15.03.01.213МО41.098П</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

Введение

Эта выпускная работа фокусируется на всестороннем анализе и создании технологии сборки и сварки корпуса воздухосборника модели В-6,3-0,7-098, изготовленного из стали марки 16ГС. Разрабатываемое изделие – это ёмкостный аппарат, который производится на массовом уровне. Основной задачей проекта является разработка наиболее эффективной конструкции [1].

Актуальность данной работы обусловлена острой необходимостью модернизации существующих производственных процессов, которые характеризуются низким уровнем автоматизации и значительной трудоемкостью [2].

В настоящее время сборка и сварка резервуаров осуществляются преимущественно ручным способом, что влечет за собой ряд существенных недостатков.

Во-первых, низкая производительность труда приводит к увеличению сроков изготовления и, как следствие, к росту производственных издержек.

Во-вторых, значительная доля ручного труда неизбежно сказывается на качестве сварных швов, увеличивая риск брака и необходимости проведения дорогостоящих ремонтных работ [3].

В-третьих, тяжелые условия труда сварщиков, связанные с длительным выполнением монотонных операций в неудобных позах, негативно влияют на здоровье персонала и приводят к высокой текучести кадров. В условиях современной рыночной экономики, когда конкуренция крайне высока, подобные недостатки оказывают крайне негативное влияние на экономическую эффективность предприятия. Для успешного функционирования и поддержания конкурентоспособности необходимо одновременно снижать издержки производства и гарантировать высокое качество выпускаемой продукции, полностью соответствующее требованиям заказчиков.

					ПГУ ВКР 15 03 01 213М041 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

Поэтому, основная задача данной выпускной квалификационной работы заключается не только в проектировании конструкции резервуара, но и в разработке принципиально новой технологии сборки и сварки, ориентированной на максимальное повышение уровня автоматизации и механизации производственных процессов. Это позволит значительно сократить время, необходимое для изготовления одного изделия, снизить количество используемого ручного труда и, соответственно, минимизировать производственные расходы. Планируется детальное изучение современных высокоэффективных методов сварки, таких как роботизированная сварка, сварка в защитных газах и других прогрессивных технологий, которые позволят обеспечить высокое качество сварных швов при одновременном повышении скорости выполнения работ [4].

В выпускной квалификационной работе выполняются задачи, основными из которых являются:

- Анализ объекта производства. Назначение конструкции и технические требования.
- Обоснование выбора основных материалов сварной конструкции.
- Расчет и проектирование сварной конструкции.
- Выбор способа сварки.
- Обоснование выбора сварочных материалов.
- Техника и технология сварки конструкции.
- Контроль качества сварных соединений.
- Техника безопасности при сварке.

					ПГУ ВКР 15 03 01 213М041 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

1 Патентный обзор

Процесс патентного анализа включает в себя изучение текущего уровня и тенденций развития объектов, подлежащих защите интеллектуальной собственности, а также их возможности получения патента, невмешательство в права других владельцев патентов и их способность конкурировать на рынке (эффективность использования в соответствующих целях) на основе анализа данных, извлеченных из патентной литературы и других источников информации.

В настоящей работе анализируется технологический процесс сборки и сварки корпуса воздухоборника в условиях заводского производства.

В ходе исследования осуществляется сбор, систематизация и анализ полученной информации, на основе которой формулируются рекомендации по совершенствованию технологии.

По завершении работы составляется отчет, включающий в себя результаты исследования и предложения по дальнейшему развитию техники в данной области.

Дата составления регламента – 13.04.2025.

Объект поиска – стенды для сварки обечаек.

Начало поиска – 09.03.2025.

Завершение поиска – 28.05.2025.

Страны поиска – Россия.

Ретроспективность – 15 лет.

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

а) В23K37/04– устройство для автоматической сварки стыковым или угловым швом цилиндрической обечайки с дном

					ПГУ ВКР 15 03 01 213М041 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

б) В 23 К 9/16, В 23 К 35/20, В 23 К 35/36, – Сварочное устройство и способ сварки;

в) В 23 К 37/04, В 23 Р 19/10 – роликовый стенд для сборки под сварку обечаек цилиндрического корпуса друг с другом и обечайки цилиндрического корпуса с днищем;

г) В 23 Q 3/152, В 23 Q 3/06, В 23 Q7 /05, В 23 К 37/04, В 23 К 101/12 – роликовый стенд для совмещения обечайки с обечайкой и обечайки с днищем.

В рамках продолжения исследования были выбраны описания инновационных разработок, которые представлены в виде полуавтоматических систем, используемых для монтажа ёмкостных устройств. Результаты проведённого поиска отображены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты поиска патентной информации

Предмет поиска (объект исследования, его составные части)	Страна выдачи и номер охранного документа. Классификационный индекс МПК	Заявитель (патентообладатель), страна, номер заявки, дата публикации	Название изобретения (полной модели, образца)
1	2	3	4
Технология сборки и сварки ёмкостного оборудования	Россия, В23К37/04 RU 2 724 750 С1	Общество с ограниченной ответственностью производственная фирма «Ливам» (ООО ПФ «Ливам») (RU). 24.05.2019	Установка для сборки цилиндрических конструкций из обечаек [5]
Технология сборки и сварки ёмкостного оборудования	Россия, В23К9/16 В23К35/20 В23К35/36	Кабусики кайся кобе сейко се (кобе стил, лтд.) (JP) 03.05.2015	Установка для сварки кольцевых стыков оболочек [6]

	RU 2693248		
--	------------	--	--

Продолжение таблицы 1

Предмет поиска (объект исследования, его составные части)	Страна выдачи и номер охранного документа. Классификационный индекс МПК	Заявитель (патентообладатель) , страна, номер заявки, дата публикации	Название изобретения (полной модели, образца)
1	2	3	4
Технология сборки и сварки емкостного оборудования	Россия, B23K 9/10 (2006.01) B23K 9/16 (2006.01) RU 2465998	Нефтегазовая компания «Велтек АС» (RU) 2009131726/02, 2008.01.23 12.07.2012	Роликовый стенд для совмещения обечайки с обечайкой и обечайки с днищем [7]
Технология сборки и сварки емкостного оборудования	Россия, RU2541215C1, B23Q3/152, B23Q3/06, B23Q7/05, B23K37/04, B23K101/12	Открытое акционерное общество «Татнефть» им. В.Д. Шашина, Россия, 2013143488/02, 02.10.2015	[Роликовый стенд для сборки под сварку обечаек цилиндрического корпуса друг с другом и обечайки цилиндрического корпуса с днищем [8]

Заключение: в результате анализа патентной информации было подтверждено, что современное состояние технологий характеризуется высоким уровнем развития и продолжает прогрессировать.

					ПГУ ВКР 15 03 01 213М041 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

2 Анализ объекта производства. Назначение конструкции и технические требования

Темой выпускной квалификационной работы выступает воздухохоборник модели В-6,3-0,7-098, изображенный на рисунке 1. Данный воздухохоборник демонстрируется в виде вертикального цилиндра с объемом в 6,3 м³. Ключевые параметры этого устройства, имеющего стандартный объем в 6,3 кубических метра (или 6300 литров), определяются в соответствии с установленными нормами ГОСТ 9931-85 [9] и отображены в таблице 2.

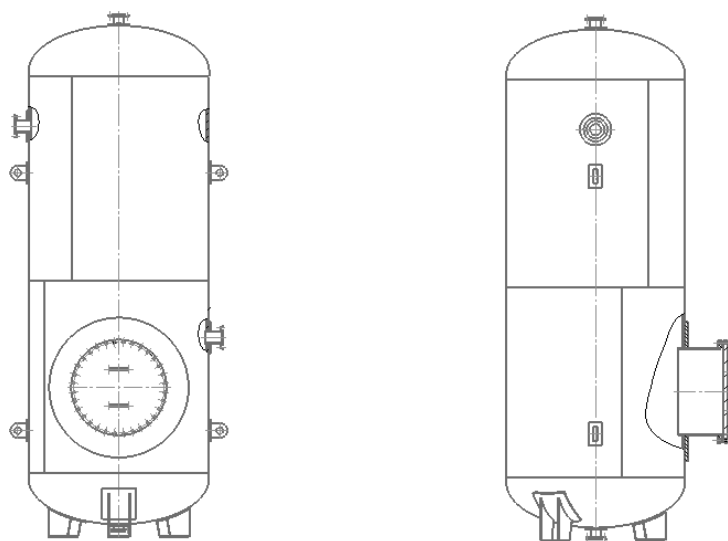


Рисунок 1 – Воздухохоборник В-6,3-0,7-098

Таблица 2 – Основные размеры воздухохоборника В-6,3-0,7-098

					ПГУ ВКР 15 03 01 213М041 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

Параметр	Объем номинальный, м ³	Внутренний диаметр обечайки, мм	Длина конструкции, мм	Длина обечайки, мм
Значение	6,3	1400,0	4215,0	3600,0

Воздухосборник служит для устранения колебаний давления в системе сжатого воздуха и стабилизации давления при эксплуатации компрессоров с рабочим давлением 0,7 МПа. Кроме того, он используется для формирования запаса сжатого воздуха, сбора конденсата и его охлаждения. Эта конструкция разрабатывается в строгом соответствии с федеральными стандартами и регламентами, касающимися обеспечения безопасности в промышленной сфере. Она соответствует установленным «Правилам промышленной безопасности на опасных производственных площадках функционирующее при повышенном давлении» [10], ГОСТ 34347-2017 [11] и ГОСТ 31838-2012 [12].

Аппарат эксплуатируется в неотапливаемом помещении, при диапазоне температур от минус 20 до плюс 40 °С, рабочей средой является сжатый воздух. Высота конденсата в аппарате составляет 1 м. Расчетный срок службы 10 лет. Основной материал: сталь 16ГС.

Корпус воздухосборника представляет собой обечайку, закрытую с двух сторон эллиптическими днищами. Стоящую вертикально на трех опорах. В конструкции аппарата предусмотрен люк для доступа во внутрь корпуса воздухосборника.

Сварка корпусов воздухосборников осуществляется в автоматическом режиме под слоем флюса на современном сварочном оборудовании аттестованными специалистами. Перед окраской каждый воздухосборник подвергается 100 % ультразвуковому контролю сварных соединений (при нормативе 25 %), всё это обеспечивает высокую надежность и безопасность работы сосудов под давлением. Окраска наружной поверхности

					ПГУ ВКР 15.03.01.213М041.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

воздухосборников производится в окрасочной камере на предварительно подготовленную поверхность (дробеструйная обработка).

Контрольные зоны сварных соединений и прилегающих к ним участков должны соответствовать стандартам, указанным в ГОСТ 26-5-99 [13].

Чтобы удостовериться в непроницаемости и выдерживаемости воздухосборника, подвергают тестированию на водонепроницаемость под давлением 0,94 МПа в течение 30 минут и более, что соответствует требованиям технического задания. Не допускается появление течи и впитывания влаги в области сварных швов, в основном металле, а также в точках соединений фланцевых и резьбовых элементов. Учитывая склонность конструкционных сталей к коррозии, необходимо гарантировать их защиту от воздействия внешней среды на металлическую поверхность.

Перед наложением противокоррозионного покрытия необходимо выполнить следующие шаги:

- а) очистить металл от оксидов, окалин и поверхностных повреждений;
- б) удалить шлак, брызги и наплавленные материалы в зонах сварки;
- в) сварные швы должны быть гладкими, без изломов, наплавов, подрезов и обеспечивать плавное соединение с основной сталью;
- г) все поверхности должны быть чисты от пыли, масел и окислений.

Не допускается наличие влажностей в местах лакокрасочного покрытия. Материалы, используемые для изготовления крепежных изделий на фланцевые соединения, должны пройти термообработку

					ПГУ ВКР 15 03 01 213МО41 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

3 Обоснование выбора основных материалов сварной конструкции

Выбор основного материала для корпуса воздухоборника производим в соответствии с ГОСТ 34347-2017 и ГОСТ 31838-2012.

Так как рабочей средой резервуара является сжатый воздух, рабочее давление составляет 0,7 МПа, а диапазон рабочих температур от плюс 40 °С до минус 20 °С, то для изготовления корпуса воздухоборника в качестве материала целесообразно принять конструкционную низколегированную сталь марки 16ГС.

Полный химический состав стали 16ГС представлен в таблице 3 и регламентируется по ГОСТ 19281-2014.

Таблица 3 – Химический состав в процентах стали 16ГС

Элемент	C	Si	Mn	Ni	V	N	S	P	Cr	As
Содержание, %	0,12... 0,18	0,4... 0,7	0,9... 1,2	до 0,3	0,12	до 0,008	до 0,035	до 0,03	до 0,3	до 0,08

Механические свойства стали 16ГС представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Механические свойства стали 16ГС при T = 20 °С

Параметр	Предел текучести, МПа	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение, %
Значение	275,0...325,0	450,0...490,0	55,0...60,0

Для данной марки стали не свойственна склонность к перегреву: сталь не охрупчивается и не разрушается.

Проверим склонность стали 16ГС к образованию холодных трещин. Расчет произведем по формуле:

$$C_{\text{экв}} = C + \frac{M_n}{6} + \frac{S_i}{24} + \frac{N_i}{40} + \frac{C_r}{4} + \frac{M_o}{5} \% \quad (3.1)$$

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

Для стали 16ГС эквивалент углерода будет равен:

$$C_{\text{экв}} = 0,06 + \frac{1,2}{6} + \frac{0,7}{24} + \frac{0,3}{40} + \frac{0,3}{4} = 0,21 \% \quad (3.2)$$

Эквивалент углерода для стали 16ГС находится в интервале до 0,25, следовательно, эта сталь хорошей свариваемости.

					ПГУ ВКР 15.03.01.213МО41.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

4 Расчет и проектирование сварной конструкции

Проектируемый корпус воздухоборника представлен на рисунке 2.

					ПГУ ВКР 15.03.01.213МО41.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

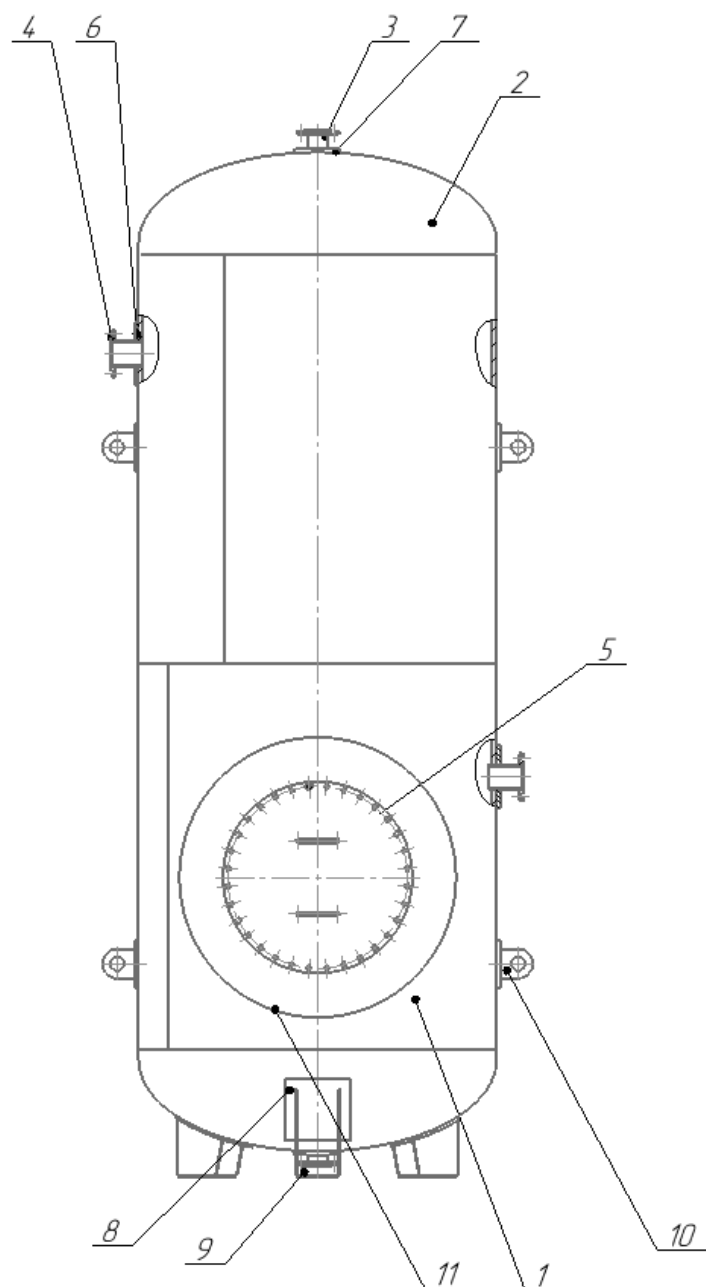


Рисунок 2 – Корпус воздухохборника; 1 – обечайка, 2 – эллиптическое днище, 3 – штуцер, 4 – штуцер, 5 – люк, 6, 7, 11 – укрепляющее кольцо, 8 – лист подкладной, 9 – опора, 10 – строповые устройства

Давление в воздухохборнике при действии предохранительного клапана при $0,3 < P_{\text{раб}} \leq 6,0$ МПа определяется по формуле [14]:

					ПГУ ВКР 15 03 01 213МО41 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

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

$$P_k = 1,15 \cdot 0,7 = 0,805 \text{ МПа}$$

Расчетное давление без учёта гидростатического давления устанавливается при $P_{\text{раб}} \leq 6,0 \text{ МПа}$, и определяется по формуле:

$$P_p = 0,9 \cdot P_k \quad (4.2)$$

$$P_p = 0,9 \cdot 0,805 = 0,725 \text{ МПа}$$

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

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

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

где ρ_c – плотность конденсата в аппарате, кг/м³;

q – ускорение свободного падения, м/с²;

H_c – высота конденсата в аппарате, м.

$$P_r = 1000 \cdot 9,81 \cdot 1,0 \cdot 10^{-6} = 0,00981 \text{ МПа}$$

Так как гидростатическое давление среды,

$$P_r = 0,00981 < 0,05 \cdot 0,725 = 0,036 \text{ МПа}$$

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

$$P_p = P_{\text{раб}} \quad (4.4)$$

$$P_p = 0,725 \text{ МПа}$$

Пробное давление определяется по формуле:

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

					ПГУ ВКР 15 ОЗ 01 213МО41 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

где P – расчетное давление сосуда, МПа;

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

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение для материала воздухосборника при расчетной температуре 40 °С, МПа.

Определяем допускаемое напряжение для стали 16ГС при расчетной температуре $t = 40$ °С. Допускаемые напряжения при расчетной температуре $t = 40$ °С определяем методом линейной интерполяции. Для этого определим допускаемые напряжения для стали 16ГС по ГОСТ 34233.2-2017 [15].

при температуре $t_1 = 20$ °С $[\sigma]_{20} = 183$ МПа.

при температуре $t_2 = 100$ °С $[\sigma]_{100} = 160$ МПа.

Допускаемое напряжение при температуре 60 °С находим по формуле:

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

(4.6)

$$[\sigma] = 183 + \frac{160 - 183}{100 - 20} \cdot (40 - 20) = 177 \text{ МПа}$$

$$P_{np} = 1,25 \cdot 0,725 \cdot \frac{183}{177} = 0,94 \text{ МПа}$$

Гидростатическое давление воды в условиях испытания определяем по формуле.

$$P_{гвод} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 4,45 \cdot 10^{-6} = 0,044 \text{ МПа}$$

Так как гидростатическое давление воды,

$$P_{гводы} = 0,044 < P_{np} \cdot 0,05 = 0,94 \cdot 0,05 = 0,047 \text{ МПа}$$

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

$$P_u = P_{np} \quad (4.7)$$

					ПГУ ВКР 15 ОЗ 01 213МО41 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

Тогда расчетное давление в условиях испытаний равно пробному давлению $P_n = 0,94$ МПа.

Если выполняется условие:

$$P_u < 1,35 \cdot P_p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \quad (4.8)$$

то расчет на прочность в условиях испытаний проводить не требуется.

Проверяем необходимость расчета на прочность в условиях испытания

$$0,94 < 1,35 \cdot 0,725 \cdot \frac{183}{177} = 1,012 \text{ МПа}$$

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

Произведем расчет толщины стенки обечайки по ГОСТ 34233.2-2017.

По без моментной теории расчёта оболочек рассчитываем толщину стенки по формуле:

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

где p – расчетное давление;

D – диаметр корпуса, мм;

φ_R – коэффициент прочности сварных швов обечайки.

$$S = \frac{0,725 \cdot 1400}{2 \cdot 177 \cdot 1 - 0,725} = 2,9 \text{ мм}$$

Прибавка для компенсации коррозии C_1 определяем по формуле:

$$C_1 = E_1 \cdot \tau \quad (4.10)$$

где E_1 – скорость коррозии, мм/год;

τ – срок службы изделия, лет.

$$C_1 = 0,1 \cdot 10 = 1 \text{ мм}$$

					ПГУ ВКР 15 03 01 213 МО 41 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

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

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

Подставляем известные значения в формулу 4.11

$$S_1 = 2,9 + 1 = 3,9 \text{ мм}$$

Предварительно принимаем лист толщиной 4 мм.

Прибавка для компенсации минусового допуска определяется согласно ГОСТ 19903–2015 [16] и при толщине проката от 3,9 до 5,5 мм составляет $C_2 = 0,5 \text{ мм}$.

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

$$C_2 = 0,5 > 0,05 \cdot S_1, \quad (4.12)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.12

$$C_2 = 0,5 > 0,05 \cdot 4 = 0,2 \text{ мм}$$

Прибавка C_2 учитывается, так как составляет более 5 % от толщины листа, согласно ГОСТ 34233-2017.

Расчётную толщину стенки обечайки S вычисляем по формуле:

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

Подставляем известные значения в формулу 4.13

$$S = 4 + 0,5 = 4,5 \text{ мм}$$

Принимаем предварительно толщину стенки обечайки $S = 5 \text{ мм}$.

Допускаемое давление рассчитываем по формуле:

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

$$[p] = \frac{2 \cdot 177 \cdot 1 \cdot (5 - 1,5)}{1400 + (5 - 1,5)} = 0,96 \text{ МПа}$$

					ПГУ ВКР 15 03 01 213МО41 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

Условие прочности выполняется.

$$p = 0,725 < [p] = 0,96$$

Проверяем условие применения расчетных формул:

$$\frac{S - C}{D} = \frac{5 - 1,2}{1400} = 0,0027 < 0,1$$

Окончательно принимаем толщину стенки обечайки 6 мм, так как толщина стенки днища по провиденному ниже расчету составила 6 мм.

В процессе производства обечайки используются детали, вырезанные из листового металла, соответствующего стандарту ГОСТ 19903–2015. Согласно техническим спецификациям, металлические листы подвергаются обработке с помощью промышленного реза. Обечайка – это металлическая конструкция в форме цилиндра с диаметром в 1400 мм, длиной в 3600 мм и стенками толщиной 6 мм.

Величина развёртки обечайки определяется по формуле [17]:

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

где L_p – длина развёртки обечайки, мм;

D_{BH} – внутренний диаметр обечайки, мм;

a – 1 % от внешнего диаметра;

b_1 – припуск на зазор;

b_2 – припуск на механическую обработку.

$$L_p = \pi \cdot \left(1400 + 6 + \frac{14,12}{2} \right) - 2 - 2 = 4430 \text{ мм}$$

В качестве заготовки используем лист 4500×1900×6 и 4500×1800×6 мм изображенный на рисунке 3, по ГОСТ 19903-2015.

					ПГУ ВКР 15.03.01.213М041.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

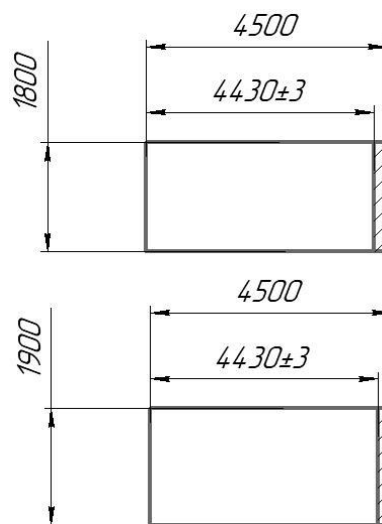


Рисунок 3 – Раскрой выбранных для обечайки листов

Расчётную толщину стенок эллиптических днищ определяем по формуле:

$$S = \frac{p \cdot R}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot p} + C_1 + C_2 \quad (4.16)$$

где R – радиус кривизны в вершине днища, м;

φ – коэффициент для днищ в зависимости от формы.

Радиус кривизны в вершине днища рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{D^2}{4H_d}$$

(4.17)

Размер H_d рассчитывается по формуле:

$$H_d = 0,25 \cdot D \quad (4.18)$$

$$H_d = 0,25 \cdot 1400 = 350 \text{ мм}$$

$$R = \frac{1400^2}{4 \cdot 350} = 1400 \text{ мм}$$

$$S = \frac{0,725 \cdot 1400}{2 \cdot 1 \cdot 177 - 0,5 \cdot 0,725} + 1 + 0,5 = 4,4 \text{ мм}$$

					ПГУ ВКР 15 03 01 213М041 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

Принимаем толщину стенки днища $S = 6$ мм, так как это значение является ближайшем по ГОСТ 6533-78 [18].

Принимаем окончательно толщину стенку обечайки $S = 6$ мм, чтобы она была равной толщине стенки днищ.

На рисунке 4 приведена расчетная схема эллиптических днищ, основные размеры днища представлены в таблице 5. Выбор основных геометрических размеров днища проводят в соответствии с ГОСТ 6533-78.

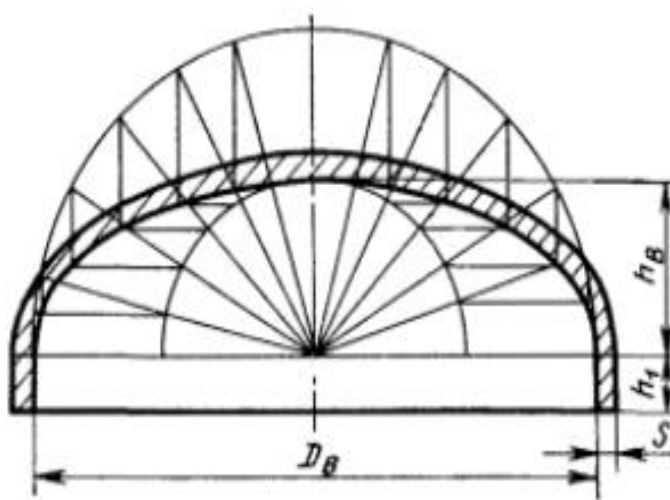


Рисунок 4— Расчетная схема эллиптических днищ: $D_{в}$ – внутренний диаметр, h_1 – высота отбортовки, $h_{в}$ – высота эллиптической части, S – толщина стенки

Таблица 5 – Основные размеры днища

Параметр	Внутренний диаметр $D_{в}$, мм	Высота отбортовки h_1 , мм	Высота эллиптической части $h_{в}$, мм	Толщина стенки S , мм
Значение	1400	25	350	6

Диаметр исходной заготовки из листа рассчитывается по формуле, приведённой в ГОСТ 6533-78:

$$D = 2 \cdot \sqrt{(D_{в} + s) \cdot (h_1 + 0,345 \cdot \xi \cdot (D_{в} + s))} \quad (4.19)$$

где D_B – внутренний диаметр днища, мм;

s – толщина стенки днища, мм;

h_1 – высота отбортовки днища, мм;

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

$$D = 2 \cdot \sqrt{(1400 + 8) \cdot (40 + 0,345 \cdot 1,002 \cdot (1400 + 8))} = 1722 \text{ мм}$$

Заготовка для одного днища будет иметь размеры 1800×1800 из сортового проката по ГОСТ 19903–2015. Принимаем: сварные днища, стандартные листы 3600×1800×6 мм, схема раскроя листа изображена на рисунке 5.

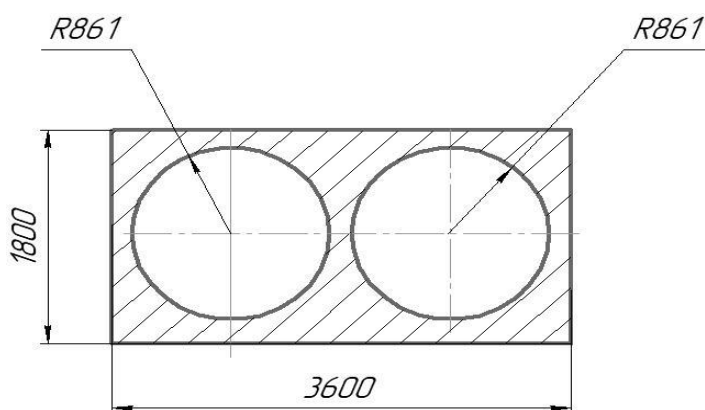


Рисунок 5 – Схема раскроя листа размером 8000×4000 мм для получения двух эллиптических отбортованных днищ

Произведем расчет на укрепление отверстия накладным кольцом, схема укрепления изображена на рисунке 7.

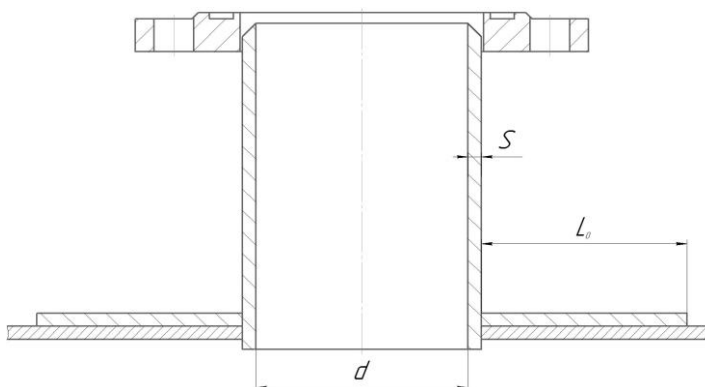


Рисунок 7 – Укрепление отверстия накладным кольцом

Расчётный внутренний диаметр укрепляемого элемента определяется по формуле из ГОСТ34233.3-2017 [19]:

$$D_p = D \quad (4.20)$$

где $D=1400$ – внутренний диаметр цилиндрической обечайки, мм.

Расчётный диаметр отверстия определяется по формуле:

$$d_p = d + 2 \cdot c_s \quad (4.21)$$

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

d – внутренний диаметр штуцера, мм.

$$d_p = 96 + 2 \cdot 1,5 = 99 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки штуцера определяется по формуле:

$$S_{1p} = \frac{P_p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P_p} \quad (4.22)$$

$$S_{1p} = \frac{0,725 \cdot (1400 + 2 \cdot 1,5)}{2 \cdot 177 \cdot 1 - 0,725} = 2,9 \text{ мм}$$

Фактическое значение толщины стенки штуцера будет равно:

$$S_p = S_{1p} + c \quad (4.23)$$

$$S_p = 2,9 + 1,5 = 4,4 \text{ мм}$$

Принимается значение толщины штуцера равной $S_1 = 5 \text{ мм}$.

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

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{S - c}{S_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (S - c)} \quad (4.24)$$

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{6 - 1,5}{4,4} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{1400 \cdot (6 - 1,5)} = 35,3 \text{ мм}$$

					ПГУ ВКР 15.03.01.213М041.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

Ориентируясь на D_y и давление принимаем в соответствии установленным АТК 24.218.06-90 [20] толщину стенки штуцера равной 6 мм.

Так как $d_0 < d_p$ отверстие нуждается в укреплении определяем ширину зоны укрепления в обечайке по формуле:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (S - c)} \quad (4.25)$$

$$L_0 = \sqrt{1400 \cdot (6 - 1,5)} = 79 \text{ мм}$$

Принимаем ширину зоны укрепления равной 80 мм.

В рамках предстоящих работ нами будет осуществлен тщательный и детальный расчет сварных соединений, который позволит определить их прочностные характеристики. Этот процесс включает в себя анализ различных параметров, влияющих на надежность и долговечность сварных швов. Мы применим современные методики и подходы, чтобы обеспечить точность и достоверность результатов. Целью данного расчета является гарантирование того, что сварные швы смогут выдержать предполагаемые нагрузки в течение всего срока эксплуатации, не подвергаясь риску разрушения или деформации. Схема сварки корпуса изображена на рисунке 8.

					ПГУ ВКР 15.03.01.213МО41.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

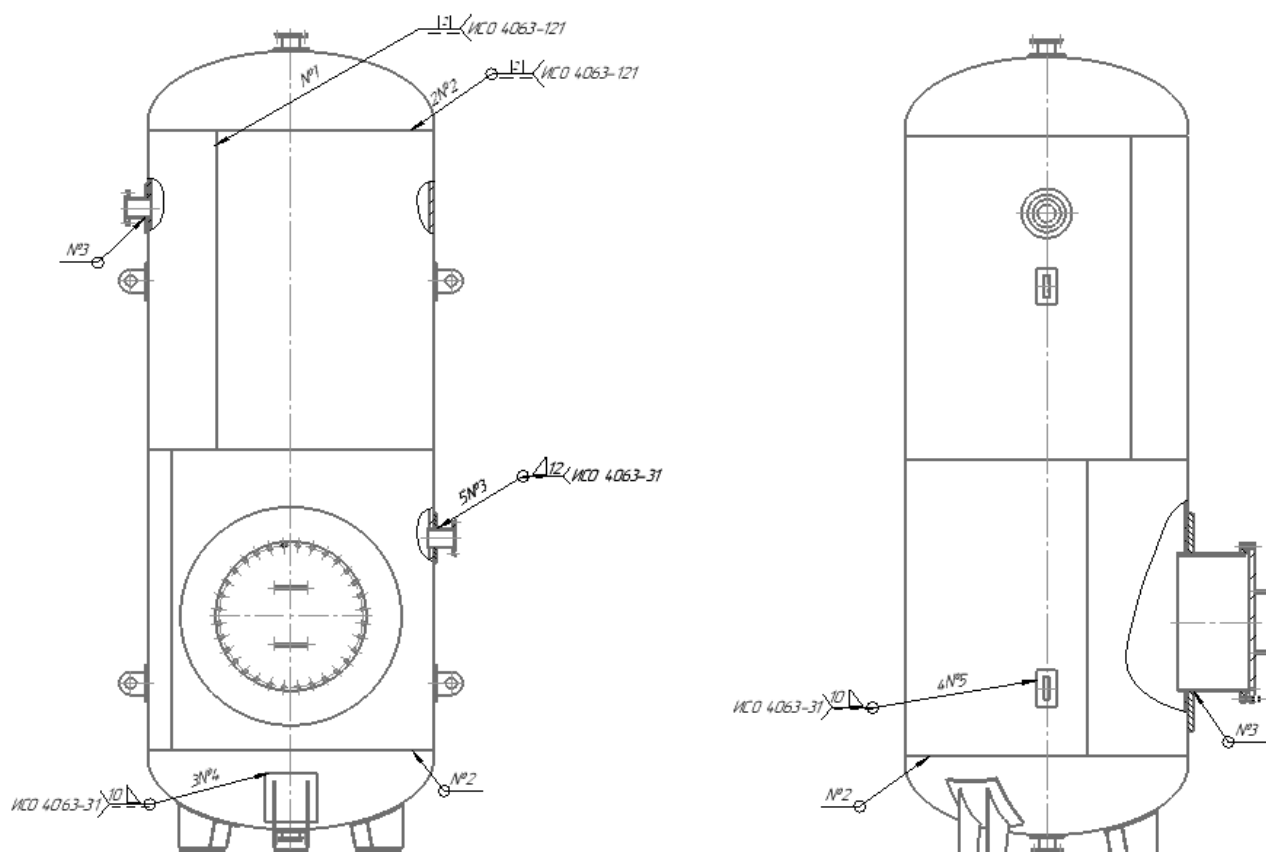


Рисунок 8 - Схема сварки корпуса воздухоборника

В рамках выпускной квалификационной работы рассмотрим в конструкции корпуса воздухоборника пять основных соединений которые регламентируются ГОСТ Р ИСО 4063 – 2025 [37]:

- 1 продольный стыковой шов (является формообразующим соединением обечайки);
- 2 кольцевых (соединяющее обечайку с днищами);
- 5 угловых (соединяющие штуцера и люк с обечайкой);
- 3 нахлесточных (соединяющие опоры с обечайкой);
- 4 нахлесточных (соединяющие строповые устройства с обечайкой).

По ГОСТ 8713-79 [21] при толщине стенок обечайки и днищ равной 6 мм выбираем соединение С29 для шва №2, изображённое на рисунке 9.

					ПГУ ВКР 15.03.01.213М041.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

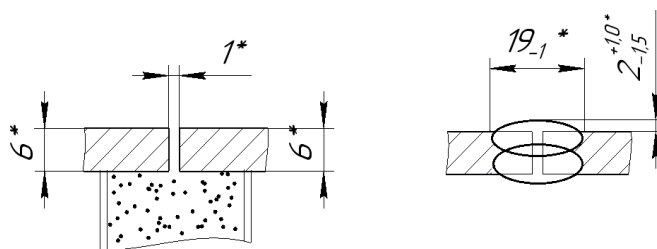


Рисунок 9 – Соединение типа С29 ГОСТ 8713–79

Проверку прочности сварных соединений днища и обечайки считаем выполненной, если выполняется условие [22]:

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

где σ – напряжение в сварном соединении, МПа;

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

Напряжение в сварном соединении σ определяем по формуле:

$$\sigma = \frac{N}{F} \quad (4.26)$$

где N – продольная нагрузка, растягивающая шов;

F – площадь поперечного сечения шва

Продольную нагрузку N рассчитываем по формуле:

$$N = P_{рас} \cdot T \quad (4.27)$$

где $P_{рас}$ – расчетное давление, МПа;

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

Подставляем известные значения в формулу 4.30.

$$N = 0,725 \cdot 2230000 = 1616750 \text{ Н}$$

Площадь поперечного сечения шва определяется по формуле:

$$F_{ш} = \delta \cdot L_{ш} \quad (4.28)$$

где $L_{ш}$ – длина сварного шва, мм;

δ – толщина шва, мм.

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

$$L_{ш} = \pi d_{ш} - 10, \quad (4.29)$$

где $d_{ш}$ – наружный диаметр шва.

$$L_{ш} = 3,14 \cdot 1412 - 10 = 4424 \text{ мм}$$

Подставляем известные значения в формулу 4.31.

$$F_{ш} = 6 \cdot 4424 = 26542 \text{ мм}^2$$

$$\sigma = \frac{1616750}{26542} = 60,9 \text{ МПа}$$

Проверяем выполнение условия:

$$60,9 \leq 177$$

Условие выполняется, следовательно, шов работоспособен.

Для продольного шва обечайки №1, выполняемого автоматической сваркой под слоем флюса, выбираем соединение типа С29 изображенный на рисунке 10.

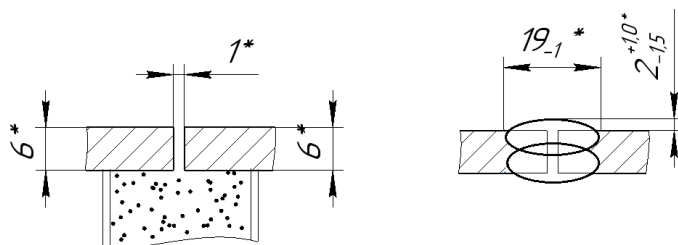


Рисунок 10 – Соединение типа С29 ГОСТ 8713–79.

Расчёт шва на растяжение ведётся по формуле:

$$\sigma_{ш} = \frac{N}{F_{ш}} \leq [\sigma] \quad (4.30)$$

где N – растягивающая сила;

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

					ПГУ ВКР 15.03.01.213МО41.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

Растягивающая сила N будет определяться по формуле:

$$N = P_{\text{пр}} \cdot \Pi, \quad (4.31)$$

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

$$\Pi = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \frac{d_{\text{ш}}^2}{4} \quad (4.32)$$

$$\Pi = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \frac{1412^2}{4} = 782545 \text{ мм}^2$$

Определяем растягивающие усилия N подставив полученные и известные значения по формуле 4.34.

$$N = 0,725 \cdot 782545 = 567345 \text{ Н}$$

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

$$F_{\text{ш}} = a \cdot b \quad (4.33)$$

где a – длина шва, мм;

b – толщина шва, мм.

Подставляем известные значения в формулу 4.36.

$$F_{\text{ш}} = 3600 \cdot 6 = 21600 \text{ мм}^2$$

Обладая всеми необходимыми данными, определим прочность сварного шва:

$$\sigma_{\text{ш}} = \frac{567345}{21600} \leq 26 \text{ Н/мм}^2$$

$$\sigma_{\text{ш}} = 26 \leq 177 \text{ Н/мм}^2$$

Условие выполняется, следовательно, шов работоспособен.

Произведем расчет на прочность сварного шва У19 РД 26-18-8-89 [23] соединяющий штуцер с обечайкой который изображен на рисунке 11. Расчет произведем без учета усилительного кольца.

					ПГУ ВКР 15.03.01.213М041.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

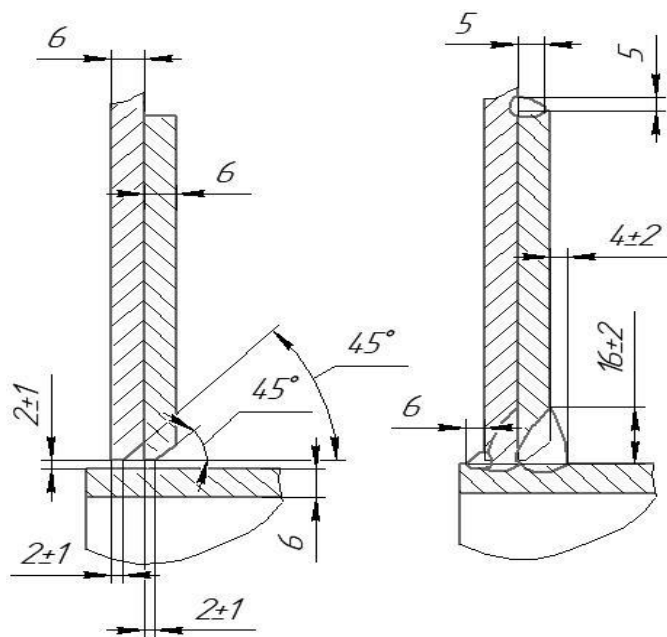


Рисунок 11 – Сварное соединение типа У19 согласно РД 26-18-8-89

Расчет угловых соединений проводим по формуле:

$$\tau = \frac{N}{F} \leq [\sigma] \quad (4.34)$$

где τ – напряжение среза в угловом сварном соединении;

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

Площадь поперечного сечения F для угловых швов рассчитывается по формуле:

$$F = \beta \cdot h_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}}, \quad (4.35)$$

где β – коэффициент определения расчетной толщины углового шва;

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

$L_{\text{ш}}$ – длина сварного шва.

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

$$L_{\text{ш}} = \pi d_{\text{ш}} - 10, \quad (4.36)$$

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

$$L_{\text{ш}} = 3,14 \cdot 108 - 10 = 329,12 \text{ мм}$$

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

$$h_{ш} = \sqrt{e^2 + g^2} \quad (4.37)$$

где e, g – размеры шва.

$$h_{ш} = \sqrt{16^2 + 4^2} = 16,5 \text{ мм}$$

$$F = 0,7 \cdot 16,5 \cdot 329,14 = 3799,82 \text{ мм}^2$$

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

$$[\sigma] = (0,5 \dots 0,65) \cdot [\tau], \quad (4.38)$$

$$[\sigma] = (0,5 \dots 0,65) \cdot 177 = 88,5 \dots 115,05 \text{ МПа}$$

Сила среза N будет определяться по формуле:

$$N = P_{пр} \cdot \Pi, \quad (4.39)$$

где Π – расчётная площадь поверхности штуцера.

Расчётная площадь поверхности Π для штуцера определяем по формуле:

$$\Pi = \pi \cdot \frac{d_{ш}^2}{4}, \quad (4.40)$$

$$\Pi = \pi \cdot \frac{108^2}{4} = 9156,24 \text{ мм}^2$$

$$N = 0,725 \cdot 9156,24 = 6638,3 \text{ Н}$$

Обладая необходимыми данными, определяем напряжение среза углового сварного соединения:

$$\tau = \frac{6638,3}{3799,82} = 1,75 \leq 88,5 \text{ МПа}$$

Условие выполняется, следовательно, шов работоспособен.

5 Выбор способа сварки

					ПГУ ВКР 15 ОЗ 01 213МО41 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

Подбор и обоснование сварных технологий определяются рядом ключевых параметров:

- тип металлического сплава и формы заготовок;
- состав и термофизические характеристики металла, влияющие на его способность к сварке;
- размеры металла, в частности его толщина;
- назначение изделия, в соответствии с нагрузками, которые оно должно выдерживать, и условиями его использования;
- дизайн изделия, включая его сложность, размеры, массу, а также типы и местоположение швов в пространстве, а также характер их работы;
- производственная программа и тип производства;
- экономическая выгода выбранного метода сварки.

Для стыковых швов мы определим наиболее подходящий способ сварки. Электрошлаковую сварку не будем использовать, так как размеры деталей менее 30 мм. Также не применим полуавтоматическую сварку в защитных газах, поскольку она по производительности уступает автоматической сварке под флюсом.

Следовательно: так как длина стыковых швов более 1,5 м, толщина металла 6 мм, тип производства серийный, свариваемое изделие обечайка диаметром 1412 мм и длиной 3600 мм, принимая во внимание согласно требованиям ГОСТ 34347-2017 и Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением» выбираем для сварки стыковых швов автоматическую сварку под флюсом.

Автоматическая сварка с использованием флюса, осуществляемая мобильными сварными машинами в нижней позиции, имеет ряд преимуществ: эффективная защита от влияния кислорода и азота, благодаря чему

					ПГУ ВКР 15.03.01.213М041.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

обеспечивается легирование сварного шва; медленное охлаждение сварного участка, что способствует его оптимальной кристаллизации; а также высокие показатели производительности и возможность получения глубины провара до 10 мм без предварительного соединения сварных поверхностей. Однако стоит учитывать, что при сварке в нижнем положении возрастает потребление флюса и электроэнергии. Этот метод сварки под флюсом особенно эффективен для использования с легированными сталями.

Произведем выбор способа сварки для угловых швов.

Так как у нас серийный тип производства применение РДС невыгодно, из-за низкой производительности. Выполняемые швы средней длины, расположенные в различных пространственных положениях, следовательно применение автоматической сварки невозможно. Целесообразно применять полуавтоматическую сварку в защитных газах.

В этой технике сварки используется автоматизированный процесс подачи сварочной проволоки в область сварки и газовое ограждение для защиты сварного соединения. Этот метод позволяет выполнять сварку в любых ориентациях. Эффективность газовой защиты зависит от типа сварного соединения и скорости сварки: с увеличением скорости сварки уровень защиты сварочной ванны падает. Преимущества сварки в газовых средах включают:

- высокую производительность, примерно в два раза превышающую показатели ручной сварки с электродами;
- узкую зону термического воздействия и минимальные деформации из-за высокой концентрации сварочной дуги;
- возможность выполнения сварки в разнообразных пространственных положениях;
- высокое качество защиты, что делает нецелесообразным использование зачистки швов при многослойной сварке;
- простоту механизации и автоматизации процесса;

					ПГУ ВКР 15.03.01.213М041.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

- удобство контроля за сваркой;
- способность сваривать металлы разной толщины, начиная с десятых долей миллиметра и заканчивая десятками миллиметров;
- дешевизну газов, используемых в процессе.

Мы также планируем использовать полуавтоматическую сварку в защитных газах для фиксации деталей.

6 Обоснование выбора сварочных материалов

					ПГУ ВКР 15.03.01.213МО41.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

Выбор сварочных материалов для автоматической сварки под слоем флюса производится на основании СТО 00220368-012-2008 [24] стр. 8.

Для автоматической сварки под флюсом деталей эксплуатируемых при температуре ниже минус 20 °С в соответствии с СТО 00220368-012-2008 , а также ГОСТ 2246-70 [25], ГОСТ 52222-2004 [26] рекомендует использовать сварочные проволоки и флюс, указанные в таблице 6, 7 и 8.

Таблица 6 – Сварочные материалы для автоматической сварки под флюсом стали 16ГС.

Марка свариваемой стали	Марка проволоки по ГОСТ 2246-70	Марка флюса по ГОСТ 52222-2004
16ГС	Св-10ГА	АН-348

Химический состав сварочных проволок и флюсов приведены в таблице 7, ГОСТ 2246-70 и таблице 8, ГОСТ Р 52222-2004.

Таблица 7 – Химический состав сварочной проволоки

Марка проволоки	Химический состав, %, не более						
	С	Si	Mn	Ni	Cr	S	P
Св-10ГА	до 0,12	до 0,06	1,1...1,4	до 0,25	до 0,2	до 0,03	до 0,03

Химический состав сварочных флюсов приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Химический состав сварочного флюса

Марка флюса	Массовая доля, %				
	оксид кремния (IV)	оксид марганца (II)	оксид кальция	оксид магния	Оксид алюминия
АН-348	40...44	31...38	14...18	не более 12	не более 6

Для механизированной сварки в соответствии с СТО 00220368-012-2008 выбираем сварочную проволоку Св-08Г2С. Химический состав сварочной проволоки приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Химический состав сварочных проволок

Марка проволоки	Химический состав, %, не более							
	С	Si	Mn	Ni	Cr	N	S	P
Св-08Г2С	0,05...0,11	0,7...0,9	1,8...2,1	0,25	до 0,2	до 0,01	до 0,025	до 0,03

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

При использовании метода сварки с использованием плавящегося электрода в атмосфере активных газов или их комбинаций необходимо использовать газообразный и жидкий углекислый газ высшего и первого сорта. Эти газы должны соответствовать стандарту ГОСТ 8050-85 и обладать минимальной степенью чистоты 99,5 %, которая измеряется при взятии пробы из баллона, установленного в вертикальном положении.

					ПГУ ВКР 15 03 01 213МО41 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

7 Техника и технология сборки и сварки изделия

Технологический процесс сборки и сварки резервуара включает в себя:

- сборка и сварка продольного шва обечайки;
- сборка и сварка двух частей обечайки в одну;
- вырезка отверстий под штуцера в днищах;
- сборка и сварка днищ с штуцерами;
- сборка и сварка кольцевых швов двух днищ с обечайкой;
- сборка и сварка обечайки с люком;
- сборка и сварка обечайки с штуцерами;
- сборка и сварка обечайки со скобами;
- сборка и сварка обечайки с подкладными листами;
- сборка и сварка опор;
- сборка и сварка корпуса резервуара с опорами;

Сварку кольцевых и продольного шва будем производить автоматической сваркой на роликовом вращателе ГРП-ВРСУ-Б-10 и велотележки ВТ-26 с использованием сварочного автомата *INMIG*.

Велосипедная тележка ВТ-26 предназначена для перемещения сварочных аппаратов при сварке прямолинейных и кольцевых швов.

Преимущества использования велосипеда-тележки ВТ-26:

- значительное повышение производительности труда за счет автоматизации процесса сварки;
- улучшение качества соединений за счет стабилизации режима сварки и минимизации человеческого фактора;
- экономия электроэнергии и снижение расхода расходных материалов вследствие точной настройки режимов сварки;

Использование велосипедной тележки ВТ-26 существенно повышает эффективность и качество выполняемых сварочных работ.

					ПГУ ВКР 15.03.01.213М041.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

8 Расчет параметров режимов сварки

Конструктивные элементы подготавливаемых кромок продольного шва №1 сварного соединения С29 по ГОСТ 8713–79, представлены на рисунке 12.

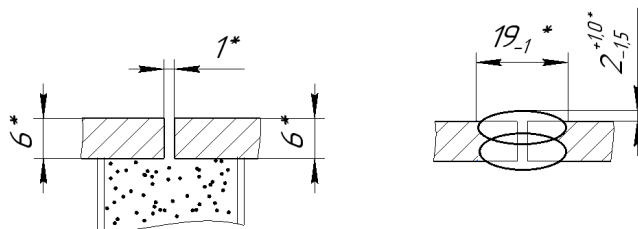


Рисунок 12 - Эскиз стыкового соединения С29

Расчет производим для наружной части сварного шва, рассчитываем глубину проплавления по формуле [28]:

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

где S – толщина обечайки, мм.

$$h = \frac{6}{2} + 2 = 5 \text{ мм}$$

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

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

$$I_{св} = (80...100) \cdot 5 = 400...500 \text{ А}$$

Принимаем $I_{св} = 450 \text{ А}$.

Определяем диаметр электродной проволоки по формуле:

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

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

j – допускаемая плотность тока, А/мм²

Допускаемая плотность тока определяется по таблице 10.

					ПГУ ВКР 15.03.01.213М041.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

Таблица 10 – Допустимая плотность тока для электродов

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

$$d_{эл} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{450}{150}} = 1,95 \text{ мм}$$

Принимаем $d_{эл} = 2 \text{ мм}$.

Для проволоки $d_{эл} = 2 \text{ мм}$ скорость сварки $V_{св}$ определяем по формуле:

$$V_{св} = \frac{(8...12) \cdot 10^3}{I_{св}} \quad (8.4)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.4

$$V_{св} = \frac{(8...12) \cdot 10^3}{450} = (18...27) \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{св} = 25 \text{ м/ч} = 0,7 \text{ см/с}$.

Определяем оптимальное напряжение дуги может по формуле:

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

Подставляем полученные значения в формулу 8.5

Принимаем $U_{д} = 35 \text{ В}$.

Определяем коэффициент провара по формуле:

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

Коэффициент формы провара K^I определяется исходя из условий и приведены в таблице 11:

- род тока постоянный;
- полярность тока обратная;

– плотность тока $j < 120 \text{ A/мм}^2$.

Таблица 11 – Значение коэффициента K^I

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

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

$$\psi_{np} = 0,87 \cdot (19 - 0,01 \cdot 450) \cdot \frac{2 \cdot 36}{450} = 2,7$$

Для автоматической сварки под слоем флюса коэффициент формы провара должен находиться в пределах от 0,8 до 4,0. Принимаем $\psi_{np} = 2,5$

Коэффициент наплавки определяется по формуле:

$$\alpha_H = \alpha_p \cdot \left(1 - \frac{\psi}{100} \right) \quad (8.8)$$

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

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

Коэффициент расплавления электродной проволоки определяется по формуле:

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

(8.9)

Подставляем полученные значения в формулу 8.9

$$\alpha_p = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{450}{2} \right) \cdot 10^{-4} = 0,0058 \text{ г/Ас} = 20,81 \text{ г/Ач}$$

Подставляем полученные значения в формулы 8.8.

$$\alpha_H = 20,81 \cdot \left(1 - \frac{10}{100} \right) = 18,73 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$$

Определяем скорость сварки по формуле:

$$V_{св} = \frac{\alpha_H \cdot I_{св}}{100 \cdot \gamma \cdot F_H} \quad (8.10)$$

где α_H – коэффициент наплавки;

γ – плотность наплавленного металла.

$$F_H = \frac{18,73 \cdot 450}{3600 \cdot 7,85 \cdot 0,7} = 15 \text{ М/час}$$

Определяем скорость подачи проволоки по формуле:

$$V_{п.п.р} = \frac{4 \cdot \alpha_p \cdot I_{св}}{\pi \cdot d_{эл}^2 \cdot \gamma} \quad (8.11)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.11

$$V_{п.п.р} = \frac{4 \cdot 18,73 \cdot 450}{\pi \cdot 2^2 \cdot 7,8} = 244 \text{ м/ч}$$

Рассчитаем режимы сварки для шва №3 выполнен по У19 РД26-18-8-89, соединяющего обечайку с штуцерами и люком. Формы и размеры подготовки кромок соединения У19 представлены на рисунке 13.

					ПГУ ВКР 15 03 01 213 МО41 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

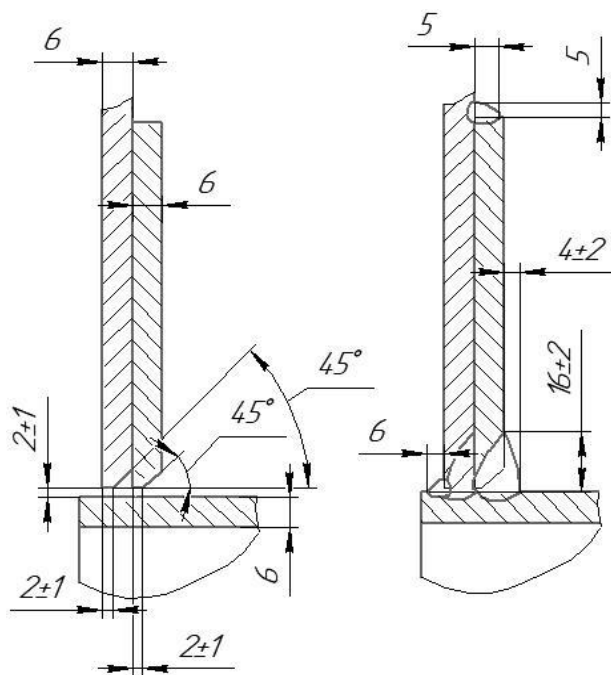


Рисунок 13 –Эскиз сварного соединения У19 типа РД26-18-8-89

Зависимость величины диаметра электродной проволоки от толщины свариваемых изделий определяем по таблице 12.

Таблица 12 – 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 $d_{эл}$	0,8...1,0	1,2...1,6	1,6...2,0	2,0 и более

На основании таблицы 12 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 13.

Таблица 13 – Допускаемая величина сварочного тока в зависимости от диаметра электродной проволоки

Параметр	Значение				
Диаметр сварочной проволоки $d_{эл}$, мм	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0
Величину сварного тока $I_{св}$, А	100...240	150...400	200...500	300...7000	400...850
Расстояние от изделия, мм	8...18	15...25	15...25	20...40	20...40

Исходя из конструктивных особенностей данного сварного соединения, сварку необходимо выполнять за два прохода. Принимаем следующие исходные данные согласно таблицам 12 и 13.

– $d_{эл} = 1,6$ мм, величина сварочного тока $I_{св} = 200$ А;

Определяем площадь шва по формуле:

$$F = S \cdot b + 0,5 \cdot (S - C)^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha + 0,75 \cdot e \cdot q \quad (8.12)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.12

$$F = 6 \cdot 2 + 0,5 \cdot (6 - 2) \cdot \operatorname{tg} 45 + 0,75 \cdot 16 \cdot 4 = 62 \text{ мм}^2$$

Определяем оптимальное напряжение дуги может по формуле:

$$U_{д} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_{эл}^{0,5}} \cdot I_{св} \pm 1 \quad (8.13)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.13

$$U_{д} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,6^{0,5}} \cdot 200 \pm 1 = 28 \pm 1 \text{ В}$$

Принимаем $U_{д} = 28$ В.

Определяем коэффициент провара по формуле:

$$\psi_{np} = K^I \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{св}) \cdot \frac{d_{эл} \cdot U_{д}}{I_{св}} \quad (8.14)$$

$$\psi_{np} = 0,92 \cdot (19 - 0,01 \cdot 200) \cdot \frac{1,6 \cdot 28}{200} = 3,5$$

Для механизированной сварки коэффициент формы провара входит в интервал от 0,8 до 4, следовательно условие выполняется.

Коэффициент наплавки определяется по формуле [28]:

$$\alpha_H = \alpha_p \cdot \left(1 - \frac{\psi}{100}\right) \quad (8.15)$$

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

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

Коэффициент расплавления электродной проволоки определяется по формуле:

$$\alpha_p = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{I_{св}}{d_{эл}}\right) \cdot 10^{-4} \quad (8.16)$$

$$\alpha_p = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{200}{1,6}\right) \cdot 10^{-4} = 0,00358 \text{ г/Ас} = 13 \text{ г/Ач}$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.15

$$\alpha_H = 13 \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 12,67 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$$

Определяем скорость сварки по формуле:

$$V_{св} = \frac{\alpha_H \cdot I_{св}}{100 \cdot \gamma \cdot F_H} \quad (8.17)$$

где α_H – коэффициент наплавки;

γ – плотность наплавленного металла.

$$V_{св} = \frac{12,67 \cdot 200}{100 \cdot 7,8 \cdot 0,3} = 12 \text{ м/час}$$

Определяем скорость подачи проволоки по формуле:

					ПГУ ВКР 15 03 01 213М041 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

$$V_{п.п.р} = \frac{4 \cdot \alpha_p \cdot I_{св}}{\pi \cdot d_{эл}^2 \cdot \gamma} \quad (8.18)$$

$$V_{п.п.р} = \frac{4 \cdot 12,67 \cdot 200}{\pi \cdot 1,6^2 \cdot 7,85} = 72 \text{ м/ч}$$

Расчет режимов для сварки шва №4. Соединение Н1 ГОСТ 14771-76 нахлесточное, изображено на рисунке 14.

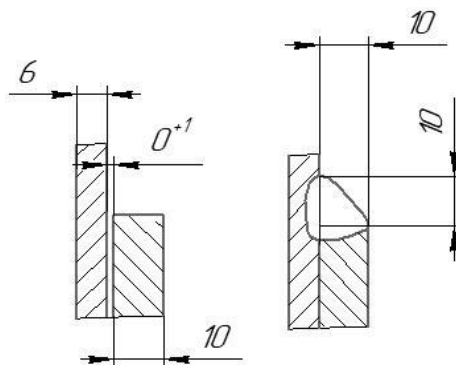


Рисунок 14 – Эскиз сварного соединения типа Н1 ГОСТ 14771-76

На основании таблицы 12 принимаем диаметр электродной проволоки равным 1,6 мм.

Диаметр сварочной проволоки $d_{эл} = 1,6$ мм, величина сварочного тока равна $I_{св} = 200$ А;

Определяем площадь шва по формуле:

$$F = \frac{K^2}{2} \cdot K_y \quad (8.19)$$

где K_y – коэффициент усиления;

Подставляем полученные значения в формулу 8.19

$$F = \frac{10^2}{2} \cdot 1,25 = 62,5 \text{ мм}^2$$

Определяем оптимальное напряжение дуги может по формуле:

					ПГУ ВКР 15 03 01 213МО41 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

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

Подставляем полученные значения в формулу 8.20

$$\psi_{np} = K^I \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{св}) \cdot \frac{d_{эл} \cdot U_D}{I_{св}} В$$

Принимаем $U_D = 28 В$.

Определяем коэффициент провара по формуле:

$$\psi_{np} = K^I \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{св}) \cdot \frac{d_{эл} \cdot U_D}{I_{св}} \quad (8.21)$$

$$K^I = 0,367 \cdot j^{0,1925} = 0,367 \cdot \left(\frac{I_{св} \cdot 4}{\pi \cdot d_{эл}^2} \right)^{0,1925} \quad (8.22)$$

$$K^I = 0,367 \cdot \left(\frac{200 \cdot 4}{\pi \cdot 1,6^2} \right)^{0,1925} = 0,89.$$

$$\psi_{np} = 0,89 \cdot (19 - 0,01 \cdot 200) \cdot \frac{1,6 \cdot 28}{200} = 3,34$$

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

Коэффициент наплавки определяется по формуле [28]:

$$\alpha_H = \alpha_p \cdot \left(1 - \frac{\psi}{100} \right) \quad (8.23)$$

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

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

Коэффициент расплавления электродной проволоки определяется по формуле:

$$\alpha_p = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{I_{св}}{d_{эл}} \right) \cdot 10^{-4} \quad (8.24)$$

					ПГУ ВКР 15.03.01.213МО41.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

Подставляем полученные значения в формулу 8.24

$$\alpha_p = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{200}{1,6} \right) \cdot 10^{-4} = 0,00358 \text{ г/Ас} = 13 \text{ г/Ач}$$

Подставляем полученные значения в формулы 8.23.

$$\alpha_H = 13 \cdot \left(1 - \frac{10}{100} \right) = 11,7 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$$

Определяем скорость сварки по формуле:

$$V_{св} = \frac{\alpha_H \cdot I_{св}}{100 \cdot \gamma \cdot F_H} \quad (8.25)$$

где α_H – коэффициент наплавки;

γ – плотность наплавленного металла.

$$V_{св} = \frac{11,7 \cdot 200}{100 \cdot 7,8 \cdot 0,3} = 10 \text{ м/час}$$

Определяем оптимальное напряжение дуги может по формуле:

$$U_D = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_{эл}^{0,5}} \cdot I_{св} \pm 1 \quad (8.26)$$

Подставляем полученные значения в формулу 8.13

$$U_D = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,6^{0,5}} \cdot 200 \pm 1 = 28 \pm 1 \text{ В}$$

Принимаем $U_D = 28 \text{ В}$.

Определяем скорость подачи проволоки по формуле:

$$V_{п.пр} = \frac{4 \cdot \alpha_p \cdot I_{св}}{\pi \cdot d_{эл}^2 \cdot \gamma} \quad (8.27)$$

$$V_{п.пр} = \frac{4 \cdot 13 \cdot 200}{\pi \cdot 1,6^2 \cdot 7,8} = 111,5 \text{ м/ч}$$

					ПГУ ВКР 15 03 01 213 МО 41 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

9 Выбор сварочного оборудования и технологической оснастки

Правка осуществляется на специализированной листопрямильной машине марки *UBR10×2000-1/16*, изображена на рисунке 15. Технические характеристики многовалковой машине марки *WD*, приведены в таблице 14.

- тяжелая конструкция весом 55 т, является очень надежной и прочной;
- правильные ролики – кованые, закаленные, шлифованные;
- производит правку металла за один проход;
- правит начальную и конечную зону листа;
- регулируемая скорость правки.



Рисунок 15 –Листопрямильная многовалковая машина марки *UBR10×2000*

					ПГУ ВКР 15.03.01.213М041.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

Таблица 14 – Техническая характеристика многовалковой машины марки UBR10×2000-1/16

Наименование параметра	Значение параметра
Ширина листа, мм	2000
Толщина листа, мм	5-10
Материал валков	40 CrMo
Диаметр валков	320
Количество валков	6
Мощность двигателя кВт	220 кВт

Станок плазменной резки *PB6020D*, изображен на рисунке 16, относится к промышленному оборудованию высокого класса. В установках серии *PB* подвижная система (портал) выполнена полностью независимой от силовой части стола, крепится анкерами к полу, что гарантирует ряд преимуществ:

- увеличение грузоподъемности стола;
- независимость координатной системы от нагрузки на стол, что положительно влияет на точность резки;
- отсутствие каких-либо нагрузок или деформаций по погрузке листа.

Жесткая рама и высокоточные рельсовые направляющие обеспечивают точность резки, а легкий и в тоже время прочный портал, мощные сервоприводы высокие показатели ускорения и скорости перемещений.

Портал представляет собой металлический каркас со стяжками с двумя экструдированными алюминиевыми профилями с высокоточной посадкой под направляющими для снижения подвижной массы. При длине рабочего поля 6 100 мм в стандартном исполнении стол комплектуется двенадцатисекционной системой вытяжки газов, которая включается с помощью пневмозаслонки, только когда над ней осуществляется резка. Крупные фракции после резки оседают в специальных шлакобункерах, не засоряя вентилятор. Шлакобункеры

					ПГУ ВКР 15 03 01 213М041 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

с увеличенным объемом сокращают время простоя станка, необходимое для их очистки. Система вытяжки исключает заклинивание штока цилиндра. Ребра станка легко заменяемы. В комплект входят решетки для улавливания мелких деталей.

Стойка управления представляет собой цельнометаллический вентилируемый корпус, электроника защищена от внешних механических и электромагнитных воздействий. Наличие промышленного ЧПУ на базе лицензионной *ОС Windows10* (управляющая программа *RTM Control*) позволяет выполнить раскрой любой сложности. Технические характеристики приведены в таблице 15.



Рисунок 16 – Станок термической резки *PB6020D* с ЧПУ

Таблица 15 – Техническая характеристика станка плазменной резки с *PB6020D*

Наименование параметра	Значение параметра
Длина зоны обработки, мм	6000
Ширина зоны обработки, мм	2100
Толщина обрабатываемого металла, мм	до 60
Предел перемещения по осям X/Y, мм	1600 × 3100
ЧПУ	<i>RTM Control</i>

Точность позиционирования, мм	0,1
-------------------------------	-----

Продолжение таблицы 15

Наименование параметра	Значение параметра
Потребляемая мощность (без источника), кВт	3
Скорость движения по осям, мм/мин	до 30
Напряжение сети, В	380
Масса, кг	2900

Процесс правки металла применяется для устранения различных дефектов поверхности у стальных листов, лент и полос. Данный метод является одним из наиболее простых способов механической обработки металла, используемых для выпрямления листов.

Применение правки:

Правка необходима для поддержания плоскостности листа. Этот параметр определяет ровность поверхности листа: чем выше плоскостность, тем выше качество и стоимость материала. Нормы плоскостности регламентированы соответствующими государственными стандартами (ГОСТ).

Кроме того, плоский прокат часто используется в процессах горячей и холодной штамповки. Наличие на листе выпуклостей, волн или других дефектов может привести к поломке оборудования для штамповки.

Для изготовления эллиптических форм используется гидравлический пресс двойного действия, представленный на иллюстрации 17, модель *HDEP*. Этот пресс предназначен для процесса холодной штамповки выпуклых деталей, поверхностей и для создания выпуклых элементов штампов. Он находит применение в условиях массового производства. Подробные технические параметры пресса указаны в таблице 16.

					ПГУ ВКР 15 03 01 213М041 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52



Рисунок 17 –Гидравлический пресс *HDEP*

Таблица 16 –Техническая характеристика гидравлический пресс *HDEP*

Наименование параметра	Значение параметра
Макс. ширина гибки, мм	400
Мин. толщина гибки, мм	6
Макс. толщина гибки, мм	16
Давление МПа	260
Макс. размер диаметра гибки, мм	4000
Двигатель (кВт)	16
Габаритный размеры, мм	18000×27480×28000

Для определения возможности использования гибки необходимо знать наименьший относительный радиус изгиба R . Так как при значении $R < 2$ наружная поверхность заготовки в процессе гибки разрушается.

Для деформируемых материалов наименьший относительный радиус изгиба R определяется по формуле 9.1.

$$\bar{R} = \frac{R}{S} \quad (9.1)$$

где R – радиус получаемой заготовки;

S – толщина заготовки.

$$\bar{R} = \frac{706}{6} = 118 \text{ мм}$$

Так как полученный относительный радиус изгиба позволяет использовать в качестве формообразующего процесса – гибку, то зная параметры заготовки необходимо выбрать листогибочную машину *HRB-43085*. Листогибочная машина *HRB-43085* изображена на рисунке 18.



Рисунок 18 – Листогибочная машина *HRB-43085*

При толщине заготовки 6 мм и ширине 1500 мм, в процессе принятия решения о приобретении оборудования для выполнения задач, связанных с обработкой листового металла, выбираем листогибочную машину *HRB-43085* в таблице 17.

Таблица 17 – Техническая характеристика листогибочной машины *HRB-43085*

Наименование параметра	Значение параметра
Макс. ширина гибки, мм	2200
Мин. толщина гибки, мм	4
Макс. толщина гибки, мм	12
Давление МПа	700
Макс. размер диаметра гибки, мм	2300
Диаметр верхнего вала, мм	400
Диаметр нижнего вала, мм	300

Продолжение таблицы 17

Наименование параметра	Значение параметра
Скорость гибки (м/мин)	4
Двигатель (кВт)	11
Габаритный размеры, мм	3600×1500×1620

Этот оборудование соответствует всем требованиям для выполнения процесса вальцовки обечаек нужного размера. Для автоматической сварки с использованием флюса мы рекомендуем использовать сварочный трактор *INMIG*, представленный на иллюстрации 19. Автоматический сварочный трактор *INMIG* предназначен для работы с различными видами сварных соединений, включая стыковые, нахлесточные и тавровые. Преимущества трактора *INMIG* включают:

- сварку как внутри, так и вне колеи;
- низкое воздействие колебаний напряжения питания, защиту от перегрева и короткого замыкания;
- шаговый привод блока колебаний;
- точное управление сварочными параметрами;
- высокая надежность - ПВ 100 %;
- разнообразие регулировок положения сварочной горелки;
- удобное управление с цифровой панелью и ЖК-дисплеями;
- надежно работающий и простой в эксплуатации механизм подачи проволоки;
- неуклонное движение проволоки во время подачи.

Комплект оборудования включает в себя следующее:

- сварочный трактор *INMIG*;
- инверторный источник питания *NB-630HD*;

					ПГУ ВКР 15 03 01 213М041 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

- комплект кабелей: сварочный кабель 2х95 мм, 2 – 15 метров, кабель управления 15 метров, кабель «земля» 2х95 мм, 24 метра;
- шланги 15 метров;
- сварочная горелка;
- блок жидкостного охлаждения.

Технические характеристики сварочного автомата указаны в таблице 18.



Рисунок 19– Сварочный трактор *INMIG*

Таблица 18 – Техническая характеристика трактора *INMIG*

Наименование параметра	Значение параметра
Напряжение питающей трехфазной сети, В	380,0
Номинальный сварочный ток, А	1000,0
Диаметр электродной проволоки, мм	1,0-3,0
Скорость подачи электродной проволоки, м/час	10,0-300,0
Скорость сварки, м/час	0-80,0

Продолжение таблицы 18

Наименование параметра	Значение параметра
Предельный угол наклона сварочной головки в плоскости перпендикулярной шву	45
Емкость барабана для проволоки, кг	15,0
Емкость бункера дц в кв	6,5
Габаритный размеры, мм	720×670×1100

Сварочный трактор *INMIG* используется с инверторным источником питания *NB-630HD*, его технические характеристики указаны в таблице 19.

Источники питания *NB-630HD INTEGRAL* имеют ряд преимуществ:

- 100 % рабочий цикл;
- жидкостное охлаждение источника;
- простая и удобная панель управления с возможностью удалённого управления (сварочный трактор);
- силовые блоки на транзисторах *IGBT*;
- управляющий процессор *dsPIC* от *Microchip* с встроенными ядрами *MCU* и *DSP* для более точного и быстрого управления процессом.

Технология плавного включения, которая улучшает надёжность модулей *IGBT*, используются двойные модули *IGBT*, схема полного моста для инвертирующего контура.

- позволяют выполнять сварку штучным электродом (*MMA*) и воздушно-дуговую строжку (*CAG-A*);
- высокая степень защиты от воздействия факторов окружающей среды, хорошая пыле- и влагозащищённость;
- индикация перегрева силового блока и ошибок питания;
- принудительное воздушное охлаждение вентилятором;
- лучшие массогабаритные характеристики;

					ПГУ ВКР 15 03 01 213МО41 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

– отличный дизайн, высокое качество сборки, высокая надёжность.

Все важные компоненты, такие как модули *IGBT*, диоды, интегральные схемы, реле, регуляторы тока и напряжения, используются от всемирно известных брендов с высокой надёжностью – *Semikron*, *Infinion (Siemens)*, *Mitsubishi Electric*, *Molex*. Характеристики представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Технические характеристики *NB-630HD INTEGRAL*

Наименование параметра	Значение параметра
U питающей сети, В	3×380,0
Номинальный сварочный ток, А	1000,0
Пределы регулирования сварочного тока, А	150,0-1250,0
Номинальное рабочее напряжение, В	40,0
Напряжение холостого хода, В	50,0
Потребляемая мощность, кВт	70,0
Габаритный размеры, мм	700×600×400
Масса, кг	300

Для вырезания отверстия под штуцера и люк используется плазморез *SOLARIS AirCut PC-400*, характеристики представлены таблице 20.

Таблица 20 – Технические характеристики плазмореза *SOLARIS AirCut PC-400*

Наименование параметра	Значение параметра
Толщина обрабатываемого листа, мм	1-12
Диапазон регулировки тока, А	14,9-40
Питание, В	220
ПВ на максимальном токе, %	60
Мах мощность, кВт	5,8
Масса, кг	12

В качестве инструмента для автоматизированной сварки в атмосфере защитных газов мы выбираем полуавтомат «*Kemppi*» *FastMig M 520*. Этот сварочный аппарат отличается своей модульной структурой, удобством в эксплуатации и разнообразием сфер применения. Полуавтомат «*FastMig M*

520» от «*Kemppi*» отличается высокими показателями эффективности работы, компактностью и легкостью, что увеличивает производительность и мобильность на месте сварки.

В сфере промышленной сварки *MIG/MAG* техника *FastMig M* выступает в качестве популярной высокотехнологичной замены стандартным средствам. Управление этим оборудованием обеспечивает идеальное зажигание сварочной дуги и высококачественные сварочные параметры, позволяя вам сосредоточиться на процессе сварки и сократить время. Оборудование предлагается в двух комплектациях: профессиональной для синергетической сварки и стандартной для базового использования, что дает возможность выбрать наиболее подходящий вариант для запланированных сварочных работ. При необходимости, настройки оборудования *FastMig M* могут быть адаптированы под конкретные производственные задачи.

Технические характеристики сварочного полуавтомата *Kemppi FASTMIG M 520* представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Технические характеристики сварочного полуавтомата *Kemppi FASTMIG M 520*

Наименование параметра	Значение параметра
Напряжение питающей сети, В	380±15%
Рабочее напряжение <i>MIG</i> , В	10...57
Рабочее напряжение <i>MMA</i> , В	20...50,0
Сварочный ток <i>MIG/MMA</i> , А	20,0...600,0
Подающий механизм	Встроенный
Диаметр электрода <i>MMA</i> , мм	1,5...6
Диаметр сварочной проволоки <i>MIG</i> , мм	0,6; 0,8; 1; 1,2; 1,6
Габаритный размеры, мм	822×350×750

На детально разработанной иллюстрации номер 20, которая была тщательно подготовлена для демонстрации технических характеристик, вы можете увидеть велосипедную тележку, которая носит название модели ВТ-2Б.

Этот уникальный механизм представляет собой сложное устройство, состоящее из двух отдельных, но взаимосвязанных шасси. Нижнее шасси этой модели оборудовано двумя движущимися бегунками, которые выполняют функцию привода, причем привод осуществляется к одному из бегунков, что обеспечивает необходимую подвижность и маневренность.

Верхнее шасси, в свою очередь, оснащено двумя опорными роликами. Эти ролики играют ключевую роль, поскольку они скользят по специально спроектированному верхнему направляющему монорельсу, который является неотъемлемой частью конструкции. Благодаря этим опорным роликам, тележка получает дополнительную устойчивость и защиту от нежелательного опрокидывания, что является важным аспектом безопасности при использовании данного устройства.

Соединение между шасси осуществляется стандартной колонной ПК-2, что является неотъемлемой частью конструкции и позволяет формировать полноценную велосипедную тележку. Эта колонна служит основой для перемещения каретки, которая, в свою очередь, может свободно двигаться по колонне. Каретка снабжена выдвижной горизонтальной штангой, на которой надежно закреплена сварочная головка типа АБ или аналогичное устройство, что позволяет выполнять сварочные работы с высокой точностью и эффективностью.

Таким образом, велосипедная тележка модели ВТ-2Б представляет собой высокотехнологичное устройство, которое сочетает в себе надежность, безопасность и удобство в эксплуатации. Каждый элемент конструкции продуман до мелочей, что позволяет пользователям чувствовать себя уверенно и комфортно в любой ситуации. Велосипедная тележка ВТ-2Б – это не просто средство передвижения, это настоящее воплощение инженерной мысли, созданное для того, чтобы удовлетворить самые высокие требования современных пользователей.

					ПГУ ВКР 15.03.01.213М041.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

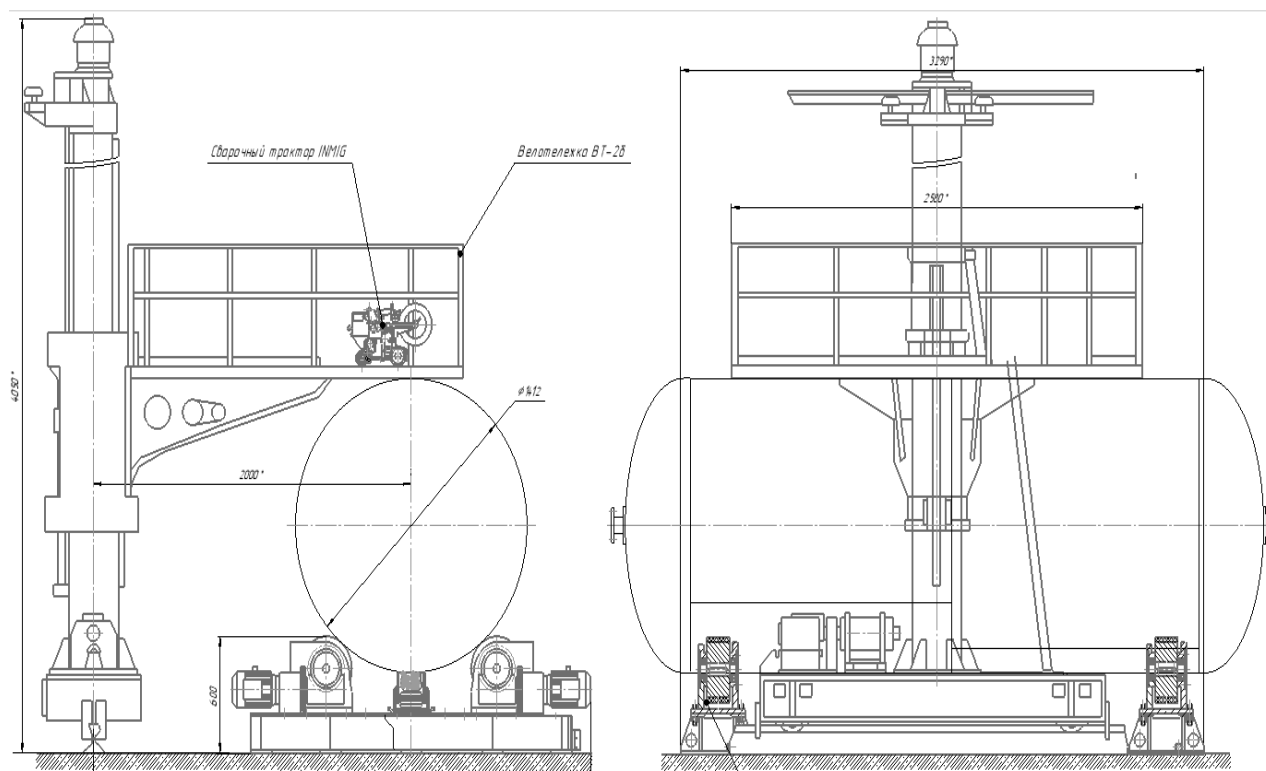


Рисунок 20 – Велосипедная тележка BT-26

На верхней части конструкции установлен механизм подъема. К тележке крепится балка с навесным рельсовым трактом, предназначенным для автономного сварочного аппарата типа АБС. Этот аппарат обеспечивает возможность выполнения сварки не только вдоль швов, но и поперечных швов до 1,6 метра в длину. Рабочее пространство для сварки находится на высотах от 800 до 2400 мм от пола. Тележка BT-26 состоит из платформы, стойки, балкона, каретки, и двух электроприводов - передвижение тележки и вертикального перемещения балкона. Тележка перемещается электродвигателем, через редуктор, зубчатую, и червячную передачи, установленные на платформе. Вертикальное перемещение балкона осуществляется электродвигателем через двухступенчатую зубчатую передачу, ходовой винт и гайку. Подробные технические параметры велотележки изложены в таблице 22.

					ПГУ ВКР 15.03.01.213М041.098П		Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			61

Таблица 22 – Технические характеристики велосипедной тележке ВТ-26

Наименование параметра	Значение
Высота уровня сварки, мм:	
наименьшая	800
наибольшая.	2500
Вылет консоли от оси колонны до оси электрода, мм:	
наименьший	1440
наибольший.	2700
Наружный диаметр роликов, мм	350
Скорость перемещения тележки,	
Рабочая, м/час.	11
Маршевая, м/мин	17
Скорость горизонтального перемещения консоли, м/мин	1
Скорость подъёма/опускания консоли, м/мин	2

Для сборки и сварки емкостного аппарата с учетом особенностей конструкции и объема производства предлагается использовать для сборки и сварки корпуса продольных и кольцевых швов роликовый сварочный вращатель ГРП-ВРСУ-Б-10.

Сварочный агрегат ГРП-ВРСУ-Б-10 включает в себя одну рабочую и одну пустую секцию, а также систему электроуправления. Рабочая секция запускается благодаря сочетанию редуктора и асинхронного двигателя.

Выход редуктора и фрикционное колесо сконструированы на общем валах, что позволяет передавать вращение на фрикционное колесо. Это колесо тесно прилегает к двум вращающимся валикам, обеспечивая тем самым вращение трубы. Система электроуправления агрегатом представлена блоком управления и пультом дистанционного контроля.

Основные электрические компоненты используют известные бренды, такие как *Schneider* и т.п., которые отличаются надежностью и простотой обслуживания. Система преобразования частоты использует систему *Delta*,

					ПГУ ВКР 15 03 01 213М041 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

которая представляет собой бесшумный, высокопроизводительный, много функциональный преобразователь. Регулировка скорости вращения и направления вращения контролируются пультом дистанционного управления. Технические требования представлены ГРП-ВРСУ-Б-10 в таблице 23.

Таблица 23 – Технические характеристики ГРП-ВРСУ-Б-10

Наименование параметра	Значение
Крутящий момент на оси вращения приводных роликов, Нм, не менее	1000
Наибольшая грузоподъемность, кг	20000
Наружный диаметр роликов, мм	370
Диаметр свариваемых изделий, мм	
наибольший	1800
наименьший	150
Угловой люфт приводного ролика, градусы, не более (не более 3мм на радиус 200 мм)	0,8
Количество приводных секций, шт.	2
Количество неприводных секций, шт.	-
Установленная мощность, кВт, не более	12

В рамках указанного расстояния L между опорами роликов допустимые значения диаметра изделия ограничены двумя критическими сценариями:

– когда диаметр превышает L , что приводит к уменьшению центрального угла α , изделие на стенде может потерять стабильность;

– когда диаметр намного меньше L , угол, α становится слишком большим, что может вызвать зацепление барабана, приводящее к его заклиниванию и возможной поломке стенда из-за сильного распорного давления на ролики. Такое зацепление может наблюдаться в стендах с одной линией приводных роликов при вращении вала в направлении от холостых роликов. При обратном вращении риск зацепления снижается, однако, всё еще остается вероятность

статического заклинивания барабана при очень большом угле α и в ряде других неблагоприятных условий.

Использование роликов с относительно узким диаметром в сравнении с размерами подшипников и применение скользящих подшипников вместо катящихся требует особого внимания к выбору диаметров подшипников и к мощности и типам электродвигателей, а также к передаче вращательных моментов. Для точного определения этих параметров проведены специальные расчеты, результаты которых представлены ниже. На рисунке 21 демонстрируется расчетная схема станда с роликовым подшипником.

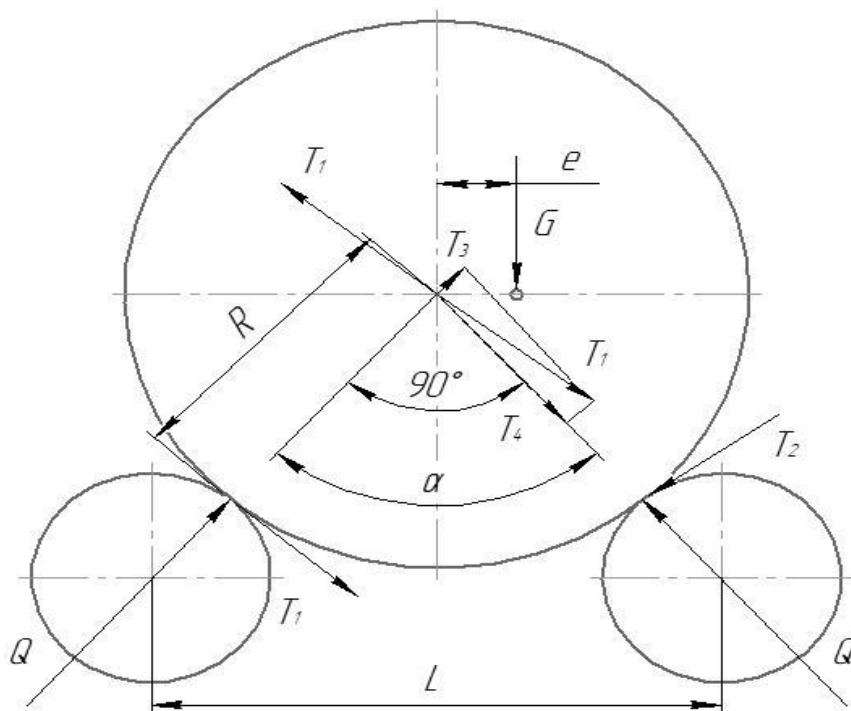


Рисунок 21 - Расчетная схема станда с роликовым подшипником

Активная внешняя нагрузка станда состоит из центральной силы G , равной весу вращаемого изделия, и грузового момента:

$$M_{кр} = G \cdot e \quad (9.2)$$

$$e = 0$$

					ПГУ ВКР 15.03.01.213М041.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

В статическом состоянии станда при $e=0$ сила $G=1500$ кг создает на роlikоопорах опорные реакции Q , $e=0$ зависящие от угла $\alpha=80^\circ$, n – количество роlikоопор:

$$Q = \frac{G}{n \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad (9.3)$$

$$Q = \frac{1500}{4 \cdot \cos\left(\frac{80^\circ}{2}\right)} = 500 \text{ кг}$$

Во время вращения изделия на приводных роliках возникает окружное усилие T .

Величина необходимого окружного усилия T на приводных и холостых роlikоопорах при $e=0$:

$$T_1 = T_2 = \frac{G \cdot \frac{\sin \alpha}{2}}{b \cdot \sin \alpha + \cos \alpha - 1}$$

(9.4)

Величина дисбаланса:

$$b = \frac{D_p}{f \cdot d_p + 2\mu}$$

где b – диаметр оси роliка в подшипниках;
(9.5)

d_p – коэффициент трения в подшипниках роlikоопор (для подшипников качения $f = 0.02$);

μ – коэффициент трения качения;

D_p – диаметр роliков.

$$b = \frac{35}{0,02 \cdot 7 + 2 \cdot 0,3} = 47,29$$

					ПГУ ВКР 15.03.01.213М041.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

$$T_1 = T_2 = \frac{1500 \cdot 0,642}{55,4 \cdot 0,984 + 0,309 - 1} = 75,59 \text{ кгс}$$

Когда барабан двигается, на стендовые ролики воздействуют дополнительные нагрузки, которые усиливают их опорные реакции. Это происходит, когда барабан поворачивается против часовой стрелки, поскольку в этом случае направленные вниз силы T_1 и T_2 увеличивают давление на ролики. Эти силы приводят к дополнительной нагрузке на ролики, которая растёт с увеличением угла α и коэффициентов трения f и μ .

Однако, если барабан вращается в противоположном направлении, силы T_1 и T_2 направлены вверх, что приводит к уменьшению опорных реакций. Поэтому для определения максимальных расчетных усилий на ролики важно правильно подобрать направление вращения вала и расположение центра тяжести G , как показано на рисунке 21, с силой T_1 и T_2 , направленной вниз. Вычисленное значение T_1 можно использовать в соответствующих формулах для получения итогового выражения для расчета опорных реакций роликов при их вращении под нагрузкой.

$$Q_1 = \frac{G}{2 \cos \frac{\alpha}{2}} \cdot \left(1 + \frac{\varepsilon \cos \alpha}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{\varepsilon + \sin \frac{\alpha}{2}}{b \cos \frac{\alpha}{2} - \sin \frac{\alpha}{2}} \right) \quad (9.5)$$

$$Q_2 = \frac{G}{2 \cos \frac{\alpha}{2}} \cdot \left(1 + \frac{\varepsilon \cos \alpha}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{\varepsilon + \sin \frac{\alpha}{2}}{b \cos \frac{\alpha}{2} - \sin \frac{\alpha}{2}} \right) \quad (9.6)$$

или, при $\varepsilon = 0$,

$$Q_{1(\varepsilon=0)} = Q_{2(\varepsilon=0)} = \frac{G}{2 \cos \frac{\alpha}{2}} \cdot \left(1 + \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{b \cos \frac{\alpha}{2} - \sin \frac{\alpha}{2}} \right) \quad (9.7)$$

					ПГУ ВКР 15.03.01.213М041.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

Вес конструкции 1500 кг. Стенд имеет две пары роlikоопор, поэтому на одну пару роlikоопор $G = 750$ кг.

$$Q_1 = Q_2 = \frac{1500}{2 \cos 40} \cdot \frac{1 + \sin 40}{b \cos 40 - \sin 40} = 1285 \text{ кгс}$$

Окружное усилие на приводных роliках, выраженное в долях веса изделия, представляет собой коэффициент сопротивления вращению изделия

$$K_c = \frac{T}{G} \quad (9.8)$$

$$K_c = \frac{75,59}{1500} = 0,05$$

Расчётная нагрузка роliков:

$$P = \sqrt{\frac{Q^2 + T^2}{i_p}} \cdot k_p \quad (9.9)$$

$$P = \sqrt{\frac{1285^2 + 75,5^2}{2}} \cdot 1,2 = 642,8 \text{ кгс}$$

где P – нагрузка на одну ведущую или холостую роlikоопору;

i_p – число роlikоопор в одном ряду;

k_p – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки на роlikоопорах.

По величине P подбираем нормализованные роlikоопоры в соответствии с действующим сортаментом, диаметр роliка 350 мм.

Крутящий момент на приводном валу ведущих роlikоопор

$$M_{kp} = \frac{T \cdot D_p}{2} + (f \cdot d_b + \mu) \cdot \sqrt{Q^2 + T^2} \quad (9.10)$$

$$M_{kp} = \frac{75,59 \cdot 35}{2} + (0,02 \cdot 7 + 0,3) \cdot \sqrt{1285^2 + 75,5^2} = 2436,88 \text{ кгс} \cdot \text{см}$$

Подбор электродвигателя и редуктора.

					ПГУ ВКР 15 03 01 213М041 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

Определим мощность электродвигателя. Необходимая мощность на приводном валу роlikоопор определяется по формуле:

$$N_B = \frac{M_{кр} \cdot n_m}{97500} \quad (9.11)$$

где $n_m = 10$ об/мин – частота вращения вала при маршевой скорости, об/мин;

$M_{кр} = 2436,88$ кгс · см – крутящий момент на валу.

$$N_B = \frac{2436,88 \cdot 10}{97500} = 0,355 \text{ кВт}$$

Необходимая мощность приводного электродвигателя определяется по формуле:

η – КПД привода, равный произведению частных КПД передач, входящих в кинематическую схему:

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \dots \cdot \eta_7 \quad (9.12)$$

где, $\eta_1 = 0,97$ – КПД цилиндрического редуктора;

$\eta_2, \eta_3, \eta_4 = 0,99$ – потери на трение в опорах каждого вала;

$\eta_5 = 0,95$ – КПД клиноременной передачи;

$\eta_6, \eta_7 = 0,98$ – потери в муфте.

$$N = \frac{N_B}{\eta} \quad (9.13)$$

$$\eta = 0,97 \cdot 0,994 \cdot 0,982 \cdot 0,95 = 0,85$$

$$N = \frac{0,36}{0,85} = 0,42 \text{ кВт}$$

Выбор мощности электромотора для разработки привода должен соответствовать значению, полученному по формуле (9.13). Из существующих типов двигателей выбираем электродвигатель 4А806ВУ3, мощность $N = 1,1$ кВт.

					ПГУ ВКР 15 03 01 213М041 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

Муфты с фланцевой конструкцией (или разъёмные) являются наиболее популярными в категории жестких, неразъединимых муфт, благодаря своей простоте в установке и возможности надежного соединения валов используем строгач *ABICOR BINZEL K12 T*, 3 м (516.D142), технические характеристики которого обозначены в таблице 24.



Рисунок 22- Строгач *ABICOR BINZEL K12 T*, 3 м (516.D142)

Таблица 24 – Технические характеристики установки СМ-1000 с ЧПУ

Наименование параметра	Значение параметра
Нагрузка, А	600
ПВ %	60
Диаметр электрода	4-10
Давление воздуха, БАР	10

Источник питания для воздушно-дуговой строжки *Kempri KempGouge ARC 800* (400В, 800А, DC, ПН 50 %) изображен на рисунке 23.

Данный источник питания позволяет дуговую строжку корня шва, а также выбирать трещины и дефекты в сечении шва, разделявать кромки под

сварку, резать металл, делать отверстия, очищать литье и удалять наплавленный металл. Кроме источника питания вам понадобится держатель электрода для дуговой строжки угольным электродом с подводом сжатого воздуха GT 4000, а также круглый или плоский угольный электрод технические характеристики представлены в таблице 25.



Рисунок 23 – Источник питания для воздушно-дуговой строжки *Kemppi KempGouge ARC 800* (400В,800А, DC, ПН50 %)

Таблица 25 – Технические характеристики сварочного полуавтомата Сварог MIG 3500(J93)

Наименование параметра	Значение параметра
Напряжение питающей сети, В	400±15%
Предохранитель (с задержкой срабатывания), А	63
Напряжение холостого хода, В	50В
Выходной ток MIG/ММА, А	800
Габаритные размеры, мм	700x660x140

Сварог MIG 3500 (J93) – инверторный сварочный аппарат, предназначенный для полуавтоматической сварки в среде защитного газа.

10 Контроль качества сварных соединений

10.1 Визуально – измерительный контроль

Процесс оценки качества сварных соединений включает проверку сварных швов до и после их формирования. Этот этап является ключевым для подтверждения точности и высокого качества выполненной работы. Несоблюдение установленных технологических стандартов и норм может привести к разрушению конструкции.

Существуют стандарты, такие как ГОСТ, которые устанавливают процедуры и методы контроля качества, а также нормы оформления отчетных документов. Контроль с использованием шаблонов и оптических приборов является неразрушающим методом, который позволяет оценить качество сварного соединения без его повреждения. При возникновении неудовлетворительной оценки в качестве работ проводятся дополнительные проверки, включая спектроскопию и ультразвуковую диагностику, для более детального анализа.

Эти процедуры выполняются квалифицированными специалистами, которые прошли обучение и имеют необходимые сертификаты. Контрольные мероприятия включают в себя визуальный, тактильный, оптический анализ и применение специальных измерительных приборов. В протоколе освидетельствования фиксируются результаты осмотра, выявленные недочеты и рекомендации по их устранению.

Визуальный осмотр сварных соединений позволяет выявить различные дефекты, такие как неправильная форма шва, переплав, несоответствие

					ПГУ ВКР 15.03.01.213М041.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

пропорций ширины и высоты, редкую чешуйчатость, слишком крупные наплывы расплава, подрезы из-за высокого тока, непроваренные участки, изменение цвета металла, вызванное перегревом или неверно подобранной присадкой. Применение оптических увеличителей значительно расширяет возможности визуального анализа сварных соединений, позволяя обнаруживать:

- поперечные и продольные трещины;
- проявления коррозии;
- изменения структуры металла, в том числе расслоение;
- нежелательные твердые включения в сплаве;
- открытые поры, через которые выходил газ;
- надиры, раковины, забоины;
- брак защитного покрытия, выполненного из полимера или краски;
- смещение шва.

Процедура начального контроля на начальных этапах работ позволяет оценить качество обработки поверхностей и проверить правильность применения маркировки или профессионального клейма сварщика. Согласно стандарту ГОСТ 23479-79, визуально-измерительный контроль является ключевым методом оценки качества. Преимущества визуально-измерительного контроля включают:

- быстрое выполнение анализа;
- простоту в осуществлении;
- оперативное получение информации о внешнем виде сварного соединения;
- отсутствие необходимости в использовании сложного и дорогого оборудования;
- легкость проверки результата. Однако, существуют и недостатки:
- выводы зависят от квалификации эксперта и его методики работы;

					ПГУ ВКР 15.03.01.213М041.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72

– метод применим для выявления лишь крупных и очевидных дефектов.

Согласно стандарту ГОСТ ИСО17637-2014 [29], визуально-измерительный контроль сварных соединений выполняется по всей их длине и применяется к каждому сварному соединению в полном объеме, то есть на 100%

10.2 Ультразвуковой контроль

Для обеспечения безопасной эксплуатации конструкций с сварными соединениями, в независимости от их возраста, необходимо постоянно проводить проверки. Среди разных методов контроля, особое место занимает ультразвуковая дефектоскопия. Этот метод был разработан еще в 1930 годах и сейчас широко применяется по всему миру. Главная особенность ультразвукового контроля заключается в её способности выявлять даже незначительные недочеты, которые со временем могут привести к потере прочности и разрушению конструкции.

Преимущества ультразвуковой диагностики включают высокую точность и скорость работы при доступной цене, безопасность для объекта и людей, находящихся рядом во время проведения процедуры, возможность использования в полевых условиях с помощью мобильных ультразвуковых дефектоскопов и простоту использования без необходимости вывода объекта из эксплуатации. Однако, как и любые методы диагностики, ультразвуковая дефектоскопия имеет свои ограничения. Ультразвуковой контроль не дает полных данных о дефектах из-за воздействия воздуха или шлака, а также трудно идентифицирует характер шлаковых включений. По мимо этого, при работе с металлами с крупнозернистой структурой возникают проблемы из-за сильного рассеивания и затухания ультразвука. Необходимо тщательно

					ПГУ ВКР 15.03.01.213М041.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

подготовиться к диагностике, очистив поверхность шва от загрязнений и ржавчины.

Ультразвуковой контроль играет важную роль в многих диагностических методах, в том числе и в медицине. Способность ультразвуковых волн отражаться и проникать используется в различных отраслях, так как главная роль заключается в отсутствии причинения вреда объекту, который исследуется. Ультразвуковая дефектоскопия является неразрушающим методом контроля и определения мест, где могут быть расположены различного рода дефекты. Качество проведения процедуры зависит от множества факторов, включая корректную настройку и калибровку аппарата, чувствительность приборов и опыт оператора. Профессиональный ультразвуковой контроль – это обязательный этап при оценке качества сварных соединений. Этот метод позволяет выявить разнообразные дефекты, включая химическую неоднородность материалов, наличие шлаковых включений и неметаллических элементов, а также воздушные пустоты и скрытые механические нарушения. Важным аспектом является то, что сварное соединение будет признано пригодным к использованию только после устранения всех обнаруженных недочетов.

Ультразвуковой контроль имеет способность работать на высокочастотных колебаниях (примерно 20 000 Гц) проникать в металлическую структуру, отражаться от неровностей, пустот и царапин. При проникновении в сварной шов, при наличии дефекта, ультразвуковая волна отклоняется от обычного направления. Это отклонение регистрируется на мониторах контрольных устройств. Оператор анализирует полученные данные, определяя расстояние до дефекта по времени распространения волны и его размер по амплитуде отраженного импульса. Существует несколько видов ультразвукового контроля.

					ПГУ ВКР 15.03.01.213М041.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

Теневой метод, основывающийся на использовании двух преобразователей, устанавливаемых по разные стороны контролируемого объекта. Первый преобразователь служит для генерации ультразвука, второй – для его регистрации. Ультразвуковые волны направляются на сварной шов, а отраженные волны регистрируются на втором преобразователе. При обнаружении "глухой зоны", где волны не регистрируются, это указывает на наличие дефекта.

Эхо-импульсный метод, при котором используется ультразвуковой дефектоскоп, выполняющий функцию и излучателя, и приемника. Метод основан на отражении ультразвука от поверхности дефектных участков. Если волны не отражаются и не регистрируются на приемнике, то дефекты отсутствуют. В противном случае, это свидетельствует о наличии дефектов.

Метод зеркально-импульсного анализа, похожий на предыдущий, но включающий в себя применение двух устройств – передатчика и приемника, размещенных на одной стороне обследуемого объекта. Ультразвуковые импульсы, распространяющиеся под определенным углом, отскакивают от несовершенных участков и фиксируются приемным устройством. Часто используют этот метод для выявления вертикальных дефектов, например, трещин, применяя модифицированный зеркально-теновой метод. Этот метод сочетает в себе принципы зеркального и теневого подходов. Передатчик и приемник располагаются с одной стороны от контролируемого объекта. Передатчик генерирует наклонные волны, которые отскакивают от поверхности металла и затем регистрируются приемником.

Если на пути распространения ультразвуковых волн нет дефектов, то изменения не будут зафиксированы. Если же волны отскакивают от глухой зоны, это свидетельствует о наличии дефекта и необходимости его поиска. Дельта-метод применяется нечасто из-за необходимости точной настройки техники и сложности интерпретации полученных данных. В основе этого

					ПГУ ВКР 15 03 01 213М041 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		75

метода лежит отражение направленных акустических волн дефектом внутрь шва. Отскакивающие волны разделяются на зеркальные, которые преобразуются в направлении продольном, и переизлучаемые.

Приемник фиксирует не все волны, в основном те, что отскакивают или движутся прямо на него. От количества зарегистрированных волн зависит конфигурация и размер дефекта. При диагностике поперечных и продольных швов специалисты чаще применяют теневой и эхо-импульсный методы. В основном, таким образом проводят контроль сварных соединений трубопроводов.

Остальные методы используются значительно реже, в зависимости от конкретной ситуации. Устройства для ультразвукового контроля труб и металлоконструкций работают по схожим принципам. Основной рабочий элемент – пластинка пьезодатчика из титанита бария или кварца, которая находится в щупе и плавно перемещается вдоль соединений. Во время перемещения щупа к пластине подается высокочастотный ток, из-за чего она излучает ультразвуковые колебания перпендикулярно своей длине.

Отраженные волны принимает аналогичная пластина с принимающим щупом, которая преобразует колебания в переменный ток, который сразу же отклоняет волну на мониторе осциллографа, формируя промежуточный пик. При ультразвуковой диагностике датчик посылает короткие переменные импульсы упругих колебаний с различной длительностью, разделённые паузами. Это позволяет определить наличие и глубину залегания дефекта. Процедура ультразвукового анализа включает в себя несколько ключевых этапов:

а) Прежде всего, необходимо удалить все загрязнения, включая краску, ржавчину и любые остатки, которые могут быть на расстоянии 5-10 см от сварных швов, в соответствии с техническими рекомендациями, указанными в стандарте ГОСТ Р 55724-2013 [30].

					ПГУ ВКР 15 03 01 213М041 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

б) Затем, для подготовки поверхности к анализу, используются специальные жидкости, такие как машинное масло, глицерин, солидол или силиконовый гель с антикоррозийными добавками. Эти жидкости помогают создать идеальный контакт между датчиком и анализируемой поверхностью, что способствует более точному и глубокому проникновению ультразвуковых волн.

в) Производится настройка ультразвукового прибора, включая установку необходимой толщины, настройку APД, AVG или DGS-диаграмм.

г) После этого, начинается процесс перемещения ультразвукового щупа по шву в зигзагообразном порядке, при этом щуп регулярно поворачивается на 10-15 градусов вокруг своей оси.

д) Когда на экране прибора появляется устойчивый сигнал, щуп разворачивается обратно, и продолжается поиск сигналов с максимальной амплитудой.

е) Следующий этап – это определение источника ультразвуковых колебаний, чтобы исключить возможные ложные сигналы, связанные с отражением волн от других сварных соединений.

При обнаружении дефекта, его координаты фиксируются в специальной таблице. Это позволяет точно локализовать и устранить дефект. Ультразвуковой контроль проводится в соответствии с нормативным ГОСТ Р 55724-2013 и может включать в себя один или два прохода. Если ультразвуковая диагностика не позволяет точно определить характер дефекта, то к ней могут быть добавлены другие методы, такие как гамма-дефектоскопия или рентгенодефектоскопия. С помощью ультразвукового анализа можно выявить различные типы дефектов, включая трещины, поры, непровары, расслоение наплавленного металла, провисание металла на нижнем участке сварного соединения.

					ПГУ ВКР 15.03.01.213М041.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		77

10.3 Капиллярный контроль

Контроль капиллярным методом выполняется согласно требованиям ГОСТ 18442–80 [32]. Этот метод основан на способности определенных жидкостей проникать даже в мельчайшие трещины, невидимые человеческому глазу. Процесс состоит из нескольких этапов:

- подготовка поверхности;

Поверхность исследуемого участка очищается от загрязнений и обрабатывается для улучшения проникновения индикатора.

- нанесение проникающего состава (пенетранта);

Пенетрант наносится на поверхность. Это жидкость с низким поверхностным натяжением, способная проникнуть в микроскопические дефекты. Индикаторные составы часто содержат красители или флуоресцентные вещества, позволяющие легко обнаружить следы дефектов при освещении ультрафиолетовым светом.

- удаление излишков пенетранта;

После выдержки необходимого времени остатки пенетранта удаляются с поверхности контролируемого изделия.

- проявление следов дефектов;

Наносится проявляющий состав, который делает скрытые следы трещин видимыми.

- анализ результатов.

Проводится оценка выявленных дефектов, определяется их характер и размеры.

Для капиллярного контроля используются следующие виды материалов:

					ПГУ ВКР 15.03.01.213М041.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

органические растворители: керосин, бензол, скипидар, люминесцентные краски, усиливающие отражение света при УФ-облучении, краски или меловое покрытие, улучшающие визуализацию дефектов.

Метод применяется для выявления внутренних и внешних дефектов сварных швов, включая поры, непровары, трещины и другие нарушения целостности металла. Особенность метода заключается в высокой чувствительности к дефектам малой величины, что позволяет контролировать прочность и надежность сварочных соединений.

Назначаем согласно ГОСТ 18442–80 цветной метод капиллярной дефектоскопии для сварного шва № 4, № 5 в объеме 100 %.

10.4 Механические испытания

Процедура проверки сварных соединений на механическую прочность регламентируется нормативными документами, включая ГОСТ 6996-66 а также РД 26-11-08-86 [33]. Эти испытания представляют собой разрушающие методы анализа, применяемые для оценки сварных швов при действии разнообразных нагрузок. Этим методом определяются ключевые характеристики, влияющие на работоспособность конструкций, на основе которых прогнозируются потенциальные нагрузки. Для проведения испытаний используется специализированное оборудование, а контроль осуществляется на образцах сварных швов, изготовленных по серийным технологиям. Окончательное заключение формируется на основе анализа их устойчивости к разрушению и пластичности.

Процесс механических испытаний сварных соединений включает в себя несколько методов:

– статический метод предполагает постепенное увеличение нагрузки, что позволяет оценить поведение шва при постоянной нагрузке

					ПГУ ВКР 15 03 01 213М041 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

– метод мгновенного воздействия предполагает кратковременное усиление нагрузки, чтобы определить его устойчивость.

– усталостные испытания включают многократное воздействие на образец, при этом число циклов может достигать десятков миллионов, нагрузки меняются как по величине, так и по направлению.

– динамические испытания позволяют оценить склонность шва к усталостной деформации и прочность на изгиб.

Испытания проводятся при различных температурах: пониженных, нормальных и повышенных. Полученные данные фиксируются в виде графиков и вносятся в протоколы. Твердость шва измеряется в зоне термического воздействия и диффузного слоя, а также оценивается структурная прочность металла с помощью металлографических методов. Кроме того, проверяют как необработанные, так и обработанные сварные швы.

Нормативные документы, регламентирующие проведение испытаний сварных соединений, включают в себя методики исследований, используемые формулы и руководящий документ Минхимпрома РД 26-11-08-86. Выбор образцов и типы исследований определяются согласно ГОСТ 6996-66. Также регламентируется толщина образцов в зависимости от типа сварки, методы подготовки сварных швов к испытанию и условия проведения испытаний. По итогам контроля готовится протокол, в котором указывается метод проверки образцов. Испытательные материалы для проведения исследований используются стандартные образцы, размеры и форма которых определяются согласно характеру проводимого теста. К примеру, для оценки устойчивости к растяжению применяют образцы с круглым сечением в форме цилиндра или плоские заготовки с прямоугольным сечением. Такие образцы должны соответствовать определенным параметрам, указанным стандартами.

					ПГУ ВКР 15 03 01 213МО41 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80

Преимущества и недостатки механических испытаний. Среди преимуществ данного метода следует выделить:

- получение информации о рабочих характеристиках сварных соединений;
- изучение механических свойств швов;
- определение расчетных параметров, что позволяет оценить максимальные нагрузки – данные, необходимые для проектирования;
- проверка качества зоны термического воздействия и диффузного слоя, где часто встречаются внутренние дефекты;
- относительно небольшие затраты при сопровождении высокой точности результатов, на основе которых можно выявить прочностные параметры конструкций и выбрать оптимальный метод сварки различных сплавов.

Несмотря на это, механические испытания сварных соединений имеют и свои недостатки – они приводят к разрушению образцов, что делает их непригодными для контроля готовых соединений. Эти методы применяют исключительно для исследований, проводимых на этапе подготовки к серийному производству. Ключевые характеристики, определяемые механическими испытаниями.

Для оценки механических характеристик диффузного слоя при сварке используют различные методы. Образец подвергают различным нагрузкам, определяют, при каких усилиях возникает деформация по шву. При этом учитываются такие дефекты, как надрывы, трещины, а также изменения размеров и формы. Также оцениваются ключевые технологические характеристики, влияющие на герметичность и несущую способность соединений. Рассмотрим основные характеристики, которые позволяют оценить механические свойства сварных соединений. Прочностные показатели особенно важны для опорных конструкций, подвергающихся разнонаправленным нагрузкам. От прочности зависит устойчивость,

					ПГУ ВКР 15.03.01.213М041.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81

безопасность и целостность здания. Эти характеристики определяют несколькими методами.

Проверка металла на прочность включают в себя тесты на изгиб и усталость. Изгибные испытания сварных соединений получают входе наложения усилий до момента, когда образец достигает критической деформации. Исследования на усталость проводятся с различными нагрузками до момента разрушения образца.

Проверка на ударную прочность проводится с быстрым изменением нагрузки. Сварные швы оцениваются на предмет хрупкости и деформации. Для этого используется образец с надрезанным шовным валиком. В точке надреза, от удара маятника, создается концентрированное напряжение. Если в образце не появляются трещины, изломы, надрывы и расслоения, это свидетельствует о его прочности.

Особенностью механических испытаний включает в себя то, что они являются разрушающими методами контроля, что подразумевает разрушение или повреждение исследуемых образцов. Для получения наиболее точных результатов проверяют несколько образцов из одной партии, учитывая, что показатели могут варьироваться. Среднее значение из полученных результатов является наиболее точным. Механические испытания целесообразны при массовом производстве деталей, когда из каждой партии берут определенное количество изделий и проводят исследования.

Заклучение по результатам одного образца не всегда будет корректным. Если изделие является единичным, то для него следует использовать неразрушающие методы контроля. Результаты испытаний зависят от множества факторов, включая первоначальное состояние заготовок и наличие дефектов в металле. Следовательно, прежде чем утвердить технические параметры, необходимо осуществить диагностику сварных швов, которое выполняется через метод ультразвукового осмотра.

					ПГУ ВКР 15 03 01 213М041 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82

Механические испытания проводятся для швов №1 и №2 в объеме 100%.

10.5 Гидравлические испытания

Испытания на герметичность выполняются в соответствии с государственным ГОСТ 34347–2017, ГОСТ 3242–79 [35] и проводятся согласно требованиям РД 24.200.11–90 [36].

Гидравлические испытания сварных швов – это процедура проверки герметичности и прочности сварных соединений путём создания избыточного давления жидкости внутри испытываемого объекта. Этот метод широко применяется в различных отраслях промышленности, таких как строительство, энергетика, нефтехимия и судостроение, для подтверждения надёжности сварных конструкций, используемых в трубопроводах, сосудах под давлением, резервуарах и других изделиях.

Основная цель гидравлических испытаний – убедиться, что сварные швы способны выдерживать рабочее давление среды (жидкости или газа) без утечек и повреждений. Во время испытаний объект заполняется водой или другой жидкостью, после чего создаётся избыточное давление, превышающее рабочее на определённую величину, установленную нормами и стандартами.

Этапы проведения гидравлических испытаний:

а) Подготовка объекта: Объект, подлежащий испытанию, должен быть полностью собран и готов к эксплуатации. Все фланцевые соединения, заглушки и прочие элементы должны быть установлены согласно конструкции.

б) Заполнение объекта: Объект заполняется водой или другой подходящей жидкостью. Важно исключить наличие воздуха в системе, поскольку воздушные пузыри могут привести к неравномерному распределению давления.

					ПГУ ВКР 15.03.01.213М041.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

в) Создание давления: с помощью насоса или компрессора в системе создаётся избыточное давление, которое должно превышать расчётное рабочее давление на 25–50 % в зависимости от норм и правил. Давление поддерживается в течение определённого времени (обычно нескольких минут), чтобы проверить отсутствие утечек и деформаций.

г) Наблюдение и контроль: в ходе испытаний специалисты наблюдают за состоянием сварных швов и всей конструкции. Любые признаки утечки воды, деформации или иных аномалий немедленно фиксируются.

д) Завершение испытаний: после завершения испытания давление сбрасывается, и объект осматривается на предмет повреждений. Если никаких отклонений не обнаружено, объект считается прошедшим испытание.

Преимущества гидравлических испытаний:

а) Надёжность: гидравлические испытания обеспечивают высокую уверенность в герметичности и прочности сварных швов.

б) Простота: метод относительно прост в реализации и не требует сложного оборудования.

в) Безопасность: использование воды минимизирует риск взрыва или пожара, что делает этот метод безопасным для большинства приложений.

Ограничения гидравлических испытаний

г) Время и затраты: заполнение больших объектов водой и создание высокого давления требуют значительных временных и ресурсных затрат.

д) Ограниченная применимость: гидравлические испытания подходят не для всех типов объектов, особенно если среда эксплуатации отличается от воды (например, газы).

Гидравлические проверки будут проводиться для сварных швов №1, №2 и №3 в полном объеме – 100 %.

					ПГУ ВКР 15.03.01.213МО41.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		84

Заключение

В рамках защиты выпускной квалификационной работы была разработана новая методика сборки и сварки корпуса воздухоборника. В процессе выполнения ВКР были успешно выполнены следующие задачи:

- проведены расчет и разработка сварной конструкции;
- создана система для выбора подходящих материалов для основного элемента и для сварки;
- установлены оптимальные параметры сварки, выбраны необходимые сварные машины и оборудование;

					ПГУ ВКР 15.03.01.213МО41.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85

- разработана пошаговая инструкция по сборке и сварке корпуса;
- введены механизмы контроля качества сварных соединений.

Новая технологическая схема, разработанная в ходе выпускной квалификационной работы, включает производство корпуса подогревателя с использованием инновационных сварных технологий, современных автоматизированных систем и оборудования. Сварка корпусов выполняется строго в соответствии с государственными стандартами и действующими нормативными документами. Внедрение инновационных подходов и технологических новшеств в процесс сборки и сварки корпуса подогревателя привело к значительному улучшению качества продукции, ее повышению конкурентоспособности на рынке. Помимо этого, инновации позволили уменьшить затраты на производство, материалоемкость и трудоемкость в процессе изготовления корпуса воздухооборника.

Список используемых источников

1. **Акулов, А.И. Технология и оборудование сварки плавлением** [Текст]: учеб. для вузов / А.И. Акулов, Г.А. Бельчук, В.П. Демянцевич. – М.: Машиностроение, 1977. – 432 с.
2. **Сварка и резка в промышленном строительстве** [Текст]: справочник строителя в 2-х т. / Б.Д. Малышев [и др.]. – М.: Стройиздат, 1989. – 590 с.
3. **Блинов, А.Н. Сварные конструкции** [Текст]: учеб. для техникумов / А.Н. Блинов, К.В. Лялин. – М.: Стройиздат. – 1990. – 353 с.

					ПГУ ВКР 15 03 01 213М041 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		86

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. **Установка для сборки цилиндрических конструкций из обечаек** [Текст]: пат. 46215 Рос. Федерация: МПК Россия, B23K37/04 RU C1. Общество с ограниченной ответственностью производственная фирма «Ливам» (RU).24.05.2019.

6. **Установка для сварки кольцевых стыков оболочек** [Текст]: пат. 2374053 Рос. Федерация: МПК Россия, B23K9/16, B23K35/20, B23K35/36 кобе сейко се (кобе стил, лтд.) (JP) 03.05.2015.

7. **Роликовый стенд для совмещения обечайки с обечайкой и обечайки с днищем** [Текст]: пат.2541215 Рос.Федерация: МПК Россия, B23K9/10 (2006.01)B23K 9/16 (2006.01)RU 2465998 Велтек АС (NO) 12.07.2012.

8. **Роликовый стенд для сборки под сварку обечаек цилиндрического корпуса друг с другом и обечайки цилиндрического корпуса с днищем** [Текст]: пат. 2609600 Рос. Федерация: МПК Россия, RU2541215C1, B23Q3/152, B23Q3/06, B23Q7/05, B23K37/04, B23K101/12. Открытое акционерное общество «Татнефть» им. В.Д. Шашина, Россия, 2013143488/02, 02.10.2015

9. **Корпуса цилиндрические стальных сварных сосудов и аппаратов. Типы, основные параметры и размеры** [Текст]: ГОСТ 9931–85. – Введ. 1987–01–01. – М.: Издательство стандартов, 1988. – I, 25 с.: ил.

10. **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.

					ПГУ ВКР 15 03 01 213МО41 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

11. **Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия.** [Текст]: ГОСТ 34347-2017– Введ. 2017–01–01. – М.: Издательство стандартов, 2017. – I, 25 с.: ил.

12. **Аппараты колонные. Технические требования официальное издание** [Текст]: ГОСТ 31838-2012. – Введ. – 2014-01-01. – М.: Стандартиформ, 2012. – 12 с.: ил.

13. **Контроль неразрушающий. Цветной метод контроля сварных соединений, наплавленного и основного металла** [Текст]: ГОСТ 26-5-99. – Введ. – 2002-04-02. – М.: Стандартиформ, 2002. – 80 с.: ил.

14. **Методические указания к расчету цилиндрических обечаек стальных сварных сосудов и аппаратов для студентов специальности 7.090220** [Текст]: Сост. А.И. Барвин, И.М. Генкина, В.В. Иванченко, В.Г. Табунщиков, Ю.Н. Штонда. – Северодонецк, СТИ, 2002. – 83 с.

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 листовой горячекатаный. Сортамент производства** [Текст]: ГОСТ 19903–2015. – Введ. 2016–09–01. – М.: Стандартиформ, 2016. – 9 с.: ил.

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

18. **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.

19. **Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и наружном давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер** [Текст]: ГОСТ 34233.3-2017.–Введ.2018–02–13.–М.: Стандартиформ, 2018. – 80 с.: ил.

					ПГУ ВКР 15 03 01 213М041 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		88

20. Альбом типовых конструкций. штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных. Типы, основные параметры, размеры и общие технические требования. [Текст]: АТК 24.218.06-90

21. 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.

22. Проектирование элементов конструкции и технологии сварки газового баллона ГБ-140-10-Ф1. Методические указания. Пенза. – Введ. 2019 – II, 60 с.: ил.

23. Сварные соединения приварки люков, штуцеров и муфт. основные типы, конструктивные типы и размеры. РД 26-18-8-89. Введ. 1990-01-07. – М.: Министерство тяжелого машиностроения СССР, 1990. – 49 с

24. Сварка сосудов, аппаратов и трубопроводов из углеродистых и низколегированных сталей [Текст]: СТО 00220368-012-2008. – Введ. 2009-01-01. – Волгоград: ОАО «ВНИИПТхимнефтеаппаратуры», 2008. – 50 с.

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

26. Флюсы сварочные плавные для автоматической сварки. Технические условия [Текст]: ГОСТ Р 52222-2004. – Введ. 2005-01-01. – М.: Госстандарт, 2004. – 15 с.

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

28. Инженерно-технологические основы подготовки сварочного производства [Текст]: 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.

					ПГУ ВКР 15.03.01.213М041.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		89

29. **Контроль неразрушающий. Визуальный контроль соединений, выполненных сваркой плавлением ГОСТ Р ИСО 17637-2014 [Текст]:** – Введ.2014–02–13.–М.: Стандартиформ, 2014. – 80 с.: ил.

30. **Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые [Текст]:** ГОСТ Р 55724-2013 – Введ. 1967–01–01. – М.: Стандартиформ, 2005. – 83 с. 38.

31. **Швы стыковых, угловых и тавровых сварных соединений сосудов и аппаратов, работающих под давлением. Методика ультразвукового контроля [Текст]:** СТО 00220256–005–2005. – Введ. 2006–06–01. – М.: ОАО «НИИХИММАШ», 2006. – 113 с.

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

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

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

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

36. **Сосуды и аппараты, работающие под давлением. Правила и нормы безопасности при проведении гидравлических испытаний на прочность и герметичность [Текст]:** РД 24.200.11–90. – Введ. 1997–01–07. – М.: Министерство тяжелого машиностроения СССР, 1990. – 49 с.

					ПГУ ВКР 15 03 01 213МО41 098П	Лист
						90
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

37. Сварка, пайка высоко и низкотемпературная резка. Перечень и условные номера процессов [Текст]: ГОСТ Р ИСО 4063 – 2025. – Введ. 2025–04–01. – М.: СРО Ассоциация «НАКС», 2025. – 20 с. 13.

					ПГУ ВКР 15 03 01 213МО41 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		91

Приложение А

Карты технологического процесса сварки

					ПГУ ВКР 15 03 01 213МО41 098П	Лист
						92
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ

СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ № 1

Таблица 1 – Характеристики процесса

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ 34347–2017
2	Способ сварки	АФф
3	Основной материал (марки)	16ГС
4	Основной материал (группа)	1 (МО1)
5	Сварочные материалы	Сварочная проволока Св-10ГА по ГОСТ 2246–70 Флюс АН-348 по ГОСТ 9087–81
6	Толщина свариваемых деталей	6,0 мм
7	Длина деталей в зоне сварки	3600,0 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

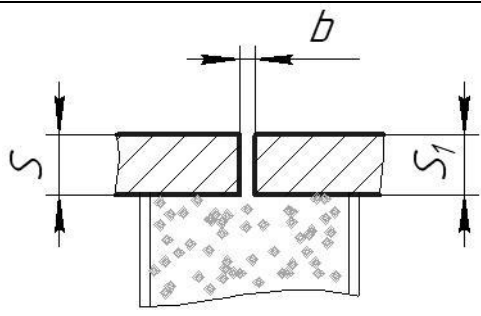
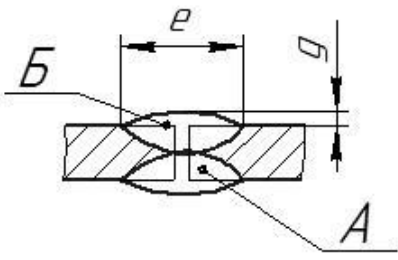
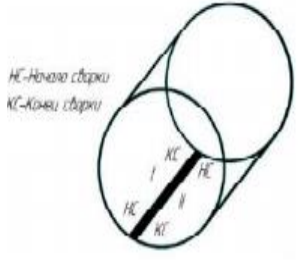
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

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

Параметр	$S=S1$	N	b	e	g
Значение	6,0	2	1,0...3,0	не более 19,0	0,5...3,0

16. Сварочное оборудование (тип): АЗ совместно с А10. Универсальный сварочный выпрямитель – NB-630HD; сварочный трактор – INMIG.

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 электронной проволоки м/ч
Шов № 1	2,0	по	400,0... 500,0	33,0... 37,0	18,0... 27,0	24,0... 25,0	70...80
Шов № 2	2,0	по	400,0... 500,0	33,0... 37,0	18,0... 27,0	24,0... 25,0	70...80

18. Технологические требования к сварке:

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

18.2. Собрать и прихватить. Прихватки выполняет аттестованный сварщик.

18.2.1 Прихватки выполняются механизированной сваркой в среде защитных газов. Сварочные материалы: Св-08Г2С по ГОСТ 2246–70, защитный газ – двуокись углерода по ГОСТ 8050–85. Режимы сварки: диаметр сварочной проволоки 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 213МО41 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		95

Таблица 5 – Требования к контролю качества

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

Разработал: _____ / Серов/

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ № 2

Таблица 1 – Характеристики процесса

№ п\п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ 34347–2017
2	Способ сварки	АФф
3	Основной материал (марки)	16ГС
4	Основной материал (группа)	1 (МО1)
5	Сварочные материалы	Сварочная проволока Св-10ГА по ГОСТ 2246–70 Флюс АН-348 по ГОСТ 9087–81
6	Толщина свариваемых деталей	6,0 мм
7	Длина деталей в зоне сварки	4424,0 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

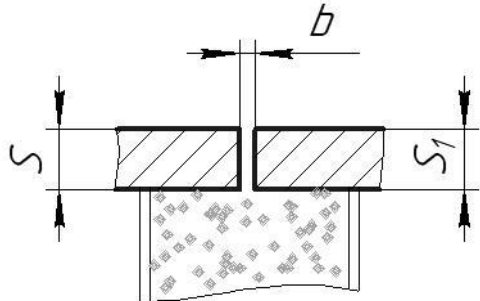
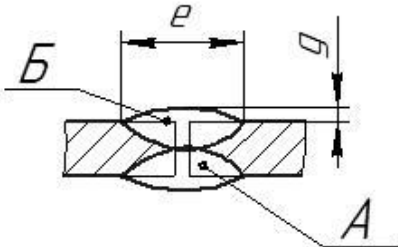
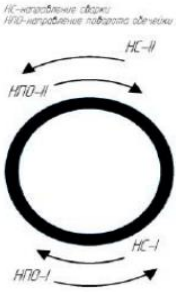
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

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

Параметр	$S=S1$	N	b	e	g
Значение	6,0	2	1,0...3,0	не более 19,0	0,5...3,0

16. Сварочное оборудование (тип): АЗ совместно с А10. Универсальный сварочный выпрямитель – NB-630HD; сварочный трактор – INMIG.

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 электронной проволоки м/ч
Шов № 1	2,0	по	400,0... 500,0	33,0... 37,0	18,0... 27,0	24,0... 25,0	105...110
Шов № 2	2,0	по	400,0... 500,0	33,0... 37,0	18,0... 27,0	24,0... 25,0	70...80

18. Технологические требования к сварке:

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

18.2. Собрать и прихватить. Прихватки выполняет аттестованный сварщик.

18.2.1 Прихватки выполняются механизированной сваркой в среде защитных газов. Сварочные материалы: Св-08Г2С по ГОСТ 2246–70, защитный газ – двуокись углерода по ГОСТ 8050–85. Режимы сварки: диаметр сварочной проволоки 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 15.03.01.213М041.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		99

Таблица 5 – Требования к контролю качества

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

Разработал: _____ / Серов/

					ПГУ ВКР 15.03.01.213МО41.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		100

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ № 3

Таблица 1 – Характеристики процесса

№ п\п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ 34347–2017
2	Способ сварки	УП
3	Основной материал (марки)	16ГС
4	Основной материал (группа)	1 (МО1)
5	Сварочные материалы	Сварочная проволока Св-08Г2С по ГОСТ 2246–70 Двуокись углерода по ГОСТ 8050–85
6	Толщина свариваемых деталей	6,0 мм
7	Длина деталей в зоне сварки	329,12 мм
8	Тип шва	УШ
9	Тип соединения	У19 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

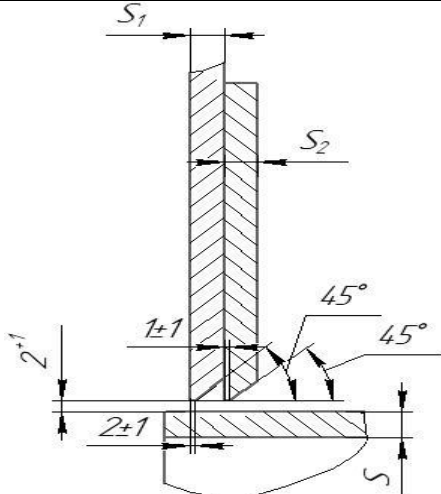
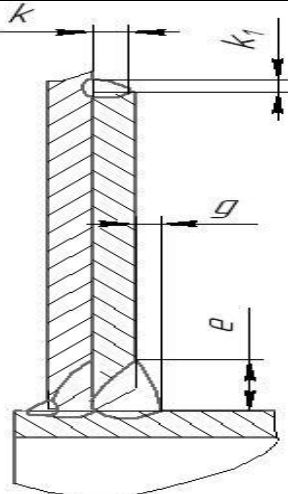
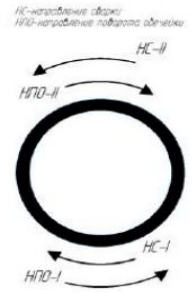
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

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

Параметр	S	S_1	S_2	N	b	e	g	k
Значение	6,0	6,0	6,0	2	1	16	4	6

16. Сварочное оборудование (тип): А8. Сварочный полуавтомат – Кетрри FASTMIG M 520

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	1,6	по	180,0...	27,0...	10,0...	25,0...	105,0...

№ 1			220,0	29,0	15,0	30,0	110,0
Шов № 2	1,6	по	180,0... 220,0	27,0... 29,0	10,0... 15,0	25,0... 30,0	70,0... 80,0

18. Технологические требования к сварке:

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

18.2. Собрать и прихватить. Прихватки выполняет аттестованный сварщик.

18.2.1 Прихватки выполняются механизированной сваркой в среде защитных газов. Сварочные материалы: Св-08Г2С по ГОСТ 2246–70, защитный газ – двуокись углерода по ГОСТ 8050–85. Режимы сварки: диаметр сварочной проволоки 1,6 мм; постоянный ток обратной полярности; сварочный ток 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 и брызги.

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 15.03.01.213М041.098П		Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			103

Таблица 5 – Требования к контролю качества

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

Разработал: _____ / Серов/

					ПГУ ВКР 15 03 01 213МО41 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		104

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ № 4

Таблица 1 – Характеристики процесса

№ п\п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ 34347–2017
2	Способ сварки	УП
3	Основной материал (марки)	16ГС
4	Основной материал (группа)	1 (МО1)
5	Сварочные материалы	Сварочная проволока Св-08Г2С по ГОСТ 2246–70 Двуокись углерода по ГОСТ 8050–85
6	Толщина свариваемых деталей	10,0 мм
7	Длина деталей в зоне сварки	400,0 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

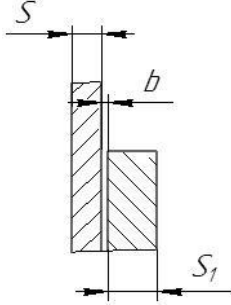
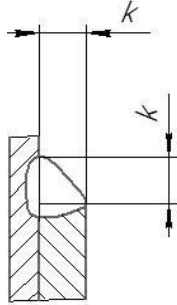
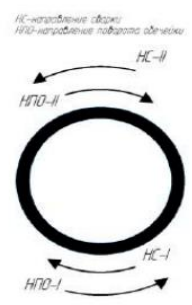
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

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

Параметр	S	S_1	N	b	k
Значение	6,0	10,0	2	1	10

16. Сварочное оборудование (тип): А8. Сварочный полуавтомат – Kemppi FASTMIG M 520

17. Технологические параметры сварки:

Таблица 4 – Технологические параметры сварки

Номер слоя (валика)	Диаметр сварочной проволоки, мм	Род тока, полярность	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Величина вылета проволоки, мм	Скорость подачи сварочной проволоки, м/ч
Шов № 1	1,6	по	180,0... 220,0	27,0... 29,0	8,0... 15,0	25,0... 30,0	110,0... 120,0
Шов № 2	1,6	по	180,0... 220,0	27,0... 29,0	8,0... 15,0	25,0... 30,0	70,0... 80,0

18. Технологические требования к сварке:

					ПГУ ВКР 15.03.01.213М041.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		106

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

18.2. Собрать и прихватить. Прихватки выполняет аттестованный сварщик.

18.2.1 Прихватки выполняются механизированной сваркой в среде защитных газов. Сварочные материалы: Св-08Г2С по ГОСТ 2246–70, защитный газ – двуокись углерода по ГОСТ 8050–85. Режимы сварки: диаметр сварочной проволоки 1,6 мм; постоянный ток обратной полярности; сварочный ток 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 и брызги.

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.

Таблица 5 – Требования к контролю качества

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

дефектоскопия			
---------------	--	--	--

Разработал: _____ /Серов/

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ № 5

Таблица 1 – Характеристики процесса

№ п\п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ 34347–2017
2	Способ сварки	УП
3	Основной материал (марки)	16ГС
4	Основной материал (группа)	1 (МО1)
5	Сварочные материалы	Сварочная проволока Св-08Г2С по ГОСТ 2246–70 Двуокись углерода по ГОСТ 8050–85
6	Толщина свариваемых деталей	10,0 мм
7	Длина деталей в зоне сварки	720,0 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

					ПГУ ВКР 15 03 01 213МО41 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		108

Таблица 2 – Конструкция соединения, конструктивные элементы шва

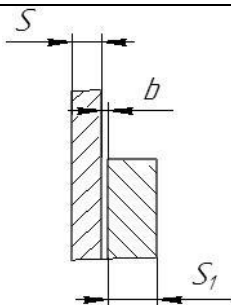
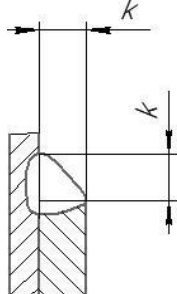
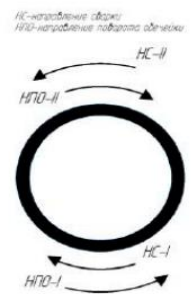
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

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

Параметр	S	S_1	N	b	k
Значение	6,0	10,0	2	1	10

16. Сварочное оборудование (тип): А8. Сварочный полуавтомат – Kemppi FASTMIG M 520

17. Технологические параметры сварки:

Таблица 4 – Технологические параметры сварки

Номер слоя (валика)	Диаметр сварочной проволоки, мм	Род тока, полярность	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Величина вылета проволоки, мм	Скорость подачи сварочной проволоки, м/ч
Шов № 1	1,6	по	180,0... 220,0	27,0... 29,0	8,0... 15,0	25,0... 30,0	110,0... 120,0
Шов	1,6	по	180,0...	27,0...	8,0...	25,0...	70,0...

№ 2			220,0	29,0	15,0	30,0	80,0
-----	--	--	-------	------	------	------	------

18. Технологические требования к сварке:

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

18.2. Собрать и прихватить. Прихватки выполняет аттестованный сварщик.

18.2.1 Прихватки выполняются механизированной сваркой в среде защитных газов. Сварочные материалы: Св-08Г2С по ГОСТ 2246–70, защитный газ – двуокись углерода по ГОСТ 8050–85. Режимы сварки: диаметр сварочной проволоки 1,6 мм; постоянный ток обратной полярности; сварочный ток 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 и брызги.

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.

Таблица 5 – Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный	ГОСТ ИСО17637-2014	ГОСТ ИСО17637-2014	100 %

					ПГУ ВКР 15.03.01.213М041.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		110

Измерительный	ГОСТ 3242-79	ГОСТ 34347-2017	100 %
Цветная дефектоскопия	ГОСТ 18442-80	ГОСТ 18442-80	100 %

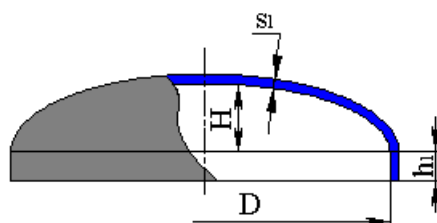
Разработал: _____ /Серов/

Приложение Б

Расчеты в программе Пассат

					ПГУ ВКР 15 03 01 213МО41 098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		111

Расчет эллиптического днища на прочность и устойчивость в программе ПАССАТ



Исходные данные

Материал:	16ГС ГОСТ 19281-2014
Внутр. диаметр, D:	1400 мм
Толщина стенки днища, s_1 :	6 мм Прибавка для компенсации коррозии и эрозии,
c_1 :	2 мм Прибавка для компенсации минусового
допуска, c_2 : 0,8 мм Прибавка технологическая, c_3 :	0 мм Суммарная прибавка к толщине стенки, c : 2,8
мм Высота днища, H:	350 мм
Длина отбортовки, h_1 :	25 мм
Коэффициент прочности сварного шва:	$\varphi = 1$

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётная температура, T:	60	°C
Расчётное внутреннее избыточное давление, p:	0,675	МПа

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.2-2017

Допускаемые напряжения:

					Лист
					112
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

ПГУ ВКР 15 03 01 213МО41 098П

Допускаемые напряжения для материала 16ГС ГОСТ 19281-2014 при температуре $T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$[\sigma] = 171,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 16ГС ГОСТ 19281-2014 при температуре $T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E = 1,95 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Днища, нагруженные внутренним избыточным давлением.

Радиус кривизны в вершине днища:

$$R = \frac{D^2}{4 \cdot H} = 1400^2 / (4 \cdot 350) = 1400 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0,5 \cdot p} + c = (0,675 \cdot 1400) / (2 \cdot 171,5 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,675) + 2,8 = 5,558 \text{ мм}$$

$$5,558 \text{ мм} \leq 8 \text{ мм}$$

Заключение: Условие работоспособности выполнено.

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (s_1 - c)}{R + 0,5 \cdot (s_1 - c)} = 2 \cdot 171,5 \cdot 1 \cdot (6 - 2,8) / (1400 + 0,5 \cdot (6 - 2,8)) = 1,272 \text{ МПа}$$

$$1,272 \text{ МПа} \geq 0,675 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено.

Расчет давления испытаний

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

$$P_{\text{пр}} = 1,25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} - p_H = 1,25 \cdot 0,675 \cdot 183 / 171,5 - 0,04355 = 0,8568 \text{ МПа}$$

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, T : 20 $^{\circ}\text{C}$

Расчётное внутреннее избыточное давление, p : 0,9186 МПа

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.2-2017

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

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

$$1,35 \cdot P_{\text{расч}} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 0,675 \cdot 183 / 171,5 = 0,9724 \text{ МПа} \geq 0,9186 \text{ МПа}$$

Допускаемые напряжения:

					ПГУ ВКР 15.03.01.213М041.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		113

Допускаемые напряжения для материала 16ГС ГОСТ 19281-2014 при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (условия гидротестирования):

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

Модуль продольной упругости для материала 16ГС ГОСТ 19281-2014 при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$:

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

Днища, нагруженные внутренним избыточным давлением.

Радиус кривизны в вершине днища:

$$R = \frac{D^2}{4 \cdot H} = 1400^2 / (4 \cdot 350) = 1400 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0,5 \cdot p} + c = (0,9186 \cdot 1400) / (2 \cdot 254,5 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,9186) + 2,8 = 5,328 \text{ мм}$$

$$5,328 \text{ мм} \leq 8 \text{ мм}$$

Заключение: Условие работоспособности выполнено.

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (s_1 - c)}{R + 0,5 \cdot (s_1 - c)} = 2 \cdot 254,5 \cdot 1 \cdot (6 - 2,8) / (1400 + 0,5 \cdot (6 - 2,8)) = 1,887 \text{ МПа}$$

$$1,887 \text{ МПа} \geq 0,9186 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено.

					ПГУ ВКР 15.03.01.213М041.098П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		114

Приложение В

Графическая часть

					<i>ПГУ ВКР 15.03.01.213МО41.098П</i>	<i>Лист</i>
						<i>115</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		