

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

Факультет
машиностроения и транспорта
(наименование)

Кафедра
Сварочное, литейное производство
и материаловедение
(наименование)

Направление подготовки

15.03.01 «Машиностроение»
(код и наименование)

Профиль

«Оборудование и технология
сварочного производства»
(наименование)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему

«Разработка технологии сборки и сварки корпуса топливной
цистерны РГС-5 из стали 09Г2С»

Студент

Шох 16.06.18г.
(подпись, дата)

Шохин Сергей Сергеевич (ф.и.о.
полностью)

Научный руководитель
к.т.н., доцент

Прыщак
(подпись, дата)

Прыщак А.В.
(фамилия, инициалы)

Нормоконтролёр
к.т.н., доцент

Хорин
(подпись, дата)

Хорин А.В.
(фамилия, инициалы)

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

Заведующий кафедрой

Логинов 15.06.18
(подпись, дата)

Логинов О.Н.
(фамилия, инициалы)

Работа защищена с отметкой хорошо (протокол заседания ГЭК от 18 июля 18. № 13)

Секретарь ГЭК
к.т.н., доцент

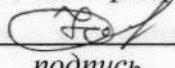
Гуськов 18.06.2018г.
(подпись, дата)

Гуськов М.С.
(фамилия, инициалы)

Пенза 2018

ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФАКУЛЬТЕТ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ТРАНСПОРТА
КАФЕДРА «СВАРОЧНОЕ, ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО И
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

«Утверждаю»

Заведующий кафедрой СЛПиМ
к.т.н., доцент  О.Н. Логинов
подпись

« 08 » 12 2017 г.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу

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

Шохин Сергей Сергеевич.

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

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

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

Тема работы: Разработка технологии сборки и сварки корпуса топливной цистерны РГС-5 из стали 09Г2С.

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

Техническое задание на работу (серийность выпуска изделия, назначение изделия, технология сборки и сварки): Разработать технологию сборки и сварки корпуса топливной цистерны РГС-5 с учетом мелкосерийного производства.

- производство: мелкосерийное;
- Топливная цистерна РГС-5 предназначена для приемки, хранения и передачи нефтепродуктов.

Объём и содержание основной части работы

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

- введение с обоснованием актуальности темы исследования, установления объекта и предмета, постановкой цели и задач исследования;
- заключение – выводы и обоснования по теме работы и полученным результатам.

Графическая часть бакалаврской работы (перечень и содержание плакатов)

- | | |
|--|--------|
| - общий вид цистерны РГС-5 | 1л А1; |
| - технологические параметры режимов сварки | 1л А1; |
| - схема сборки и сварки цистерны | 1л А1; |
| - контроль сварных соединений и КСС | 1л А1; |
| - технологическая оснастка | 1л А1; |
| - расчет элемента конструкции | 1л А1; |

Рекомендуемая литература:

1. **Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия.**
[Текст]: ГОСТ Р 52630-2012. – Введ. 2012.11.29. – М.: Стандартинформ, 2013. – IV – 82 с.: ил.

2. **Корпусы цилиндрические стальных сварных сосудов и аппаратов. Типы, основные параметры и размеры.** [Текст]: ГОСТ 9931-85. – Введ. 1987.01.01. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 22 с.: ил.

Дата выдачи задания: 08.12.2017 г.

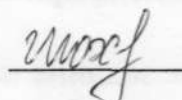
Руководитель ВКР:

к.т.н., доцент

 А.В. Прыщак

Задание к исполнению принял студент

гр. 14МО1

 С.С. Шохин

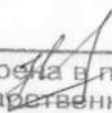
08 декабря 2017 г.

Выпускную квалификационную работу к защите допустить

Декан факультета машиностроения и транспорта

Политехнического института ПГУ

 С.Ю. Киреев


ОПОП освоена в полном объеме.
К государственной итоговой
аттестации допустить

Аннотация

Выпускная квалификационная работа содержит 73 с., 21 рис., 22 табл., 35 использованных источника, 3 прил. Графическая часть из 6 листов формата А1.

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ РЕЗЕРВУАР, РАСЧЕТ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СБОРКА, КОНТРОЛЬ, РЕЖИМЫ.

Объектом разработки является сварная конструкция корпуса топливной цистерны РГС-5 из стали 09Г2С.

Предметом исследования является процесса сборки и сварки корпуса топливной цистерны РГС-5 из стали 09Г2С.

Цель работы: разработка технологии сборки и сварки корпуса топливной цистерны РГС-5 из стали 09Г2С в соответствии с НТД.

Задачи выпускной квалификационной работы:

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

В работе был проанализирован базовый вариант и разработана усовершенствованная технология сборки и сварки корпуса топливной цистерны путем замены ручной дуговой сварки на более производительную автоматическую сварку плавящимся электродом в среде углекислого газа.

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

Разработанная технология может применяться для изготовления элементов конструкции топливной цистерны из стали 09Г2С.

					<i>ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ</i>		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Разработка технологии сборки и сварки корпуса топливной цистерны РГС-5 из стали 09Г2С		
Разраб.		Шохин С.С.	<i>[Подпись]</i>	16.06.16			
Провер.		Прыщак А.В.	<i>[Подпись]</i>	16.06.16			
Н. Контр.		Харин А.В.	<i>[Подпись]</i>	16.06.16			
Утверд.		Логинов О.Н.	<i>[Подпись]</i>	16.06.16			
					Лит	Лист	Листов
						2	73
					Каф. «С/П/М», гр.14М01		

Содержание

Введение	4
1 Анализ объекта производства	6
1.1 Служебное назначение и описание конструкции изделия	6
1.2 Технические требования	8
1.3 Литературно-патентный обзор	9
2 Проектирование и расчет элементов конструкции изделия	14
2.1 Выбор материала изделия	14
2.2 Оценка свариваемости основных материалов конструкции	16
2.3 Расчет внутреннего давления – расчетного и пробного	17
2.4 Расчет толщины стенки корпуса горизонтального резервуара	20
2.5 Расчет сварных соединений на прочность	24
3 Разработка технологии сборки и сварки изделия	32
3.1 Разработка схемы технологического процесса изготовления	32
3.2 Заготовительные операции	33
3.3 Выбор и обоснование способов сборки и сварки изделия	37
3.4 Выбор сварочных материалов	38
3.5 Расчет параметров режимов сварки	42
3.6 Выбор сварочного оборудования	52
4 Контроль качества сварных соединений.....	56
4.1 Визуально-измерительный контроль	56
4.2 Механические испытания	57
4.3 Ультразвуковой контроль	62
4.4 Капиллярный метод контроля	65
4.5 Гидравлические испытания.....	66
5 Выбор средств технологического оснащения	68
Заключение	70
Список используемых источников.....	71
Приложение А	

Приложение Б.....	85
Приложение В	94

					ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ	Лист
						3
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Введение

Сварка имеет применение в промышленности, как при изготовлении новых изделий, так и при ремонтных работах.

Сварка наряду с литьем, обработкой металлов давлением, резанием является основным технологическим процессом изготовления различных металлических конструкций и изделий.

Сварные конструкции имеют особенности, которые могут отрицательно влиять на их прочность и надежность. Основными из них являются:

- повышенная чувствительность к концентраторам напряжений и к хрупким разрушениям;
- изменение исходных свойств основного материала в зоне сварного шва;
- остаточные деформации и напряжения.

Влияние этих факторов можно исключить выбором схемы конструкции, правильным выбором основного и сварочного материалов, назначением оптимальной технологии заготовительных, сборочных и сварочных операций.

Основные требования к сварным конструкциям.

Главное требование – это соответствие эксплуатационному назначению.

Конструкции должны быть прочными, жесткими и надежными, а также экономичными и минимально трудоемкими при изготовлении и монтаже.

Каждая конструкция проходит три этапа: проектирование, изготовление и сборка или монтаж.

Проектирование начинается с вариантов компоновки возможных схем конструкции и заканчивается методами изготовления, сборки или монтажа.

Конструкция должна обладать устойчивостью, долговечностью, надежностью по показателям наработки; ремонтпригодностью и технологичностью изготовления.

На этапе проектирования решают следующие вопросы: варианты изготовления, способы сварки, качество и точность заготовок и конструкции в

					ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ	Лист
						4
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

целом, возможность применения механизации сварочных процессов, технологическая простота деталей, заготовок с возможностью применения более производительных процессов изготовления, например, резка на ножницах, пробивка, вырубка на прессах производительней газовой и плазменной резки.

На этом этапе выполняется проработка чертежей всех деталей и заготовок, определяются требования к ним и к конструкции в целом.

При проектировании также решается вопрос выбора материалов по марке и экономичности профилей, с учетом имеющихся типовых схем и конструктивных элементов. Конструктивно предусматривается минимальное воздействие от деформаций при сварке путем применения наименьшего количества сварных швов (в том числе в одном месте), максимальное использование сварки в нижнем положении при минимуме кантовок. Решаются вопросы сборки, монтажа готовой конструкции.

Мелкие или самостоятельные сварные конструкции называются сварными узлами. Сварной узел – это часть конструкции (необязательно сварной), представляющей собой соединение двух или нескольких деталей при помощи сварки. Резервуары – наземные строительные сооружения, предназначенные для приема, хранения, измерения объема и выдачи жидкости. Резервуары делятся на три основных типа: цилиндрические, сферические и каплевидные. Цилиндрические резервуары в свою очередь разделяются на два типа: вертикальные и горизонтальные.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 Анализ объекта производства

1.1 Служебное назначение и описание конструкции изделия

Подлежащий проектированию корпус горизонтального одностенного наземного резервуара для хранения нефтепродуктов – РГС-5, объемом 5 м³ предназначен для приема, хранения, выдачи нефтепродуктов под давлением 0,07 МПа, температура эксплуатации от минус 40 до плюс 45 °С. Для надежной и безопасной эксплуатации сосуд укомплектовывается технологическим оборудованием (уровнемеры, сигнализаторы, манометры, клапана и т.д.), так как хранимые нефтепродукты при контакте с воздухом образует взрывоопасные смеси и имеет температуру самовоспламенения выше 250 °С, относится ко третьему классу опасности по ГОСТ 12.1.007-76 [1], по ГОСТ 19433-88 [2] нефть относится к легковоспламеняющимся жидкостям 3-го класса; категория взрывоопасности и группа взрывоопасных смесей паров нефти с воздухом – ПА-Т3 по ГОСТ Р 51330.11-99 [3]; группа сосуда 1б по ГОСТ 52630-2012 [4].

Эксплуатация сосуда для хранения нефтепродуктов производится в условиях умеренной влажности. Таким образом, внешняя среда слабоагрессивная, рабочая среда является слабоагрессивной.

Согласно ГОСТ 9931-85 [5] геометрические параметры для корпуса сосуда объемом 5 м³ представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1 - Основные геометрические параметры корпуса сосуда

Параметры	<i>D</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>l</i> , мм	<i>S</i> , м ²
Значения	1600,0	2764,0	2400,0	15,7

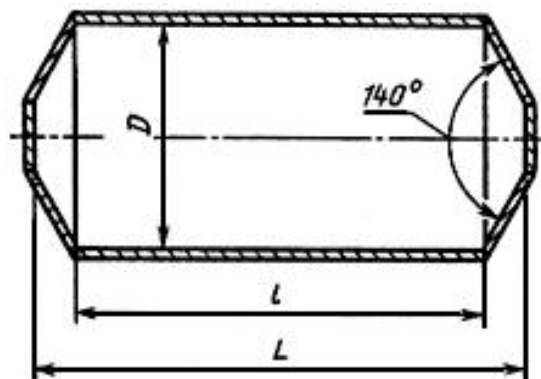


Рисунок 1 - Основные геометрические параметры корпуса сосуда:
 D – диаметр обечайки, L – общая длина корпуса, l – длина обечайки

Схема днищ и геометрические параметры согласно ГОСТ 12621-78 [6] приведены на рисунке 2 и в таблице 2.

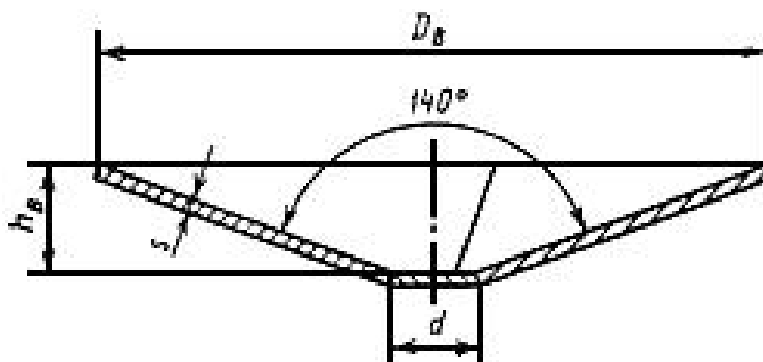


Рисунок 2 - Обозначение геометрических параметров днищ на чертеже:
 $D_{в}$ – внешний диаметр днища, $h_{в}$ – высота днища, d – диаметра днища при вершине, s – толщина стенки днища

Таблица 2 – Основные геометрические параметры конических неотбортованных днищ с углом $\alpha=140^\circ$

Параметры	$D_{в}$, мм	$h_{в}$, мм	d , мм	s , мм	F , м ²	V , м ³	m , кг
Значения	1600,0	182,0	600,0	8,0	1,84	0,18	133,5

1.2 Технические требования

Согласно ГОСТ 52630-2012 [4] конструкция сосуда должна соответствовать требованиям и обеспечивать высокий технологический уровень и безопасность сборки и эксплуатации, на протяжении всего срока службы.

Срок службы – 20 лет.

Количество циклов нагружения за весь срок службы – 1000.

Общие технические требования люков стальных сварных сосудов представлены в ОСТ 26-2011-83 [7].

Загрузочный люк горизонтального сосуда проектируются по ОСТ 26-2004-83 [8].

Штуцера проектируются в соответствии с параметрами из АТК 24.218.06-90 [9].

Для погрузки, разгрузки и транспортировки сосуд должен быть оборудован строповыми устройствами, указанными в ГОСТ 14115-85 [10].

Все поверхности аппарата не должны иметь деформации после производства – царапины или раковины, и т.д. Поверхности деталей должны быть очищены от появившихся дефектов в ходе сварки и удовлетворять следующим требованиям ГОСТ 52630-2012 [4] [раздел 6.2]:

Предельно допустимые отклонения размеров и форм днищ указаны в ГОСТ 52630-2012 [4] [раздел 6.3.3]:

- так как сосуд эксплуатируется на открытом пространстве, то диаметр люков должен быть более 450 мм;
- все отверстия для люков должны быть размещены вне сварных швов;
- устройства, располагающиеся внутри сосуда (тарелки, змеевики и т.д.), и при этом затрудняющие осмотр и ремонт должны быть съемными;
- приваренные устройства должны иметь такую конструкцию, которая обеспечит удаление воздуха и слив содержимого сосуда при гидравлическом испытании;

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

На сосуде должна быть установлена табличка в соответствии с ГОСТ 12971-67 [11] и содержать следующие данные:

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

1.3 Литературно - патентный обзор

В данной выпускной квалификационной работе рассматривается технологический процесс сборки и сварки в заводских условиях элементов конструкции топливной цистерны наземного типа РГС-5.

Патентное исследование проводится в следующем порядке:

- разрабатывается регламент поиска;
- обосновывается индекс международной патентной классификации (МПК);
- систематизируется и анализируется отобранная информация;
- обобщаются результаты, разрабатываются рекомендации;
- составляется отчёт.

Целью данного патентного исследования является исследование технического уровня и тенденции развития оборудования для сборки и сварки элементов конструкции топливной цистерны наземного типа РГС-5.

Регламент поиска состоит из определения вида поиска, его глубины или ретроспективности (количества лет), также в регламент поиска указывается перечень стран, ограничивающих объём поиска, выбираются источники информации, по которым будет вестись поиск аналогов объекта, а также индекс МПК.

При проведении патентного исследования пользуются патентной, научно технической информацией, техническими журналами. Правильность выбора источников информации обеспечивает качество и достоверность.

Дата составления регламента: 15.05.18.

Объект поиска: способ изготовления корпуса горизонтального резервуара.

Начало поиска: 22.05.18.

Завершение поиска: 29.05.18.

Страны поиска: Россия.

Ретроспективность: 30 лет.

Основные элементы регламента приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Регламент поиска

Предмет поиска	Индекс МПК	Широта поиска	Глубина поиска	Источник информации
1	2	3	4	5
Способ сборки и сварки резервуаров из обечаек с боковинами и стенд для его осуществления	B23K37/00	СССР	30 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС.

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5
Стенд для сборки под сварку	B23K37/04	СССР	30 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС.
Способ механизированной сварки плавящимся электродом в среде защитных газов	B23K9/16	Россия	30 лет	Реестр изобретений Российской Федерации.

Индекс МПК состоит из раздела, класса, подкласса, группы и подгруппы.

Определение индекса МПК начинается с раздела. Раздел обозначается заглавной буквой латинского алфавита от *A* до *H*, каждый раздел имеет своё название. Раздел *B* – различные технические процессы, транспортирование.

Каждый раздел делится на классы. Класса состоит из индекса раздела и числа. Заголовок класса отражает его содержание. Класс *B23* – металлорежущие станки, способы и устройства для обработки металлов, не отнесенные к другим рубрикам.

Каждый класс содержит от одного и более подклассов. Подкласс состоит из индекса класса и заглавной буквы алфавита. Заголовок подкласса с наибольшей точностью определяет содержание подкласса. Подкласс *B23K* – пайка или распаивание, сварка, плакирование или нанесение покрытий пайкой или сваркой, резка путем местного нагрева, газопламенная резка, обработка металла лазерным лучом.

Каждый подкласс делится на группы и подгруппы. Группа состоит из индекса подкласса и двух чисел разделённых наклонной чертой. Текст основной

группы определяет область техники, которая наиболее подходит для проведения поиска. Подгруппа образует рубрики, текст подгруппы наиболее точно определяет область, в которой считается наиболее целесообразно проведение поиска.

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

- B23K37/00 – способ сборки и сварки резервуаров из обечаек с боковинами и стенд для его осуществления;
- B23K37/04 – стенд для сборки под сварку;
- B23K9/16 – способ механизированной сварки плавящимся электродом в среде защитных газов.

Для проведения дальнейшего анализа были отобраны описания изобретений, представляющих собой способы сборки и сварки цилиндрических сосудов. Результаты проведённого поиска отображены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты поиска патентной информации

Предмет поиска (объект исследования, его составные части)	Страна выдачи, вид и номер охранного документа. Классификационный МПК	Заявитель (патентообладатель), страна, номер заявки, дата приоритета, дата публикации	Название изобретения (полной модели, образца)
1	2	3	4
Технология сборки и сварки цилиндрической обечайки	Россия, RU1030132A, B23K37/04	Ганин Ю. П., Казин М. А., Лапшин Г. А., Ткаченко А. Н., Россия, 3330940/25-27, Приоритеты 14.08.2013г 23.07.2015г	Стенд для сборки и сварки продольного стыка обечайки

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4
Технология сборки емкостного оборудования	Россия, RU1454630A1, B23K37/04	Иванов А. И., Марченко В. Б., Гавва В. Н., Задорожный В. А., Домио А. А., Коцюбинский В. В., Костин В. М., Россия, 4290100/31-27, Приоритеты 27.07.2011г 30.01.2013г	Полуавтоматическая установка для сборки и сварки цилиндрической обечайки с днищем
Технология сборки емкостного оборудования	Россия, RU2374053C2, B23K31/02 B23K37/053 B23K101/12	Двуреченский А. Г., Варавин И. И., Котов А. Н., Россия, 2007121422/02, Приоритеты 07.06.2014г 27.11.2016г	Установка для сварки кольцевых стыков оболочек

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

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

2 Проектирование и расчет элементов конструкции изделия

2.1 Выбор материала изделия

Материалы, используемые для изготовления горизонтальных сосудов предназначенных для хранения нефтепродуктов, должны удовлетворять требованиям государственных стандартов, и обеспечивать их надежную работу в течение заданного срока службы с учетом заданных технических условий и условий эксплуатации, а также окружающей среды.

Согласно ГОСТ 52630-2012 [4] для сосудов, эксплуатируемых на открытом воздухе, температуру стенки сосуда принимают равной абсолютной минимальной температуре района эксплуатации, согласно СП 131.13330.2012 [12] минимальной температурой в Приволжском Федеральном округе является минус 43°C.

Так же по ГОСТ 52630-2012 [4] запрещается использовать в качестве основного материала кипящие-углеродистые стали для пожаро-взрывоопасных веществ, к которым относятся нефтепродукты.

Исходя из предъявленных требований, осуществляем подбор материала по ГОСТ 5520-79 [13]. Так как данная сварная конструкция работает под давлением, рабочая среда является слабоагрессивной, а диапазон температур находится от минус 43 до плюс 45 °C, то для данной сварной конструкции выбираем низколегированную сталь 09Г2С. Данная сталь имеет хорошую стойкость к температурным воздействиям, высокую механическую прочность что очень важно для сосуда, работающего под давлением. Главная особенность этой марки стали –качественная свариваемость, обеспечивающая при этом низкую концентрацию углерода и не делая метал хрупким. Химический состав стали представлен в таблице 5, механические свойства в таблице 6.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ	Лист
						14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 5 - Химический состав стали 09Г2С в процентах

Химический элемент	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As
Содержание, %	до 0,12	0,5... 0,8	1,3... 1,7	до 0,3	до 0,04	до 0,035	до 0,3	до 0,008	до 0,3	до 0,08

Таблица 6 - Механические свойства стали 09Г2С при T=20°C

Параме- тры	Толщина листа, мм	Предел текучести $\sigma_{\text{т}}$, МПа	Предел прочност и $\sigma_{\text{в}}$, МПа	Относительное удлинение, δ_5 , %	Ударная вязкость КСУ, Дж/см ² при температуре °С		
					+ 20	- 40	- 70
		Не менее					
Значен- ия	≤ 5	345	490	21	-	-	-
	5...10	345	490	—	64	39	34
	10...20	325	470	—	59	34	29
	20...32	305	460	—	59	34	29

Для седловых опор (подвижных и не подвижных) выбирается сталь СтЗсп. Данная сталь является основным материалом для изготовления несущих элементов сварных конструкций. Химический состав представлен в таблице 7, механические свойства в таблице 8.

Таблица 7 – Химический состав стали СтЗсп в процентах

Химический элемент	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As
Содержание, %	0,14... 0,22	0,15... 0,3	0,4... 0,65	до 0,3	до 0,05	до 0,04	до 0,3	до 0,008	до 0,3	до 0,08

Таблица 8 – Механические свойства при T=20°C ГОСТ 380-2005 [14]

Сортамент	σ_B (МПа)	σ_T (МПа)	δ_5 (%)	KCU
Прокат, ГОСТ 535-2005 [14]	379...490	205...255	23	-
Лист толстый, ГОСТ 14637-89 [15]	370...380	205...245	23	-
Катанка, ГОСТ 30136-95 [16]	490...540	300	31	-

2.2 Оценка свариваемости основных материалов конструкции

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

Для точного определения свариваемости стали рассчитывается углеродистый эквивалент.

Углеродистый эквивалент подразделяет сталь на 4 группы по свариваемости.

- 1) $C_{\text{ЭКВ}} \leq 0,25\%$ - хорошая свариваемость.
- 2) $C_{\text{ЭКВ}} 0,25\% \dots 0,35\%$ - удовлетворительная свариваемость.
- 3) $C_{\text{ЭКВ}} 0,35\% \dots 0,45\%$ - ограниченная свариваемость.
- 4) $C_{\text{ЭКВ}} \geq 0,45\%$ - трудно свариваемая сталь.

Углеродистый эквивалент определяется согласно ГОСТ 19281-2014 [15]:

$$C_{\text{ЭКВ}} = C + \frac{Si}{25} + \frac{Mn+Cu}{16} + \frac{Cr}{20} + \frac{Ni}{20} + \frac{Mo}{40} + \frac{V}{15}, \quad (2.1)$$

где C, Si, Mn, Cu, Cr, Ni, Mo, V – содержание химических элементов, %.

Подставляем значения из таблицы 5 в формулу 2.1:

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

$C_{\text{ЭКВ}}$ стали 09Г2С находится в интервале до 0,25%, подтверждая, что сталь имеет качественную и хорошую свариваемость. Даная сталь устойчива к перегреву и образованию трещин, благодаря пониженному содержанию углерода в ее составе. Сталь не требует дополнительного подогрева и термической обработки перед сваркой, при сваривании толстых листов рекомендуется использовать многослойную сварку.

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

Для стали СтЗсп углеродистый эквивалент определяется на основе значений таблицы 7 по формуле (2.1):

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

Данная сталь имеет удовлетворительную свариваемость, что не создаст проблем при сварном соединении опор из данной стали с корпусом обечайки из стали 09Г2С.

2.3 Расчёт внутреннего давления – расчётного и пробного

Допускаемые напряжения для низколегированных и углеродистых сталей определяют согласно ГОСТ Р 52857.1-2007 [17]. Для стали 09Г2С при расчетной температуре $t_{\text{рас}}$ равной 45°C, значение допускаемых напряжений будет определяться методом интерполяции по формуле [17]:

$$[\sigma] = \sigma_{20} + \frac{[\sigma]_{100} - [\sigma]_{20}}{t_2 - t_1} \cdot (t - t_1), \quad (2.3)$$

где $[\sigma]_{100}$ – допускаемое напряжение для материала сосуда при температуре 100 °C, МПа;

					ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ	Лист
						17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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

При $[\sigma]_{100} = 177$ МПа, $[\sigma]_{20} = 196$ МПа.

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

Рабочее давление – это максимальное давление внутри или снаружи аппарата, во время рабочего процесса. В рабочем давлении не учитывается гидростатическое давление и повышение давления при работе предохранительного клапана. Согласно первому разделу, $P_{\text{раб}}$ равен 0.07 МПа.

Расчетное давление – давление, используемое в расчете на прочность. Определяется по формуле [17] с учетом гидростатического давления, так как нефтепродукты являются жидкостью.

$$P = \begin{cases} P_p + P_r & \text{при } P_r \geq 0,05 \cdot P_{\text{раб}} \\ P_p & \text{при } P_r < 0,05 \cdot P_{\text{раб}} \end{cases} \quad (2.4)$$

где P_p – кратковременное давление при срабатывании предохранительного клапана;

P_r – гидростатическое давление.

Условие выбора расчетной формулы в зависимости от значения P_p [17]:

$$P_p = 0,9 \cdot P_k \text{ при } P_{\text{раб}} \leq 6,0 \text{ МПа, при } P_{\text{раб}} \geq 6,0 \text{ МПа} - P_p = P_{\text{раб}} \quad (2.5)$$

P_r - гидростатическое давление, определяемое по формуле [17]:

$$P_r = \rho_c \cdot H_c \cdot 10^{-6} \cdot g, \quad (2.6)$$

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

g – ускорение свободного падения, м/с²;

H_c – высота среды в аппарате, м.

Принимаем $\rho_c = 880,0$ кг/м³; $g = 9,8$ м/с²; $H_c = 1,6$ м.

$$P_r = 880 \cdot 1,6 \cdot 10^{-6} \cdot 9,8 = 0,0138 \text{ МПа}$$

Так как $P_r > 0,05 \cdot 0,07 = 0,0035$, то расчет проводим по формуле (2.4):

$$P = P_p + P_r.$$

Так как $P_{\text{раб}} \leq 6,0$ МПа, то расчет выполняется по формуле (2.5):

$$P = 0.9 \cdot P_k + P_r,$$

где P_k – давление при работе предохранительного клапана. Определяется по формуле [17]:

$$P_k = 1,15 \cdot P_{\text{раб}} = 1,15 \cdot 0,07 = 0,0805 \text{ МПа} \quad (2.7)$$

Тогда, $P = 0,9 \cdot 0,805 + 0,0138 = 0,0863 \text{ МПа}$.

Расчетное давление округляем в большую сторону до величины $P=0,09 \text{ МПа}$.

$P_{\text{пр}}$ – давление внутри аппарата при гидравлическом испытании на прочность конструкции и ее герметичность. Согласно ГОСТ Р 52630-2012 [4] определяют по формуле [4]:

$$P_{\text{пр}} = 1,25 \times P \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}, \quad (2.8)$$

где P – расчетное давление сосуда, МПа;

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

Для стали 09Г2С допускаемое напряжение $[\sigma]_{20}=196 \text{ МПа}$. Для расчетной температуры $[\sigma]=190 \text{ МПа}$.

Следовательно, пробное давление равно:

$$P_{\text{пр}} = 1,25 \cdot 0,09 \cdot 1,03 = 0,116 \text{ МПа} \quad (2.8)$$

Гидростатическое давление в условиях гидравлического испытания $P_{\text{и}}$ определяется по формуле [4], с учетом гидростатического давления воды, плотность которой составляет $\rho_v=1000 \text{ кг/м}^3$.

Принимаем $\rho_c = 1000,0 \text{ кг/м}^3$; $q = 9,81 \text{ м/с}$; $H_c = 1,6 \text{ м}$.

$$P_{\text{воды}} = 1000 \cdot 9,8 \cdot 1,6 \cdot 10^{-6} = 0.0157 \text{ МПа} \quad (2.9)$$

$$P_{\text{пр}}=P_{\text{и}}= 0,116 \text{ МПа}$$

где $P_{\text{и}}$ – избыточное давление.

Проверка необходимости дополнительного расчета на прочность в режиме гидравлического испытания определяется по формуле [4].

$$P_n \leq 1,35 \cdot P \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}, \quad (2.10)$$

$$0,116 \leq 0,125$$

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

2.4 Расчёт толщины стенки корпуса горизонтального резервуара

Толщина стенок определяется согласно ГОСТ Р 52857.2-2007 [17]. Рассчитывается по формуле [17]:

$$S_p = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - P}, \quad (2.11)$$

где S_p – толщина стенки корпуса, мм;

P – расчетное внутреннее избыточное давление, МПа;

D – внутренний диаметр обечайки, мм;

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

φ_p – коэффициент прочности продольных сварных швов.

Принимаем $P=0,09$ МПа, $D=1600$ мм, $[\sigma]=190$ МПа, $\varphi_p=1$.

Тогда,

$$S_p = \frac{0,09 \cdot 1600}{2 \cdot 190 \cdot 1 - 0,09} = 0.379 \text{ мм} \quad (2.11)$$

Исполнительную толщину стенки определяют по формуле [17]:

$$S \geq S_p + C, \quad (2.12)$$

где C – прибавка к расчетным толщинам.

C определяется по формуле [17]:

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \quad (2.13)$$

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

C_2 – прибавка для компенсации минусового допуска, мм;

C_3 – прибавка технологическая, мм.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

C_1 определяется по формуле [17]:

$$C_1 = P \cdot \tau + C_э, \quad (2.14)$$

где P – скорость проникновения коррозии;

τ – срок службы аппарата, лет;

$C_э$ – прибавка для компенсации эрозии, мм.

Принимаем $P=0,1$ мм/год; $\tau=20$ лет.

Вычисляем исполнительную толщину без прибавки для компенсации минусового допуска по формуле (2.12):

$$C_1 = 0,1 \cdot 20 = 2 \text{ мм} \quad (2.14)$$

$$S_p + C_1 = 0,379 + 2 = 2,379 \text{ мм} \quad (2.12)$$

$$4 \geq 2,379 \text{ мм}$$

Прибавка для компенсации минусового допуска C_2 учитывается в том случае, когда её значение превышает 5% от номинальной толщины листа согласно ГОСТ 14249–89 [19].

Прибавку C_2 принимают согласно данным таблицы 3 ГОСТ 19903-2015 [20] в зависимости от толщины листа. Исходя из имеющегося сортамента сортового или фасонного проката, а также для удобства калибровки и сборки конструкции принимаем толщину стенки обечайки 4 мм.

Принимаем $C_1=2$ мм, $C_2=0,5$ мм, $S_p=0,379$ мм.

Вычисляем исполнительную толщину с учетом компенсации минусового допуска C_2 по формуле (2.12):

$$S \geq S_p + C_1 + C_2,$$

$$0,379 + 2 + 0,5 = 2,879 \text{ мм} \quad (2.12)$$

$$4 \geq 2,879$$

Выполняем проверочный расчет для компенсации минусового допуска стального листа толщиной $S = 4$ мм по формуле (2.14):

$$C_2 = 0,5 > 0,05 \times S = 0,05 \times 4 = 0,2 \text{ мм} \quad (2.14)$$

Прибавка составляет более 5% от исполнительной толщины и учитывается согласно условию.

Общая сумма прибавок вычисляется по формуле (2.13):

$$C = C_1 + C_2 = 2 + 0,5 = 2,5 \text{ мм} \quad (2.13)$$

Допускаемое давление рассчитывается по формуле [17]:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S - C)}{D + (S - C)}, \quad (2.15)$$
$$[P] = \frac{2 \cdot 190 \cdot 1 \cdot (4 - 2,5)}{1600 + (4 - 2,5)} = 0,36 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$P < [P],$$
$$0,09 < 0,36 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполняется.

Условие применения расчетных формул согласно ГОСТ Р 52857.1-2007 [17]:

$$\frac{S - C}{D} < 1, \quad (2.16)$$
$$\frac{4 - 2,5}{1600} = 0,0009$$

0,0009 < 1 – условие выполняется

Условия выполняются, следовательно, оставляем заданную толщину стенки S равной 4 мм.

Днища проектируемого аппарата являются коническими неотбортованными с углом при вершине α равный 140° . Основные габаритные размеры принимаются по ГОСТ 12621-78 [6].

Аналогично расчёту стенки цилиндрической обечайки произведём расчёт толщины стенки конических днищ аппарата по ГОСТ 14249–89 [19].

Расчетная толщина стенки днища, определяется по формуле [19]:

$$S_{\text{к.р.}} = \frac{P \cdot D_{\text{к}}}{2 \cdot \varphi_p \cdot [\sigma] - P} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_1}, \quad (2.17)$$

где P – расчетное внутреннее избыточное давление, МПа;

$D_{\text{к}}$ – расчетный диаметр гладкой конической обечайки, мм;

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

α_1 – угол наклона при вершине равный 70° , градусы;

φ_p – коэффициент прочности угловых сварных швов = 0.85 согласно ГОСТ 14249-89 [19].

Диаметр гладкой конической обечайки определяется по формуле [17]:

$$D_k = D - 1.4 \cdot a_1 \cdot \sin \alpha_1, \quad (2.18)$$

где D – диаметр цилиндрической обечайки, мм;

a_1 – длина переходной части днища, в нашем случае равна 0 мм.

Принимаем $D = 1600$ мм, $a_1 = 0$ мм, $\alpha_1 = 70^\circ$.

Тогда,

$$D_k = 1600 - 1.4 \cdot 0 \cdot \sin 70 = 1600 \text{ мм}$$

Получив недостающие данные рассчитываем толщину стенки днища:

$$S_{k.p.} = \frac{0.09 \cdot 1600}{2 \cdot 0.85 \cdot 190 - 0.09} \cdot \frac{1}{\cos 70} = 1.31 \text{ мм}$$

Исполнительную толщину стенки днища резервуара определяем по формуле [19]:

$$S_1 \geq S_{k.p.} + C, \quad (2.19)$$

Тогда,

$$1,31 + 2 = 3,31 \text{ мм}$$

$$S_1 \geq 3,31 \text{ мм}$$

Для выбора толщины стенки днищ, необходимо учесть, что к днищам проектируемой ёмкости необходимо произвести крепление штуцеров при помощи сварки. Таким образом во избежание сварочных деформаций, принятой ранее толщины обечайки, а также исходя из имеющегося листового или фасонного проката, принимаем толщину стенки днищ S равной 8 мм.

Определяем исполнительную толщину стенки с учётом прибавки на минусовой допуск по формуле [19]:

$$S_k \geq S_{k.p.} + C_1 + C_2, \quad (2.20)$$

Принимаем $S_{k.p.} = 1,31$ мм, $C_1 = 2$ мм, $C_2 = 0,8$ мм.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ	Лист
						23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Тогда,

$$S_k \geq 1,31 + 2 + 0,8 = 4,11 \text{ мм}$$

Проверяем необходимость учёта прибавки для компенсации минусового допуска стального листа S равной 8 мм:

$$C_2 > 0,05 \cdot S,$$

$$0,05 \cdot 8 = 0,4 \text{ мм}$$

$$0,8 > 0,4 \text{ мм}$$

Прибавка учитывается, так как составляет более 5% от толщины листа.

Общая сумма прибавок равна:

$$C = C_1 + C_2 = 2 + 0,8 = 2,8 \text{ мм}$$

Допускаемое давление для стенки днища рассчитывается по формуле [17]:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S_k - C)}{\frac{D_k}{\cos \alpha_1} + (S_k - C)}, \quad (2.21)$$

Тогда,

$$[P] = \frac{2 \cdot 190 \cdot 0,85 \cdot (8 - 2,8)}{\frac{1600}{\cos 70} + (8 - 2,8)} = 0,36 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$P < [P],$$

$$0,09 < 0,36 \text{ МПа}$$

Условия прочности выполняются, следовательно, оставляем принятую толщину стенки днища S_k равной 8 мм.

2.5 Расчёт сварных соединений на прочность

Анализируя полученную конструкцию, можно выделить 5 видов сварных соединений: 2 продольных стыковых (формообразующие швы корпуса), 1 кольцевое стыковое (соединение обечаек), 2 нахлесточных (соединение опор), 9 угловых (соединение штуцеров и люков с обечайками и днищами, приварка

					ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ	Лист
						24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

транспортных проушин), 2 тавровых под острым углом (соединение обечайки с днищами).

Произведя анализ соединений ГОСТ 14771-76 [21] можно сказать, что при известной толщине стенки обечайки полное проплавление металла шва обеспечится без разделки кромок деталей соединения. Согласно нормативной документации этому условию соответствуют тип сварного соединения С7, рисунок 3, для выполнения продольных и кольцевого швов обечайки.

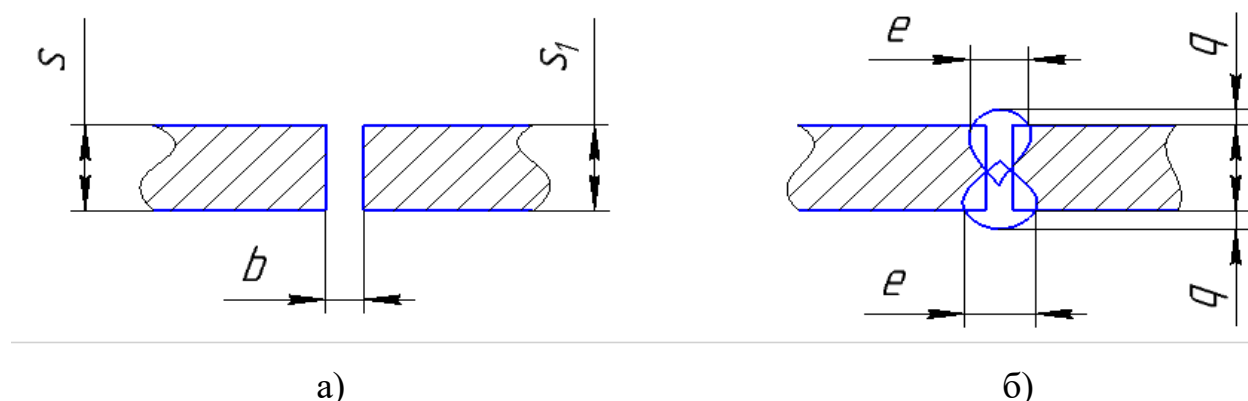


Рисунок 3 – Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения типа С7 ГОСТ 14771-76:

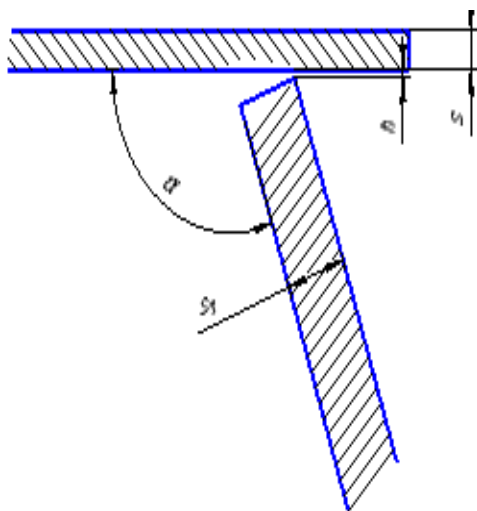
а) – размеры свариваемых деталей, б) – размеры сварного шва

Конструктивные параметры кромок и сварных швов принимаются согласно выполненному ранее расчёту и ГОСТ 14771-76 [21].

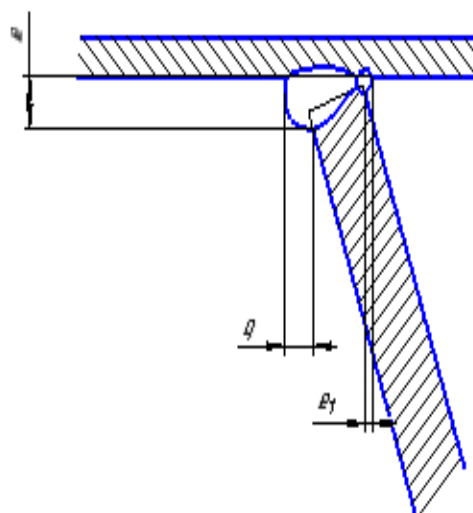
Сварной шов С7 имеет следующие конструктивные параметры: $S = 4$ мм, $S_1 = 4$ мм, $e = 6 \dots 8$ мм, $e_1 = 6 \dots 8$ мм, $q = 0,5 \dots 2,5$ мм, $b = 0 \dots 1$ мм.

Сварные соединения обечайки с коническими неотбортованными днищами выполняются согласно ГОСТ 23518-79 [22]. Учитывая, что необходимо обеспечить полное проплавление шва выбираем соединение типа Т2, рисунок 4.

Сварной шов Т2 имеет следующие конструктивные параметры: $S = 8$ мм, $S_1 = 4$ мм, $e_1 = 5 \dots 7$ мм, $e = 7 \dots 9$ мм, $g = 2 \dots 6$ мм, $\beta = 110^\circ$, $b = 0 \dots 0,5$.



а)

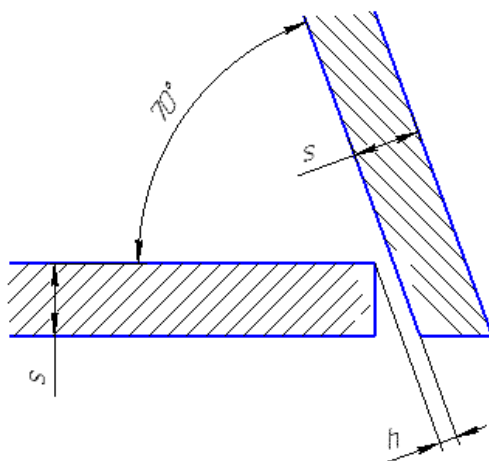


б)

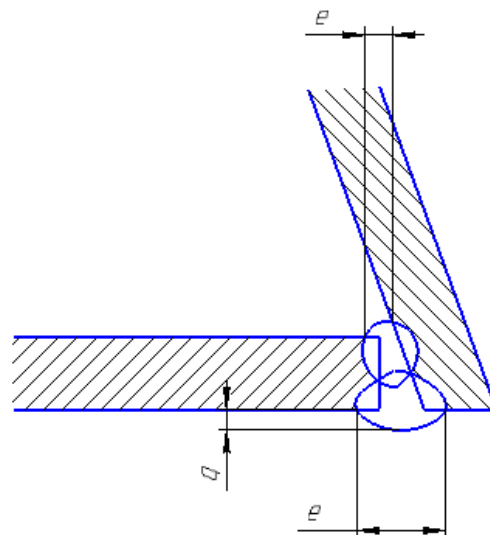
Рисунок 4 - Соединение Т2 без обработки кромок по ГОСТ 23518-79 [22]:

а) – размеры свариваемых деталей, б) – размеры сварного шва

Для приварки штуцеров к днищам аппарата, принимаем в соответствии с ГОСТ 11534-75 [23] угловое соединение типа У3. Конструктивные элементы соединения типа У3 представлены на рисунке 5.



а)



б)

Рисунок 5 – Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения типа У3 ГОСТ 11534-75:

а) – размеры свариваемых деталей, б) – размеры сварного шва

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ

Лист

26

Сварной шов УЗ имеет следующие конструктивные параметры: $S = 8$ мм, $S_1 = 8$ мм, $e_1 = 2 \dots 4$ мм, $e = 7 \dots 9$ мм, $g = 0,5 \dots 2,5$ мм, $\alpha = 20^\circ$, $\beta = 70^\circ$, $b = 1,0 \dots 3,5$.

Для продольного шва обечайки №1 соединения С7 расчет на прочность ведется по формуле [19]:

$$\sigma_{ш} = \frac{N}{F} \leq \frac{R_{H \cdot m}}{\gamma_m \cdot n}, \quad (2.22)$$

где N – растягивающая сила;

F - площадь поперечного сечения шва;

R_H – нормативное сопротивление материала, 355 МПа;

m - коэффициент условий работы, $m = 0,75$;

γ_m - коэффициент безопасности по материалу, $\gamma_m = 1,2$;

n - коэффициент перегрузки, $n=1$.

N определяется по формуле [19]:

$$N = P_{пр} \cdot F, \quad (2.23)$$

где F по геометрическим соображениям равно половине произведения длины обечайки и внутреннему диаметру [19]:

$$\begin{aligned} F &= \pi \cdot D \cdot L_1 \\ F &= 3.14 \cdot 1600 \cdot 1200 = 6028800 \text{ мм}^2 \end{aligned} \quad (2.24)$$

Следовательно, N равно:

$$N = 0.116 \cdot 6028800 = 699340.8 \approx 7 \text{ МПа} \quad (2.23)$$

Определяем прочность данного шва:

$$\begin{aligned} \sigma_{ш} &= \frac{699340.8}{1200 \cdot 4} \leq \frac{355 \cdot 0,75}{1,2 \cdot 1}, \\ 145,7 &\leq 221,84 \text{ МПа} \end{aligned} \quad (2.22)$$

Так как вычисленное значение напряжения в сварном шве, равное 145,7 МПа меньше расчетного значения 221,84 МПа, сварные соединения работоспособны.

Для соединения С7, кольцевого сварного шва №2 соединения обечайк, расчет осуществляется по формуле (2.22):

$$\sigma = \frac{N}{F} \leq [\sigma], \quad (2.22)$$

где N определяется по формуле (2.23):

$$N = P_{\text{пр}} \cdot \Pi \quad (2.23)$$

По геометрическим соображениям, расчетная поверхность Π на которую действует избыточное давление определяется по формуле [19]:

$$\Pi = \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \quad (2.25)$$

$$\Pi = \frac{3,14 \cdot 1600^2}{4} = 2009600 \text{ мм}^2$$

Следовательно, N равно:

$$N = 0,116 \cdot 2009600 = 233113,6 \text{ Н} \approx 233 \text{ кН} \quad (2.23)$$

Площадь поперечного сечения шва F определяется по формуле [19]:

$$F = S \cdot L_{\text{ш}} = S \cdot (\pi D - 10), \quad (2.26)$$

$$F = 4 \cdot (3,14 \cdot 1600 - 10) = 20056 \text{ мм}^2$$

Тогда допускаемое напряжение $[\sigma]$ будет равно:

$$\sigma = \frac{2009600}{20056} = 100,2 \leq 190 \text{ МПа} \quad (2.22)$$

Так как вычисленное значение напряжения в сварном шве, равное 100,2 МПа меньше нормативного значения 190 МПа, сварные соединения работоспособны.

Для соединения Т2 сварного шва №3 соединения обечайки с днищем расчет осуществляется по формуле [19]:

$$\tau = \frac{N}{F} \leq [\tau], \quad (2.27)$$

где τ - напряжение среза в угловом сварном соединении;

N – продольная нагрузка, растягивающая шов;

F – площадь поперечного сечения шва;

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

К данному моменту неизвестными величинами в формуле (2.27) являются параметры N и F , которые при известной геометрии конструкции изделия и сварных соединений и при заданном давлении будут рассчитываться далее. N определяется по формуле (2.23):

$$N = P_{np} \cdot \Pi, \quad (2.23)$$

где F для углового шва рассчитывается по формуле [19]:

$$F = \beta \cdot h_{ш} \cdot L_{ш}, \quad (2.28)$$

где β - коэффициент определения расчетной толщины углового шва;

$h_{ш}$ - толщина углового шва, принимаемая равной катету вписанного в шов равнобедренного прямоугольного треугольника.

В случае двухпроходной механизированной сварки коэффициент определения расчетной толщины углового шва равен β равный 0,85.

Для рассматриваемого углового сварного соединения величина $h_{ш}$ будет определяться по формуле [19]:

$$\begin{aligned} h_{ш} &= e \cdot \cos 45^\circ \\ h_{ш} &= 8 \cdot 0,7071 \approx 5,65 \text{ мм} \end{aligned} \quad (2.29)$$

где $e_{номин.}=8$, предельное отклонение (+1)

Параметр сварного шва e принят как среднее арифметическое от его предельного значения.

Для привариваемого днища длина сварного шва определяется по формуле [19]:

$$L_{ш} = \pi \cdot d_{ш} - 10, \quad (2.30)$$

где $d_{ш}$ - диаметр днища.

$$L_{ш} = 1600 \cdot 3,14 - 10 = 5014 \text{ мм}$$

Допускаемое напряжение при срезе $[\tau]$ рассчитывается по формуле [19]:

$$\begin{aligned} [\tau] &= (0,5 \dots 0,65) \cdot [\sigma], \\ [\tau] &= (0,5 \dots 0,65) \cdot 190 = 95 \dots 123,5 \text{ МПа} \end{aligned} \quad (2.31)$$

Значение W для днища берем из ГОСТ 12621-78 [6] и оно составляет 1840000 мм²:

Тогда:

$$N = 0,116 \cdot 1840000 = 213440 \text{ Н} \quad (2.23)$$

Исходя из этого:

$$\tau = \frac{213440}{0,85 \cdot 5,65 \cdot 5014} = 8,86 \leq 95 \text{ МПа} \quad (2.27)$$

Так как вычисленное значение напряжения на срезе в угловом шве равное 8,86 меньше нормативного 95 МПа сварное соединение работоспособно.

Проверка соединения УЗ сварного шва № 4 проводится по угловым швам, работающим на срез по формуле (3.28):

$$\tau = \frac{N}{F} \leq [\tau], \quad (2.27)$$

где τ - напряжение при срезе в угловом сварном соединении;

N – продольная нагрузка, растягивающая шов;

F – площадь поперечного сечения шва;

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

F для углового шва рассчитывается по формуле (2.28):

$$F = \beta \cdot h_{ш} \cdot L_{ш}, \quad (2.28)$$

где β - коэффициент определения расчетной толщины углового шва;

$h_{ш}$ - толщина углового шва, принимаемая равной катету вписанного в шов равнобедренного прямоугольного треугольника.

В случае двухпроходной ручной дуговой сварки коэффициент определения расчетной толщины углового шва равен β равен 0,7.

Для рассматриваемого углового сварного соединения величина $h_{ш}$ будет определяться по формуле (2.29):

$$\begin{aligned} h_{ш} &= e \cdot \cos 45^\circ \\ h_{ш} &= 8 \cdot 0,7071 \approx 5,65 \text{ мм} \end{aligned} \quad (2.29)$$

где $e_{номин.}=8$, предельное отклонение (+1)

Параметр сварного шва e принят как среднее арифметическое от его предельного значения.

Для привариваемого штуцера длина сварного шва равна:

$$L_{ш} = \pi \cdot d_{ш} - 10, \quad (2.30)$$

где $d_{ш}$ - диаметр штуцера

$$L_{ш} = 80 \cdot 3,14 - 8 = 243,3 \text{ мм}$$

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

$$[\tau] = (0,5 \dots 0,65) \cdot [\sigma], \quad (2.31)$$

$$[\tau] = (0,5 \dots 0,65) \cdot 190 = 95 \dots 123,5 \text{ МПа}$$

Значение Π для штуцера определяем по формуле (2.25):

$$\Pi = \pi \frac{d_{ш}^2}{4} \quad (2.25)$$

$$\Pi = 3,14 \cdot \frac{80^2}{4} = 5024 \text{ мм}^2$$

Тогда:

$$N = 0,116 \cdot 5024 = 582,8 \text{ Н} \quad (2.23)$$

Исходя из этого:

$$\tau = \frac{582,8}{0,7 \cdot 5,65 \cdot 243,3} = 0,6 \leq 95 \text{ МПа} \quad (2.27)$$

Так как вычисленное значение напряжения на срезе в угловом шве равное 0.6 меньше нормативного 95 Н/мм² сварное соединение работоспособно.

Так как при толщине стенки обечайки и днищ S_1 равная 4мм и S_2 равная 8мм, все сварные соединения оказались работоспособны, то принимаем данные геометрические параметры за окончательные.

3 Разработка технологии сборки и сварки изделия

3.1 Разработка схемы технологического процесса изготовления

Под технологическим процессом согласно ГОСТ 3.1109–82 [24] в машиностроении подразумевают часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда.

Технологический процесс может быть отнесен к изделию, его составной части или к методам обработки, формообразования и сборки. К предметам труда относятся заготовки и изделия.

Главная цель проектирования технологического процесса – это разработка такого способа изготовления заданного изделия, который бы являлся наиболее рациональным в техническом и экономическом планах при правильном и полноценном использовании всех технических возможностей оборудования и оснастки на наиболее выгодных режимах, при минимальных затратах времени, рабочей силы, вспомогательных материалов и т.д.

Технологический процесс состоит из целого ряда технологических операций, которые выполняются в строго определенной последовательности. Согласно ГОСТ 3.1109-82 [24] технологической операцией является законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте.

Обеспечение технологичности конструкции изделия регламентируется ГОСТ 14.201-83 [25], данный стандарт устанавливает основные положения, систему показателей, последовательность и содержание работ по обеспечению технологичности.

Технологический процесс производства состоит из следующих этапов:

- заготовительные операции (резка, правка);
- подготовка поверхности;

					ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ	Лист
						32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- сборка;
- механическая доработка;
- контрольные испытания;
- покраска;
- отгрузка.

3.2 Заготовительные операции

Заготовительные операции – это этап технологического процесса изготовления сварных конструкций, для которых используются детали, образованные из заготовок листового проката, труб, профилей, а также отливок, поковок и. т. д.

Заготовительные операции при изготовлении сварных конструкций можно разделить на два основных этапа:

- раскрой полуфабрикатов, что составляет 10 процентов всего объёма заготовительных работ;
- формообразование деталей из полученных заготовок при их раскрое, что составляет 90 процентов всего объёма заготовительных работ. При этом более половины объёма работ связано с формообразованием деталей из листов.

К основным операциям заготовительного процесса относят:

- составление схемы раскроя;
- предварительная правка;
- очистка и подготовка поверхности;
- разметка;
- окончательная правка;
- обработка кромок;
- образование отверстий;

- гибка (вальцовка);
- штамповка;
- маркировка.

Схема раскроя материала составляется из интересов минимального остатка отходов при раскрое листа, рисунок 6.

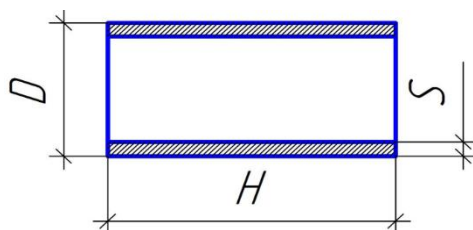


Рисунок 6 – Обечайка. Основные размеры: D – внешний диаметр, S – толщина стенки, H – ширина обечайки

Выбираем заготовку для обечайки по ГОСТ 19903-2015 [20] «Прокат листовой горячекатаный». Выбираем лист (Рисунок 7) со следующими параметрами: $5500 \times 1250 \times 4$ ($D \times Ш \times T$). Рассчитываем длину листа для изделия по формуле [19]:

$$l = \pi(D - S) = 3,14 \cdot (1600 + 4) = 5039 \text{ мм} \quad (3.1)$$

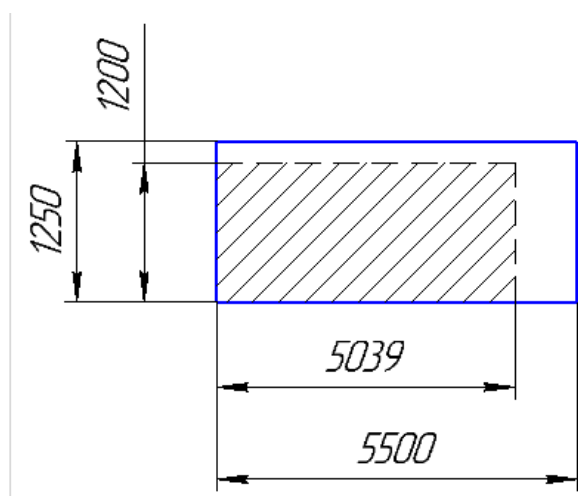


Рисунок 7- Раскрой выбранного для обечайки листа.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ

Лист

34

Выбираем размер листа путем минимальных отходов с помощью коэффициента использования материала ($K_{им}$) по формуле [19]:

$$K_{им} = S_{н} / S_{з}, \quad (3.2)$$

$$K_{им} = (5039 \cdot 1200) / (5500 \cdot 1250) = 0,88$$

С учетом выбора данных размеров листа, рисунок 7, коэффициент использования материала ($K_{им}$) равен 0,88, что является большим предельному значению равному 0,70. Данное значение коэффициента свидетельствует о более технологичном выборе заготовки для изготовления обечайки.

На основании геометрических параметров листового металла, представленного в ГОСТ 19903-2015 [20] «Прокат листовой горячекатаный» для получения требуемых размеров заготовки обечайки выбираем гидравлические гильотинные ножницы *MVD Inan iShear C10* (рисунок 8), характеристики приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Характеристики гидравлических гильотинных ножниц *MVD Inan iShear C10*

Параметры	Значения
Максимальная толщина листа, мм	6,0
Длина реза, мм	6050,0
Ширина стола без дополнительных приспособлений, мм	850,0
Кол-во прижимных цилиндров	26,0
Габаритные размеры станка, мм	7650,0 × 3200,0 × 3000,0
Масса станка, кг	28000,0
Мощность двигателя, кВт	17,0



Рисунок 8 – Гидравлические гильотинные ножницы *MVD Inan iShear C10*

Исходя из геометрических параметров листового металла для получения цилиндрической заготовки требуемого диаметра выбираем электромеханические промышленные вальцы *Bendmak CY4R-HS-160-21/6.0* рисунок 9, характеристики приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Характеристики электромеханических промышленных вальцов *Bendmak CY4R-HS-160-21/6.0*

Параметры	Значения
Тип привода	Электрический
Рабочая длина, мм	2100,0
Толщина металла, мм	6,0
Толщина для предподгиба, мм	4,0
Скорость вращения, об/мин	6,0
Минимальный диаметр заготовки, мм	240,0
Диаметр валов, мм	160,0/160,0/140,0



Рисунок 9 – Вальцовочный станок *Bendmak CY4R-HS-160-21/6.0*

3.3 Выбор и обоснование способов сборки и сварки изделия

Процесс сварки корпуса аппарата зависит от выбранного способа сварки и должен быть максимально оптимизирован для качественной, технологической сборки, рационального использования ресурсов и фонда времени, отвечать всем требованиям безопасности и условиям охраны труда, обеспечивать комфортные условия труда для персонала.

Сварные части корпуса обечайки и днища соединяются стыковым швом с полным проплавлением, так как аппарат работает под внутренним давлением.

Корпус оснащается дополнительно люками, штуцерами, где используются угловые и тавровые швы, с полным проплавлением.

Запрещено использование сварных швов с неполным проплавлением в аппаратах, работающих под давлением.

В течении процесса сварки и после него должен быть обеспечен свободный доступ к сварным швам и возможность использования вспомогательного оборудования.

Сварные соединения оформляются в соответствии с ГОСТ 14771-76 [21], ГОСТ 23518-79 [22], ГОСТ 11534-75 [23] и ГОСТ 5264–80 [24].

Сборку свариваемых деталей производят по технологическому процессу на стеллажах и сборочных стендах, устанавливая взаимное расположение свариваемых элементов.

Закрепление деталей при сборке конструкции производят прихватками, выполняемыми проволокой и электродами соответствующих марок, предназначенных для сварки данного металла. Непосредственно перед прихваткой проверяется установленный зазор между кромками и их смещение.

Длина прихватки должна составлять $(2...5)S$, и не более 100 мм, расстояние между ними должно быть $(10...40)S$, но не более 500 мм, где S - толщина свариваемого материала.

Сборка корпуса должна осуществляться в следующей последовательности:

- с помощью оборудования выполняется сварка продольных швов обечайки;
- выполняется сварка кольцевого шва обечайки;
- выполняется сварка обечайки с днищами;
- выполняется приварка подкладных листов под опоры к обечайке;
- выполняется приварка люк-лаза и штуцера для слива нефтепродуктов.
- приварка неподвижной опоры выполняется ручной дуговой сваркой на месте установки и последующей эксплуатации.

3.4 Выбор сварочных материалов

При выборе сварочных материалов должны учитываться состав и структура выбранного материала, способы сварки, сварочные материалы должны соответствовать техническим условиям или стандартам на их поставку, что должно быть подкреплено сертификатами.

Перед использованием сварочные материалы должны пройти проверку на соответствие их государственным и отраслевым стандартам.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

Электроды для ручной электродуговой сварки покрытым электродом и присадочная проволока для сварки не плавящимся электродом поступающие на производство должны пройти ряд операций по подготовке их к выполнению сварочных работ. Последовательность операций следующая:

а) Распаковка и складирование электродов и проволоки по маркам, диаметру и партиям на стеллажах.

б) Проверка бирок на мотках проволоки, этикеток на пачках электродов, а также сертификатов на соответствие их требованиям стандартов, паспортов и технических условий.

в) Контроль качества поверхности для электрода – отсутствие трещин, вздуваний, наплывов и откалывания покрытия. Для проволоки – отсутствие на поверхности ржавчины, масла, графитовой смазки.

4) Проверка концентричности покрытия и отсутствие ржавчины на торцах электродов и под покрытием.

г) Испытания сварочно – технических свойств, и выдача электродов и присадочной проволоки сварщикам.

Применять электроды или присадочную проволоку без наличия бирок и этикеток запрещено. Бирка на мотке проволоки не должна сниматься до полного использования проволоки.

Хранятся электроды должны в сухом отапливаемом помещении при температуре не менее 18 °С и относительной влажности воздуха не более 50 процентов. Электроды и проволоку следует хранить отдельно от других материалов.

Подготовка сварочных материалов к сварке, их расход, должны фиксироваться в специальных журналах учёта.

На рабочем месте сварщика электроды необходимо хранить в термошкафу или в специальных термопеналах.

Для механизированной сварки в среде защитных газов присадочную проволоку следует подбирать, руководствуясь выбранным ранее материалом.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ	Лист
						39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Для выбора присадочной проволоки необходимо опираться на ГОСТ 2246-70 [25]. Для сварки проектируемой цистерны необходима проволока для работы с низколегированными сталями. Для проведения сварочных работ данной конструкции, подходит проволока Св-08Г2С, она предназначена для работы с углеродистыми и низкоуглеродистыми сталями. Технология производства проволоки позволяет обеспечить стабильность подачи и минимальное разбрызгивание при сварке. Жесткие ограничения по содержанию примесей в химическом составе проволоки обеспечивают высокие механические и ударные свойства наплавленного металла. Наплавленный металл отличается высокой стойкостью к образованию пор даже в условиях несоблюдения межпроходной температуры при сварке многопроходных швов.

Химический состав проволоки:

- Ni до 0,250%;
- Cr до 0,200%;
- Mn 1,800...2,100%;
- Si 0,700...0,950 %;
- S и P не более 0,025 и 0,030% соответственно;
- C 0,050...0,110 %.

Газом, используемым в качестве защиты сварочной ванны, является углекислый газ. Углекислый газ – это активный газ без цвета с немного кисловатым вкусом и запахом. Активными называют газы, которые являются окислителями по отношению к материалам.

Углекислый газ применяют для сварки углеродистых и низколегированных сталей. Наибольшее применение нашли высший и первый сорта двуокиси углерода. Второй сорт не рекомендуется применять в сварке из-за повышенного разбрызгивания металла, возникающего благодаря высокой влажности газа. Его производят и хранят в газообразном и жидком состоянии. Транспортировка и хранение осуществляется в резервуарах и баллонах. Такие

					ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

баллоны должны быть окрашены в черный цвет и иметь надпись «двуокись» желтого цвета.

Исходя из того, что свариваемая конструкция является ответственным объектом и необходимо обеспечить высокое качество соединений в качестве защитного газа выбираем двуокись углерода высшего сорта.

При выборе электрода для ручной дуговой сварки необходимо опираться на ГОСТ 9466–75 [27], ГОСТ 9467–75 [28].

Марку электрода следует выбирать в зависимости от марки свариваемого материала. При, сварки стали Ст3 следует применять электроды для сварки углеродистых сталей. Для изготовления сосуда принимаем электрод с основным покрытием для высококачественной сварки углеродистых и низколегированных сталей УОНИ 13/55, либо Э50А ГОСТ 9467-75 [28]. Данный электрод обладает высокими прочностными свойствами наплавленного металла, а также способен сохранять эти свойства при температурах до минус 50 °С. Электрод может быть использован для сварки низкокачественных сталей и сталей с высоким содержанием углерода. Электрод применяется при сварке ответственных металлоконструкций, котлов, сосудов высокого давления, используется в судостроении, применяется для нанесения буферных слоев при наплавке износостойких покрытий на стали с высоким содержание углерода. Химический состав наплавленного металла приведён в таблице 12.

Таблица 12 – Химический состав наплавленного металла

Элемент	<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>
Содержание, %	0,07	0,5	1,1

3.5 Расчёт параметров режимов сварки

Расчет производится по учебному пособию «Инженерно-технологические основы подготовки сварочного производства» [29].

Расчет режима сварки для сварного соединения №1.

Исходные данные:

- основной металл – сталь 09Г2С по ГОСТ 5520-79 [13];
 - толщина металла – $S=4$ мм;
 - защитный газ – углекислый газ высшего сорта по ГОСТ 8050-85 [26];
 - сварочная проволока – Св-08ГА по ГОСТ 2246-70 [25];
 - способ сварки – механизированная сварка плавящимся электродом в среде углекислого газа;
 - тип соединения – стыковое;
 - тип шва – стыковой;
 - положение шва – нижнее;
 - тип шва по количеству проходов – двухпроходный двухсторонний;
 - формы и размеры подготовки кромок по ГОСТ 14771-76 [21] соединения
- С7 показаны на рисунке 10.

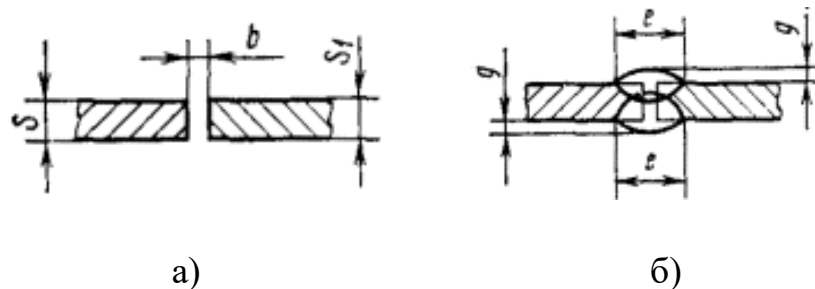


Рисунок 10 – Основные размеры сварного соединения С7:

а) – размеры соединяемых деталей, б) – размеры сварного шва

$$S_1=S=4,0 \text{ mm}, e=8,0\pm 2,0 \text{ mm}, b=0+1,0 \text{ mm}, q=1,5\pm 1,0 \text{ mm}.$$

Устанавливаем требуемую глубину проплавления за один проход h_1 по формуле [29]:

$$h_1 = \frac{s}{2} \pm (2 \dots 3), \quad (3.3)$$

$$h_1 = \frac{4}{2} = 2 \pm (2 \dots 3) \text{ мм}$$

Определяем величину сварочного тока $I_{\text{св}}$ по эмпирической формуле [29]:

$$I_{\text{св}} = (80 \dots 100) \cdot h_1, \quad (3.4)$$

$$I_{\text{св}} = (80 \dots 100) \cdot 2 = 160 \dots 200 \text{ А}$$

Для расчетов принимаем $I_{\text{св}} = 180 \text{ А}$.

Определяем диаметр $d_{\text{эл}}$ электродной проволоки по формуле [29]:

$$d_{\text{эл}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{I_{\text{св}}}{j}}, \quad (3.5)$$

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

j – плотность тока, А/мм².

Допускаемая плотность тока при автоматической сварке зависит от диаметра электрода и определяется по таблице 13.

Таблица 13 – Допустимая плотность тока для электродов.

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

$$d_{\text{эл}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{180}{160}} = 1,1985 \text{ мм}$$

Принимаем $d_{\text{эл}} = 1,2 \text{ мм}$.

Для проволоки $d_{\text{эл}} = 1,2 \text{ мм}$ скорость сварки $V_{\text{св}}$ определяется по формуле [29]:

$$V_{\text{св}} = \frac{(2 \dots 5) \cdot 10^3}{I_{\text{св}}}, \quad (3.6)$$

$$V_{\text{св}} = \frac{(2...5) \cdot 10^3}{180} = (11,1...27,8) \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{\text{св}} = 27 \text{ м/ч} = 0,75 \text{ см/с}$.

Оптимальное напряжение дуги $U_{\text{д}}$ может быть определено по формуле [29]:

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_{\text{эл}}^{0,5}} \cdot I_{\text{св}} \pm 1, \quad (3.7)$$

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,2^{0,5}} \cdot 180 \pm 1 = 27,9 \pm 1 \text{ В}$$

Принимаем $U_{\text{д}} = 27 \text{ В}$.

Коэффициент формы провара $\Psi_{\text{пр}}$ в зависимости от основных параметров режима сварки может быть определен по формуле [29]:

$$\Psi_{\text{пр}} = K^I \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{\text{св}}) \cdot \frac{d_{\text{эл}} \cdot U_{\text{д}}}{I_{\text{св}}}. \quad (3.8)$$

Значение коэффициента K^I определяется по таблице 14 исходя из условий:

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

Таблица 14 - Значение коэффициента K^I

Род тока	Полярность	Плотность тока j , А/мм ²	Величина коэффициента K^I
Переменный	-	меньше 120	1
		больше или равна 120	
Постоянный	Обратная	меньше 120	$0,367 \cdot j^{0,1925}$
	Прямая		$2,820 \cdot j^{0,1925}$
	Обратная	больше или равна 120	0,92
	Прямая		1,12

Тогда,

$$\Psi_{\text{пр}} = 0,92 \cdot (19 - 0,01 \cdot 180) \cdot \frac{1,2 \cdot 27}{180} = 2,86$$

Исходя из того, что $\Psi_{\text{пр}}$, равный 2,86, входит в диапазон значений 0,8...4,0, следовательно принимаем это значение.

Величина погонной энергии ($q_{\text{п}}$) рассчитывается по формуле [29]:

$$q_{\text{п}} = \frac{I_{\text{св}} \cdot U_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{д}}}{V_{\text{св}}}, \quad (3.9)$$

где $\eta_{\text{д}}$ – эффективный КПД дуги, для сварки в защитных газах $\eta_{\text{д}}$ равный 0,7...0,85;

$$q_{\text{п}} = \frac{180 \cdot 27 \cdot 0,8}{0,75} = 5222,4 \text{ Дж/см}$$

Определяем глубину проплавления $h_{\text{ф}}$ по формуле [29]:

$$h_{\text{ф}} = 8,06 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{q_{\text{п}}}{\Psi_{\text{пр}}}}, \quad (3.10)$$

$$h_{\text{ф}} = 8,06 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{5222,4}{2,86}} = 0,34 \text{ см}$$

Определяем ширину шва b по формуле [29]:

$$b = \Psi_{\text{пр}} \cdot h_{\text{ф}}, \quad (3.11)$$

$$b = 2,86 \cdot 3,4 = 9,7 \text{ мм}$$

Определяем высоту валика (c) по формуле [29]:

$$c = \frac{F_{\text{н}}}{0,75 \cdot b} = \frac{\alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{св}}}{3600 \cdot \gamma \cdot V_{\text{св}} \cdot 0,73 \cdot b}, \quad (3.12)$$

где $F_{\text{н}}$ - площадь поперечного сечения наплавленного металла за данный проход, мм²;

0,73 - коэффициент полноты валика при автоматической и полуавтоматической сварке;

γ – плотность стали = 7,8 г/см³;

$\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент наплавки, определяемый по формуле [29]:

$$\alpha_{\text{н}} = \alpha_{\text{р}} \cdot \left(1 - \frac{\Psi}{100}\right), \quad (3.13)$$

где Ψ – потери электродного металла, %. Принимаем $\Psi=10\%$.

$\alpha_{\text{р}}$ – коэффициент расплавления электродной проволоки, определяется по формуле [29]:

$$\alpha_p = (8,3 + 0,22 \cdot \frac{I_{CB}}{d_{эл}}) \cdot 10^{-4}, \quad (3.14)$$

$$\alpha_p = (8,3 + 0,22 \cdot \frac{180}{1,2}) \cdot 10^{-4} = 0,0041 \text{ г/А} \cdot \text{с}$$

Тогда,

$$\alpha_H = 0,0041 \cdot (1 - \frac{10}{100}) = 0,0037 \text{ г/А} \cdot \text{с} = 13,32 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$$

Тогда,

$$c = \frac{13,32 \cdot 180}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,75 \cdot 0,73 \cdot 9,7} = 0,0161 \text{ см}$$

Принимаем $c = 1,6 \text{ мм}$.

Определяем высоту шва H по формуле [29]:

$$H = h_{\phi} + c, \quad (3.15)$$

$$H = 3,4 + 1,6 = 5 \text{ мм}$$

Определяем скорость подачи проволоки по формуле [29].

$$V_{п пр} = \frac{4 \cdot \alpha_H \cdot I_{CB}}{\pi \cdot d_{эл}^2 \cdot \gamma}, \quad (3.16)$$

$$V_{п пр} = \frac{4 \cdot 13,3 \cdot 180}{3,14 \cdot 1,2^2 \cdot 7,8} = 271,5 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{п пр} = 271,5 \text{ м/ч}$.

Основное машинное время $t_{очн}$ рассчитывается по формуле [29]:

$$t_{очн} = \frac{3600 \cdot F_{HM} \cdot l \cdot \gamma}{\alpha_H \cdot I_{CB}}, \quad (3.17)$$

где l - длина шва, см;

γ – удельный вес наплавленного металла, г/см³;

$$t_{очн} = \frac{3600 \cdot 0,114 \cdot 120 \cdot 7,85}{13,3 \cdot 180} = 161,49 \text{ с}$$

Вес сварочной проволоки ($w_э$) определяется по формуле [29]:

$$w_э = (1,7 \dots 1,9) \cdot w_{HM}, \quad (3.18)$$

w_{HM} – вес наплавленного металла, г.

Вес наплавленного w_{HM} металла рассчитывается по формуле [29]:

$$w_{HM} = F_{HM} \cdot l \cdot \gamma, \quad (3.19)$$

где γ – удельный вес наплавленного металла, г/см³;

$$w_{\text{нм}} = 0,114 \cdot 120 \cdot 7,85 = 107,38 \text{ г} \approx 108 \text{ г}$$

Тогда,

$$w_3 = (1,7 \dots 1,9) 108 = 183,6 \dots 205,2 \text{ г}$$

Расчет режима сварки для сварного соединения №2.

Исходные данные:

- основной металл – сталь 09Г2С по ГОСТ 5520-79 [13];
- толщина металла – $S=4$ мм;
- защитный газ – углекислый газ высшего сорта по ГОСТ 8050-85 [26];
- сварочная проволока – Св-08ГА по ГОСТ 2246-70 [25];
- способ сварки – механизированная сварка плавящимся электродом в среде углекислого газа;
- тип соединения – стыковое;
- тип шва – стыковой;
- положение шва – нижнее;
- тип шва по количеству проходов – двухпроходный двухсторонний;
- формы и размеры подготовки кромок по ГОСТ 14771-76 [21] соединение С7 показаны на рисунке 10.

Основные размеры: $S_1=S=4,0$ мм, $e=8,0 \pm 2,0$ мм, $b=0+1,0$ мм, $q=1,5 \pm 1,0$ мм.

Устанавливаем требуемую глубину проплавления за один проход h_1 по формуле (3.3):

$$h_1 = \frac{S}{2} \pm (2 \dots 3), \quad (3.3)$$

$$h_1 = \frac{4}{2} = 2 \pm (2 \dots 3) \text{ мм}$$

Определяем величину сварочного тока $I_{\text{св}}$ по эмпирической формуле (3.4):

$$I_{\text{св}} = (80 \dots 100) \cdot h_1, \quad (3.4)$$

$$I_{\text{св}} = (80 \dots 100) \cdot 2 = 160 \dots 200 \text{ А}$$

					ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ	Лист
						47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Для расчетов принимаем $I_{\text{св}} = 180 \text{ А}$.

Определяем диаметр $d_{\text{эл}}$ электродной проволоки по формуле (3.5):

$$d_{\text{эл}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{I_{\text{св}}}{j}}, \quad (3.5)$$

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

j – плотность тока, А/мм²;

Допускаемая плотность тока при автоматической сварке зависит от диаметра электрода и определяется по таблице 13.

Таблица 13 – Допустимая плотность тока для электродов

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

$$d_{\text{эл}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{180}{160}} = 1,1985 \text{ мм}$$

Принимаем $d_{\text{эл}} = 1,2 \text{ мм}$.

Для проволоки $d_{\text{эл}} = 1,2 \text{ мм}$ скорость сварки $V_{\text{св}}$ определяется по формуле (3.6):

$$V_{\text{св}} = \frac{(2...5) \cdot 10^3}{I_{\text{св}}}, \quad (3.6)$$

$$V_{\text{св}} = \frac{(2...5) \cdot 10^3}{180} = (11,1...27,8) \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{\text{св}} = 27 \text{ м/ч} = 0,75 \text{ см/с}$.

Оптимальное напряжение дуги $U_{\text{д}}$ может быть определено по формуле (3.7):

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_{\text{эл}}^{0,5}} \cdot I_{\text{св}} \pm 1, \quad (3.7)$$

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,2^{0,5}} \cdot 180 \pm 1 = 27,9 \pm 1, \text{ В}$$

Принимаем $U_{\text{д}} = 27 \text{ В}$.

Коэффициент формы провара $\Psi_{\text{пр}}$ в зависимости от основных параметров режима сварки может быть определен по формуле (3.8):

$$\Psi_{\text{пр}} = K^I \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{\text{св}}) \cdot \frac{d_{\text{эл}} \cdot U_{\text{д}}}{I_{\text{св}}}, \quad (3.8)$$

Значение коэффициента K^I определяется по таблице 8 исходя из условий:

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

Тогда,

$$\Psi_{\text{пр}} = 0,92 \cdot (19 - 0,01 \cdot 180) \cdot \frac{1,2 \cdot 27}{180} = 2,86$$

Исходя из того, что $\Psi_{\text{пр}}$ равно 2,86 входит в диапазон значений 0,8...4,0, следовательно принимаем это значение.

Таблица 14 - Значение коэффициента K^I

Род тока	Полярность	Плотность тока j , А/мм ²	Величина коэффициента K^I
Переменный	-	меньше 120	1
		больше или равна 120	
Постоянный	Обратная	меньше 120	$0,367 \cdot j^{0,1925}$
	Прямая		$2,820 \cdot j^{0,1925}$
	Обратная	больше или равна 120	0,92
	Прямая		1,12

Величина погонной энергии $q_{\text{п}}$ рассчитывается по формуле (3.9):

$$q_{\text{п}} = \frac{I_{\text{св}} \cdot U_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{д}}}{V_{\text{св}}}, \quad (3.9)$$

где $\eta_{\text{д}}$ – эффективный КПД дуги, для сварки в защитных газах $\eta_{\text{д}}$ равен 0,7...0,85;

$$q_{\text{п}} = \frac{180 \cdot 27 \cdot 0,8}{0,75} = 5222,4 \text{ Дж/см}$$

Определяем глубину проплавления $h_{\text{ф}}$ по формуле (3.10):

$$h_{\text{ф}} = 8,06 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{q_{\text{п}}}{\Psi_{\text{пр}}}}, \quad (3.10)$$

$$h_{\phi} = 8,06 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{5222,4}{2,86}} = 0,34 \text{ см}$$

Определяем ширину шва b по формуле (3.11):

$$b = \Psi_{\text{пр}} \cdot h_{\phi}, \quad (3.11)$$

$$b = 2,86 \cdot 3,4 = 9,7 \text{ мм}$$

Определяем высоту валика (c) по формуле (3.12):

$$c = \frac{F_H}{0,75 \cdot b} = \frac{\alpha_H \cdot I_{\text{св}}}{3600 \cdot \gamma \cdot V_{\text{св}} \cdot 0,73 \cdot b}, \quad (3.12)$$

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

0,73 - коэффициент полноты валика при автоматической и полуавтоматической сварке;

γ - плотность стали = 7,8 г/см³;

α_H - коэффициент наплавки, определяемый по формуле (3.13).

$$\alpha_H = \alpha_p \cdot \left(1 - \frac{\Psi}{100}\right), \quad (3.13)$$

где Ψ - потери электродного металла, %. Принимаем $\Psi = 10\%$.

α_p - коэффициент расплавления электродной проволоки, определяется по формуле (3.14):

$$\alpha_p = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{I_{\text{св}}}{d_{\text{эл}}}\right) \cdot 10^{-4}, \quad (3.14)$$

$$\alpha_p = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{180}{1,2}\right) \cdot 10^{-4} = 0,0041 \text{ г/А} \cdot \text{с}$$

Тогда,

$$\alpha_H = 0,0041 \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 0,0037 \text{ г/А} \cdot \text{с} = 13,32 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$$

Тогда,

$$c = \frac{13,32 \cdot 180}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,75 \cdot 0,73 \cdot 9,7} = 0,0161 \text{ см}$$

Принимаем $c = 1,6 \text{ мм}$.

Определяем высоту шва H по формуле (3.15):

$$H = h_{\phi} + c, \quad (3.15)$$

$$H = 3,4 + 1,6 = 5 \text{ мм}$$

Определяем скорость подачи проволоки по формуле (3.16):

$$V_{\text{п пр}} = \frac{4 \cdot \alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{св}}}{\pi \cdot d_{\text{эл}}^2 \cdot \gamma}, \quad (3.16)$$

$$V_{\text{п пр}} = \frac{4 \cdot 13,3 \cdot 180}{3,14 \cdot 1,2^2 \cdot 7,8} = 271,5 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{\text{п пр}} = 271,5 \text{ м/ч}$.

Основное машинное время $t_{\text{осн}}$ рассчитывается по формуле (3.17).

$$t_{\text{осн}} = \frac{3600 \cdot F_{\text{нм}} \cdot l \cdot \gamma}{\alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{св}}}, \quad (3.17)$$

где l - длина шва, см;

γ – удельный вес наплавленного металла, г/см³;

$$t_{\text{осн}} = \frac{3600 \cdot 0,114 \cdot 504 \cdot 7,85}{13,3 \cdot 180} = 161,49 \text{ с}$$

Вес сварочной проволоки w_3 определяется по формуле (3.18):

$$w_3 = (1,7 \dots 1,9) \cdot w_{\text{нм}}, \quad (3.18)$$

$w_{\text{нм}}$ – вес наплавленного металла, г.

Вес наплавленного $w_{\text{нм}}$ металла рассчитывается по формуле (3.19):

$$w_{\text{нм}} = F_{\text{нм}} \cdot l \cdot \gamma, \quad (3.19)$$

γ – удельный вес наплавленного металла, г/см³;

$$w_{\text{нм}} = 0,114 \cdot 504 \cdot 7,85 = 107,38 \text{ г} \approx 108 \text{ г}$$

Тогда,

$$w_3 = (1,7 \dots 1,9) 108 = 183,6 \dots 205,2 \text{ г}$$

3.6 Выбор сварочного оборудования

В рамках выпускной квалификационной работы для осуществления автоматической дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитного газа применяем универсальный автомат для дуговой сварки и наплавки АДФГ – 630 (рисунок 12). Рабочие характеристики приведены в таблице 15.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ	Лист
						51
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Рисунок 12 – Универсальный автомат для дуговой сварки и наплавки
АДФГ – 630

Универсальный сварочный автомат АДФГ-630 предназначен для автоматической однослойной, многослойной сварки и наплавки электродной проволокой в среде защитных газов, а также под слоем флюса изделий из малоуглеродистых и низколегированных сталей на постоянном токе.

АДФГ-630 используется при сварке стыковых, угловых и нахлесточных соединений (с разделкой и без разделки кромок), внутри и вне колеи автомата, прямым и наклонным электродом, а также при сварке угловых соединений «в лодочку». Сварочные швы могут быть прямолинейными и кольцевыми.

Автомат оснащен пультом дистанционного управления. Также в зависимости от типа швов, пространственного положения сварки автомат может быть укомплектован дополнительным оборудованием.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ

Лист

52

Таблица 15 – Рабочие характеристики универсального автомата АДФГ – 630

Параметры	Значения
Напряжение питающей сети, при частоте 50 Гц, В	3×380,0
Номинальный сварочный ток, А	630,0
Диаметр электродной проволоки, мм	1,2...1,4
Пределы регулирования подачи электродной проволоки, м/ч	120,0...720,0
Пределы регулирования скорости сварки, м/ч	12,0...120,0
Угол поворота сварочной головки относительно вертикальной оси, град.	- 90,0...+90,0
Угол поворота сварочной головки вокруг горизонтальной оси, град.	- 45,0...+45,0
Угол наклона токоподвода относительно вертикальной оси, град.	- 15,0...+15,0
Максимальный боковой наклон трактора, град.	45,0
Межосевое расстояние колес, мм	240,0
Колесная колея, мм	182,0
Вместимость кассеты для сварочной проволоки, кг	15,0
Масса трактора без проволоки, кг	32,0
Габаритные размеры, мм	680,0×385,0×630,0

Для ручной дуговой сварки плавящимся электродом принимаем инверторный сварочный аппарат *BLUE WELD MEGAMIG 580*, представлен на рисунке 13. Рабочие характеристики приведены в таблице 16.



Рисунок 13 – Инверторный сварочный аппарат
BLUE WELD MEGAMIG 580

Таблица 16 – Рабочие характеристики сварочного аппарата *BLUE WELD MEGAMIG 580*

Параметры	Значения
Напряжение сети, В	3x380,0
Мощность при нагрузке 60%/max, кВт	17,0 / 27,0
Сварочный ток, А	60,0...550,0
Сварочный ток ПВ %/max (DC), А	35,0...550,0
Сварочный ток ПВ 60%, А	420,0
Сварочный ток ПВ 100%, А	320,0
Диаметр проволоки, мм	0,8...2,4 (0,8...1,6 Al)
Габаритные размеры аппарата, мм	1020,0x570,0x1380,0
Вес, кг	185,0

Помимо источника питания для осуществления сварки в защитных газах, необходимо дополнительного оборудования без которого сварочный процесс невозможен. Схема оборудования представлена на рисунке 14.

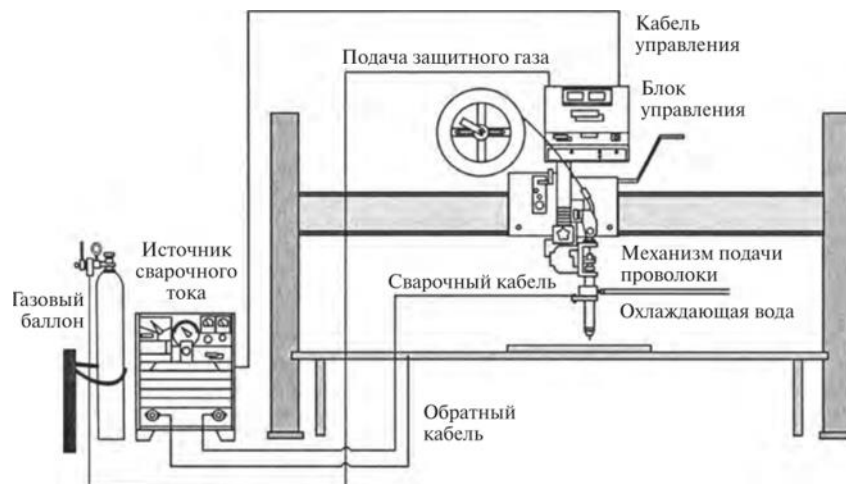


Рисунок 14 – Схема автоматической сварки в среде защитного газа

Горелки для сварки плавящимся электродом в среде защитных газов предусмотрены самых разных моделей, в зависимости от максимально требуемого тока, а также от условий её применения. Размеры горелок влияют на то как она будет нагреваться и охлаждаться при сварке.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ

Лист

55

4. Контроль качества сварных соединений

Контроль качества сварных соединений подразумевает проверку условий и порядок выполнения сварочных работ, а также контроль качества выполнения сварных соединений в соответствии с техническими требованиями.

В процессе образования сварного соединения в металле шва в зоне термического влияния могут возникать дефекты, т. е. отклонения от установленных норм и требований, приводящие к снижению прочности, эксплуатационной надежности, точности, а также ухудшению внешнего вида изделия.

Дефекты сварных швов являются следствием неправильного выбора или нарушения технологического процесса, применения некачественных сварочных материалов и низкой квалификации сварщика. Дефекты сварных соединений классифицируют по причинам возникновения и месту их расположения.

Выделяют следующие виды дефектов в сварных соединениях:

- а) наплыв;
- б) подрез;
- в) непровар;
- г) наружные трещины и поры;
- д) внутренние трещины и поры;
- е) внутренний непровар;
- ж) шлаковые включения.

В зависимости от того, нарушается или не нарушается целостность сварного соединения при контроле, различают неразрушающие и разрушающие методы контроля.

4.1 Визуально измерительный контроль

В первую очередь все сварные соединения подвергаются визуально измерительному контролю в соответствии с ГОСТ 3242-79 [30], данный контроль проводится после каждой сварочной операции. Данный способ контроля относится к не разрушающим видам контроля качества сварных соединений и является обязательным для всех видов конструкции, он может выполняться не вооружённым глазом или с помощью специальных увеличительных устройств, используя шаблоны и мерительный инструмент. Данный способ позволяет обнаружить дефекты, находящиеся на поверхности сварного соединения, различные несплошности, отклонения размеров и формы от заданных значений, а также поверхностное окисление сварного соединения.

4.2 Механические испытания

Механические испытания относятся к разрушающим методам контроля. Согласно ГОСТ Р 52630-2012 [4] механическим испытаниям подвергаются только стыковые сварные соединения, определяющие прочность сосуда, в конструкции цистерны такими являются продольный и кольцевой швы обечайки типа С7.

Механические испытания необходимо проводить на контрольных сварных соединениях для определённой группы сосуда в объёме, как указано в таблице 17, ГОСТ Р 52630-2012 [4]. Руководствуясь данной таблицей для сварных соединений типа С7 принимаем испытания на растяжение и изгиб при температуре 20 С°.

Образцы для проведения испытаний должны быть изготовлены в условиях что и изделие, из той же марки материала, на том же оборудовании, с использованием тех же сварочных материалов и режимов сварки, теми же сварщиками. Утолщение шва должно быть снято механическим способом до

					ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ	Лист
						57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

уровня основного металла с обеих сторон. При удалении утолщения разрешается снимать основной металл по всей поверхности образца на глубину до 15% от толщины металла или диаметра стержня, но не более 4 мм.

Для проведения испытаний на растяжение согласно ГОСТ 6996-66 [31] необходимо два образца типов XII, XIII, XIV или XV. Испытания проводят при помощи разрывной машины растягивающим усилием. Правила проведения испытаний на статическое растяжение указаны в ГОСТ 1497-84 [32]. При данном виде испытания, определяется временное сопротивление наиболее слабого участка. Временное сопротивление подсчитывают по ГОСТ 1497-84 [32]. При испытании определяют место разрушения образца (по металлу шва, по металлу околошовной зоны, по основному металлу).

Схема образцов типов XII, XIII изображены на рисунке 15, размеры образцов вынесены в таблицу 17.

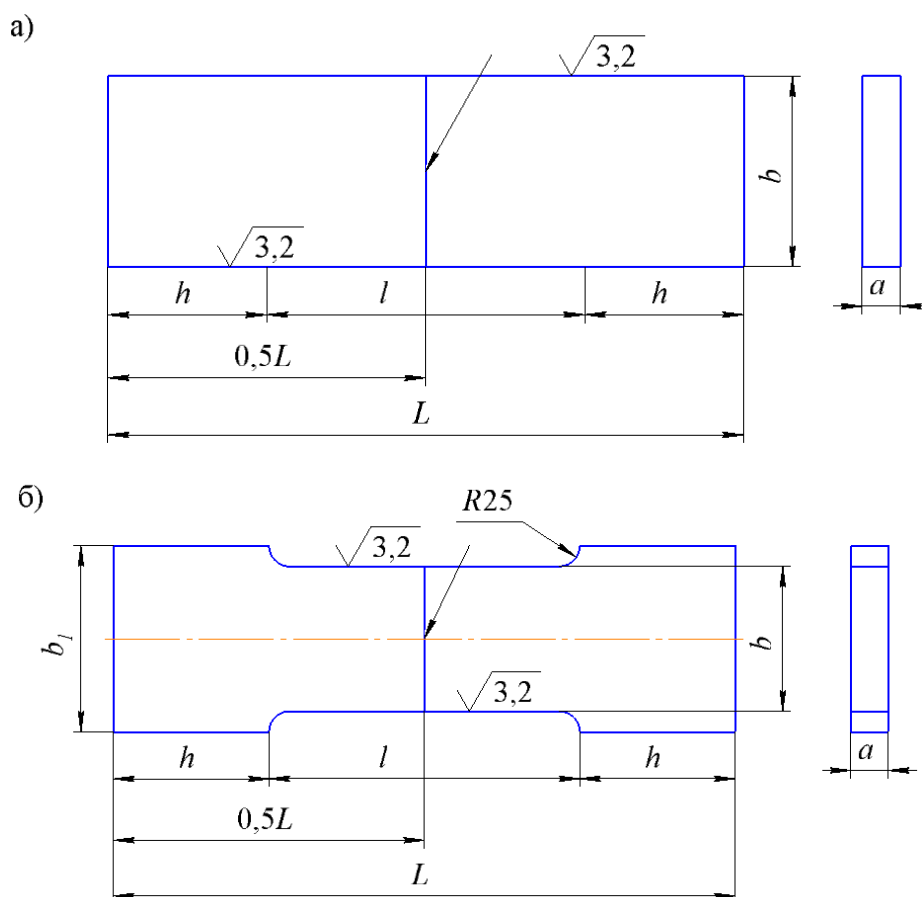


Рисунок 15 - Схема образцов для испытаний на растяжение.

а) - тип XII; б) - тип XIII

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ

Лист

58

Длину захватной части образца h устанавливают в зависимости от конструкции испытательной машины.

Таблица 17 - Размеры образцов типа XII и XIII

Толщина образца a , мм	Ширина рабочей части b , мм	Ширина захватной части образца b_1 , мм	Длина рабочей части образца l , мм	Общая длина образца L , мм
4	$15 \pm 0,5$	25	50	$l + 2h$

Схема образца типа XIV изображена на рисунке 16, размеры образца представлены в таблице 18.

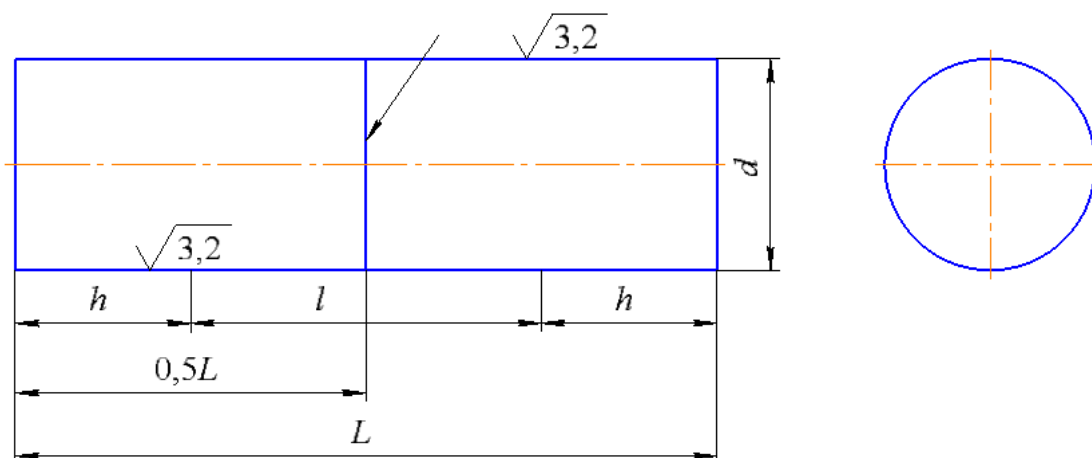


Рисунок 16 - Схема образца для испытаний на растяжение типа XIV

Таблица 18 - Размеры образца типа XIV

Диаметр образца d , мм	Длина рабочей части образца l , мм	Общая длина образца L , мм
4	60	$l + 2h$

Для проведения испытаний на изгиб согласно ГОСТ 6996-66 [31] необходимо два образца типов XXVII, XXVIII рисунок 17.

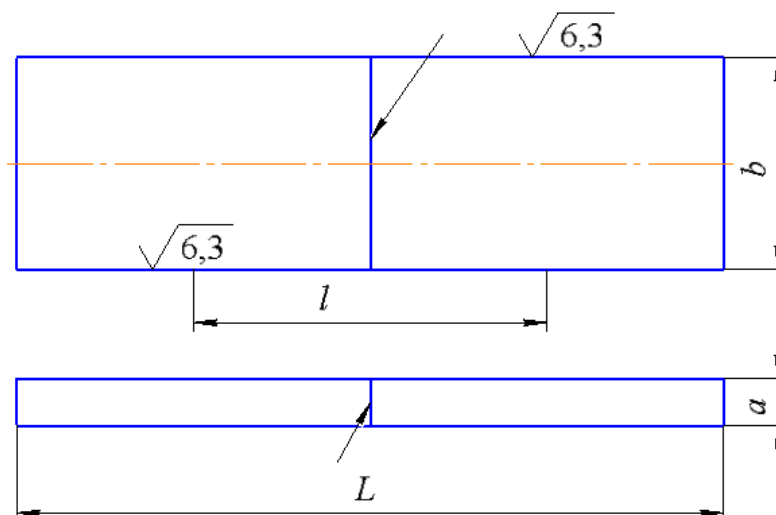


Рисунок 17 - Схема образцов для испытаний на изгиб типов XXVII, XXVIII

Размеры образцов типов XXVII, XXVIII вынесены в таблицу 19.

Таблица 19 - Размеры образцов типа XXVII, XXVIII

Тип образца	Толщина образца a , мм	Ширина образца b , мм	Общая длина образца L , мм	Длина рабочей части образца l , мм
XXVII	4	$1,5a \geq 10$	$2,5D + 80$	$0,33L$
XXVIII	4	20	$3D + 80$	$0,33L$

При испытании на статический изгиб определяют способность соединения принимать заданный по размеру и форме изгиб. Эта способность характеризуется углом изгиба α рисунок 18, при котором в растянутой зоне образца образуется первая трещина, развивающаяся в процессе испытания. Если длина трещин, возникающих в процессе испытания в растянутой зоне образца, не превышает 20% его ширины, но не более 5 мм, то они не являются браковочным признаком. Определяют также место образования трещины или разрушения (по металлу шва, металлу околошовной зоны или основному металлу).

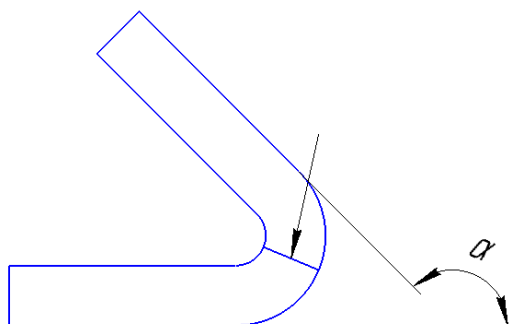


Рисунок 18 - Схема изгиба образца

В зависимости от требований, установленных соответствующей НТД, испытания проводят до достижения нормируемого угла изгиба или угла изгиба, при котором образуется первая являющаяся браковочным признаком трещина, до параллельности или соприкосновения сторон образца. Угол изгиба при испытании до образования первой трещины замеряют в ненапряженном состоянии с погрешностью до $\pm 2^\circ$.

Испытания образцов на статический изгиб типов XXVII и XXVIII должны проводиться как показано на рисунке 19.

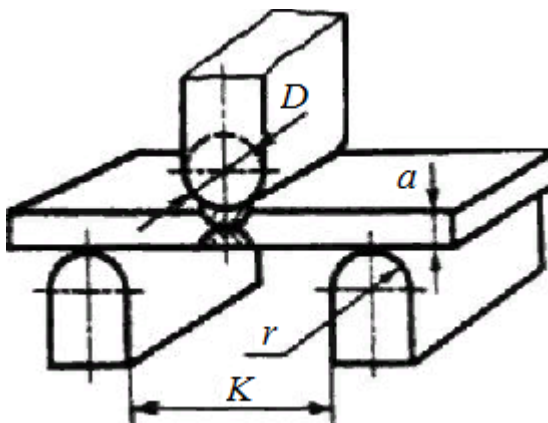


Рисунок 19 - Схема проведения испытаний на статический изгиб образцов типов XXVII и XXVIII

Диаметр оправки D может изменяться в зависимости от марки стали, толщины листов, способа термообработки и должен оговариваться в соответствующей НТД. При отсутствии специальных указаний диаметр

оправки принимают равным двум толщинам основного металла. Расстояние между опорами K для образца типа XXVII должно быть равно $2,5D$, а для образца типа XXVIII $3D$. Радиус закругления опоры r для образцов типов XXVII и XXVIII принимается по таблице 20.

Таблица 20 – Радиус закругления опоры r от толщины образца a для образцов типов XXVII и XXVIII

Толщина образца a , мм	Радиус закругления r , мм
до 2	2
более 2 до 4	4
Более 4 до 8	8

Обязательным условием проведения испытаний является плавность возрастания нагрузки на образец. Испытания проводят со скоростью не более 15 мм/мин на испытательных машинах или прессах с использованием опорных роликов.

4.3 Ультразвуковой контроль

В рамках выпускной квалификационной работы для выявления внутренних дефектов принимаем ультразвуковой метод контроля сварных соединений. Данный вид контроля относится к неразрушающим видам контроля, используется во многих отраслях промышленности. В отличие от рентгенографического метода контроля УЗК является наиболее дешёвым и простым.

Ультразвуковую дефектоскопию сварных соединений следует проводить в соответствии с ГОСТ 14782-86 [33].

Ультразвуковая технология контроля основана на способности высокочастотных колебаний (около 20 000 Гц) проникать в металл и отражаться от поверхности царапин, пустот и других неровностей. Искусственно созданная, направленная диагностическая волна проникает в проверяемое соединение и в случае обнаружения дефекта отклоняется от своего нормального распространения. Оператор УЗД видит это отклонение на экранах приборов и по определенным показаниям данных может дать характеристику выявленному дефекту. Например:

- расстояние до дефекта – по времени распространения ультразвуковой волны в материале;

- относительный размер дефекта – по амплитуде отраженного импульса.

На сегодняшний день в промышленности применяют пять основных методов проведения УЗК ГОСТ 23829-85 [34], которые отличаются между собой только способом регистрации и оценки данных:

- теневой метод – заключается в контроле уменьшения амплитуды ультразвуковых колебаний прошедшего и отраженного импульсов.

- зеркально-теневой метод – обнаруживает дефекты швов по коэффициенту затухания отраженного колебания.

- эхо-зеркальный метод или «тандем» – заключается в использовании двух аппаратов, которые переключаются в работе и с разных сторон подходят к дефекту.

- дельта-метод – основывается на контроле ультразвуковой энергии, переизлученной от дефекта.

- эхо-метод – основан на регистрации сигнала, отраженного от дефекта.

Согласно ГОСТ Р 52630-2012 [4] и ПБ 03 - 584 – 03 [35] ультразвуковому контролю подлежат:

- стыковые, угловые, тавровые сварные соединения, доступные для этого контроля в объеме не менее указанного в таблице 21;

- места сопряжения (пересечений) сварных соединений;

					ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

- сварные соединения внутренних и наружных устройств по указанию в проекте или технических условиях на сосуд (сборочную единицу, деталь);
- сварные соединения элементов из стали перлитного класса с элементами из сталей аустенитного класса в 100 % объеме;
- перекрываемые укрепляющими кольцами участки сварных швов корпуса, предварительно зачищенные заподлицо с наружной поверхностью корпуса;
- прилегающие к отверстию участки сварных швов корпуса, на которых устанавливаются люки и штуцера, на длине, равной $\sqrt{DS}$ (D – внутренний диаметр корпуса, S – толщина стенки корпуса в месте расположения отверстия).

Таблица 21 - Объём контроля ультразвуковым методом

Группа сосуда	Длина контролируемых сварных соединений от общей длины, %
1, 2	100
3	50
4	25
5	10

Ультразвуковая дефектоскопия проводится следующим образом:

- в начале необходимо зачистить сварной шов на расстояние от 50 до 70 мм;
- для получения более точного результата УЗД требуется хорошее прохождение ультразвуковых колебаний. Поэтому поверхность металла около шва и сам шов обрабатываются трансформаторным, турбинным, машинным маслом или солидолом, глицерином;
- прибор предварительно настраивается по определенному стандарту, который рассчитан на решения конкретной задачи;
- датчик перемещают зигзагообразно вдоль шва и при этом стараются повернуть вокруг своей на несколько градусов от 10 до 15°;

– при появлении устойчивого сигнала на экране прибора в зоне проведения УЗК, искатель максимально разворачивают. Необходимо проводить поиск до появления на экране сигнала с максимальной амплитудой. Следует уточнить не вызвано ли наличие подобного колебания отражением волны от швов, что часто бывает при УЗД, если нет, то фиксируется дефект и записываются координаты.

Ультразвуковой контроль сварных соединений проводят за один или несколько проходов, тавровые и угловые швы под углом 90° проверяют эхо - методом. Все результаты проверки дефектоскопист заносит в таблицу данных, по которой можно будет легко повторно обнаружить дефект и устранить его.

4.4 Капиллярный метод контроля

Для контроля сварного соединения типа Н1 используем капиллярную дефектоскопию. Данный контроль проводим в сто процентном объёме.

Капиллярный метод относится к неразрушающим методам контроля, является весьма простым и дешёвым способом контроля сварных соединений, однако позволяет обнаружить лишь те дефекты, которые находятся на поверхности сварного соединения, такие как трещины, поры, раковины, непровары, межкристаллитная коррозия и другие несплошности.

Капиллярный метод основан на явлении капиллярной активности, т. е способности жидкости втягиваться в мельчайшие отверстия и каналы. При попадании жидкости в канал её поверхность искривляется, образуя мениск, отверстие удаётся обнаружить за счёт индикаторных рисунков.

Данный метод контроля проводится в соответствии с ГОСТ 18442-80 [36].

Капиллярная дефектоскопия включает следующие основные операции:

- тщательная очистка поверхности (промывка, обезжиривание, сушка);
- нанесение на поверхность сварного соединения при помощи щётки или распылителя проникающей жидкости;

					ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

- после нанесения на поверхность проникающей жидкости необходимо выждать некоторое время после чего удалить излишки проникающей жидкости чистым сухим полотенцем или куском ткани, после чего поверхность вытирается начисто тканью слегка увлажнённой очистителем, очиститель не рекомендуется наносить на поверхность во избежание вымывания проникающей жидкости;
- нанести проявитель для выявления дефектов.

Схема проведения капиллярной дефектоскопии представлена на рисунке 20.

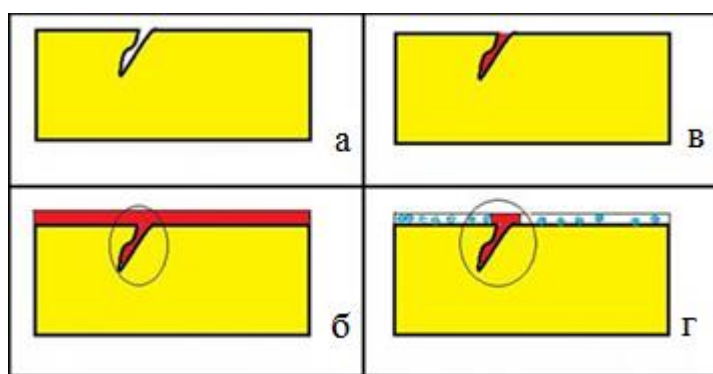


Рисунок 20 – схема проведения капиллярной дефектоскопии

а – очищенная поверхность с дефектом; б – поверхность с нанесённой проникающей жидкостью; в – поверхность с удалёнными излишками проникающей жидкости; г – поверхность с нанесённым проявителем

Индикация дефектов осуществляется благодаря выходу проникающей жидкости из полостей дефектов на поверхность изделия путем проникновения в проявитель. Образующиеся при этом следы дефектов имеют ширину гораздо больше, чем фактическая ширина самого дефекта. Вышедшая из дефектов жидкость окрашивает часть белой поверхности проявителя или люминесцирует в ультрафиолетовых лучах, образуя индикаторный рисунок, непосредственно воспринимаемый зрением контролера.

4.5 Гидравлические испытания

Гидравлическому испытанию изделие подвергается после его изготовления и после того как были проведены другие виды контроля.

При гидравлических испытаниях следует использовать воду. Разность температур стенки сосуда и окружающего воздуха во время испытаний не должна вызывать конденсацию влаги на поверхности стенки сосуда. Давление внутри сосуда следует поднимать равномерно до достижения пробного. Скорость подъёма давления не должна превышать 0,5 МПа в минуту. Время выдержки под пробным давлением для данного аппарата должно быть не менее 30 минут согласно ГОСТ Р 52630-2012 [4]. После выдержки под пробным давлением его снижают до расчётного под которым проводят осмотр наружной поверхности, разъёмных и сварных соединений.

Испытание пробным гидравлическим давлением контролируют двумя манометрами. Манометры выбирают одного типа, предела измерений, класса точности, одинаковой цены деления. Манометры должны иметь класс точности не ниже 2,5.

Результаты испытаний считают удовлетворительными, если во время их проведения отсутствуют:

- падение давления по манометру;
- пропуски испытательной среды (течи, потения, пузырьки воздуха или газа) в сварных соединениях и на основном металле;
- признаки разрыва;
- течи в разъёмных соединениях;
- остаточные деформации.

5. Выбор средств технологического оснащения

Для выполнения сборки и сварки корпуса топливной цистерны применяется настраиваемый роликовый вращатель модели *HGK-5*. Общий вид представлен на рисунке 21. Характеристики приведены в таблице 22. Приводная секция оснащается двумя электродвигателями с синхронизированным управлением. Вращатели оснащены программируемыми частотнорегулируемыми электроприводами и имеют плавную бесступенчатую регулировку скорости вращения. Для обеспечения автоматических процессов предусмотрена возможность сопряжения со сварочным оборудованием. Для вращения длинномерных деталей возможна синхронизация вращения нескольких приводных секций. В качестве дополнительной опции приводная и не приводная секции могут устанавливаться на рельсовые тележки. В стандартной комплектации настройка сварочного вращателя на необходимый диаметр свариваемого изделия осуществляется вручную за счёт перемещения блоков роlikоопор. В нужном положении блоки фиксируются болтами. Для перемещения роlikоопор на вращателях грузоподъемностью до 40 т может использоваться винтовая передача. Для улучшения сцепления с вращаемой деталью на вращателях грузоподъемность до 100 т устанавливаются комбинированные ролики, состоящие из одного центрального металлического диска, покрытого слоем полиуретана или специальной резиной, и двух стальных дисков меньшего диаметра. Все вращатели комплектуются пультом дистанционного управления с индикатором скорости вращения.

Для позиционирования и центровки обечайки с днищами применяем ложементы.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ	Лист
						68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Рисунок 21 – Роликовый вращатель *HGK-5*

Таблица 22. Характеристики роликового вращателя *HGK-5*.

Параметры	Значения
Максимальная грузоподъемность, т	5,0
Полиуретановый ролик Диаметр D_1 , мм	250,0
Полиуретановый ролик Ширина, мм	120,0
Диаметр обечайки d мин, мм	250,0
Диаметр обечайки d макс, мм	2800,0
Мощность двигателя, кВт	2х0,37
Линейная скорость ролика, м/час	6,0...60,0
Способ управления	Частотно-регулируемый привод

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе была разработана технология сборки и сварки корпуса топливной цистерны РГС-5 из стали 09Г2С на основании теоретических знаний, полученных при изучении различных дисциплин, в течение обучения, а также умения пользоваться интернетом, справочной, нормативно-технической и технической литературой, и государственными стандартами. Особое внимание было уделено расчету сварной конструкции на прочность, выбору способа сварки и сварочных материалов, выбору оборудования, расчету режимов сварки, технологии сборки и сварки изделия, контролю качества изделия, а также разработке чертежей и правильности их оформления.

Проведенная система расчетов основных технологических параметров сварки для изготовления аппарата и анализ технологичности его изготовления свидетельствует:

- расчет на прочность по допускаемым напряжениям позволяет сделать вывод о способности выдерживать рабочие нагрузки;
- предлагаемые средства технологического оснащения позволяют обеспечить качественное выполнение сварных швов в процессе их изготовления;
- предлагаемая технология сборки и сварки корпуса цистерны позволяет обеспечить повышение производительности, простоты, надежности и безопасности в работе, уменьшение энерго- и металлоемкости.

Список используемых источников

1. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. [Текст]:

ГОСТ 12.1.007-76. – Введ. 1997.01.01. – М.: Стандартинформ, 2007. – II – 5 с.

2. Грузы опасные. Классификация и маркировка. [Текст]:

ГОСТ 19433-88. – Введ. 1990.01.01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 47 с.

3. Электрооборудование взрывозащищенное. [Текст]:

ГОСТ Р 51330-99. – Введ. 2001.01.01. – Утв. постановлением Госстандарта России от 16 декабря 1999 г. № 526-ст.

4. Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия.

[Текст]: ГОСТ Р 52630-2012. – Введ. 2012.11.29. – М.: Стандартинформ, 2013. – IV – 82 с.

5. Корпусы цилиндрические стальных сварных сосудов и аппаратов.

Типы, основные параметры и размеры. [Текст]: ГОСТ 9931-85. – Введ. 1987.01.01. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 22 с.

6. Днища конические неотбортованные с углом при вершине 140

градусов. Основные размеры. [Текст]: ГОСТ 12621-78. – Введ. 1979.01.01. – М.: Издательство стандартов, 1992. – 3 с.

7. Люки стальных сварных сосудов и аппаратов. Общие технические

требования. [Текст]: ОСТ 26-2011-83. – Введ. 1994.01.01. – Утв. письмом министерства химического и нефтяного машиностроения от 23 мая 1983 г.

№ 11-10-4/740. – 23 с.

8. Люки загрузочные стальных сварных сосудов и аппаратов.

Конструкция. [Текст]: ОСТ 26-2004-83. – Введ. 1994.01.01. – Утв. письмом министерства химического и нефтяного машиностроения от 23 мая 1983 г.

№ 11-10-4/740. – 16 с.

9. Штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных. Типы,

основные параметры, размеры и общие технические требования. [Текст]:

					ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ	Лист
						71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

АТК 24.218.06-90. – Введ. 1995.12.01. – Прин. Указанием Министерства тяжелого машиностроения СССР от 20 сентября 1990 г. № ВА-002-1-8993.

10. **Устройства строповые для сосудов и аппаратов. Штуцера монтажные удлиненные.** [Текст]: ГОСТ 14115-85. – Введ. 1986.01.01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1999. – 7 с.

11. **Таблички прямоугольные для машин и приборов. Размеры.** [Текст]: ГОСТ 12971-67. – Введ. 1969.01.01. – М.: Стандартиформ, 2006. – 6 с.

12. **Свод правил. Строительная климатология.** [Текст]: СП 131.13330.2012. – Введ. 2013.01.01. – Утв. Приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 30 июня 2012 г. № 275. – 101 с.

13. **Прокат листовой из углеродистой стали, низколегированной и легированной стали для котлов и сосудов, работающих под давлением. Технические условия.** [Текст]: ГОСТ 5520-79. – Введ. 1980.01.01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 15 с.

14. **Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки.** [Текст]: ГОСТ 380-2005. – Введ. 2008.07.01. – М.: Стандартиформ, 2009. – 8 с.

15. **Прокат толстолистовой из углеродистой стали обыкновенного качества. Технические условия.** [Текст]: ГОСТ 14637-89. – Введ. 1991.01.01. – М.: Стандартиформ, 2009. – 9 с.

16. **Катанка из углеродистой стали обыкновенного качества. Технические условия.** [Текст]: ГОСТ 30136-95. – Введ. 1998.01.01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 223 с.

17. **Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.** [Текст]: ГОСТ 52857.1-2007. – Введ. 2008.04.01. – М.: Стандартиформ, 2008. – 27 с.

18. **Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия.** [Текст]: ГОСТ Р 52910-2007. – Введ. 2009.01.01. – М.: Стандартиформ, 2008. – 51 с.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ	Лист
						72
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

19. **Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.** [Текст]: ГОСТ 14249-89. – Введ. 1990.01.01. – М.: Стандартиформ, 2008. – 54 с.

20. **Прокат листовой горячекатаный. Сортамент.** [Текст]: ГОСТ 19903-2015. – Введ. 2016.09.01. – М.: Стандартиформ, 2016. – 12 с.

21. **Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.** [Текст]: ГОСТ 14771-76. – Введ. 1977.07.01. – М.: Стандартиформ, 2007. – III – 37 с.

22. **Дуговая сварка в защитном газе при острых и тупых углах. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.** [Текст]: ГОСТ 23518-79. – Введ. 1980.01.01. – М.: Стандартиформ, 2011. – 25 с.

23. **Ручная дуговая сварка. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.** [Текст]: ГОСТ 11534-75. – Введ. 1977.01.01. – М.: Издательство стандартов, 2002. – 23 с.

24. **Единая база технологической документации. Термины и определения основных понятий.** [Текст]: ГОСТ 3.1109-82. – Введ. 1983.01.01. – М.: Стандартиформ, 2012. – 98 с.

25. **Обеспечение технологичности конструкции изделия.** [Текст]: ГОСТ 14.201-83. – Введ. 1984.01.01. – М.: Стандартиформ, 2009. – 8 с.

26. **Двуокись углерода газообразная и жидкая. Технические условия.** [Текст]: ГОСТ 8050-85. – Введ. 1987.01.01. – М.: Издательство стандартов, 1995. – II – 22 с.

27. **Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки. Классификация и общие технические условия.** [Текст]: ГОСТ 9466-75. – Введ. 1976.01.01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. – 21 с.

					<i>ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ</i>	Лист
						73
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

28. **Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы.** [Текст]: ГОСТ 9467-75. – Введ. 1977.01.01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. – 6 с.

29. **Инженерно-технологические основы подготовки сварочного производства.** [Текст]: учеб.пособие / под ред. д-ра техн. наук, проф. А.Е.Розена. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2010. –276 с.

30. **Соединения сварные. Методы контроля качества.** [Текст]: ГОСТ 3242-79. – Введ. 1981.01.01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 11 с.

31. **Сварные соединения. Методы определения механических свойств.** [Текст]: ГОСТ 6996-66. – Введ. 1967.01.01. – М.: Стандартиформ, 2005. – 83 с.

32. **Металлы. Методы испытаний на растяжение.** [Текст]: ГОСТ 1497-84. – Введ. 1986.01.01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2005. –III– 24 с.

33. **Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые.** [Текст]: ГОСТ 14782-86. – Введ. 1988.01.01. – М.: Стандартиформ, 2005. – 25 с.

34. **Контроль неразрушающий акустический. Термины и определения.** [Текст]: ГОСТ 23829-85. – Введ. 1987.01.01. – М.: Издательство стандартов, 1986. – 18 с.

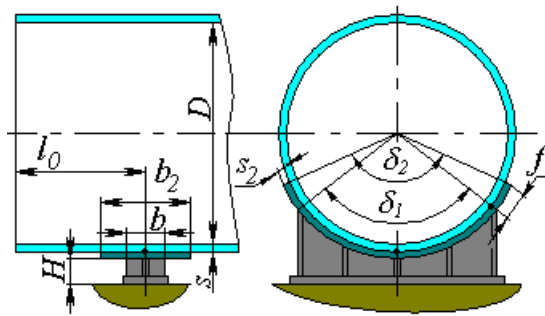
35. **Правила проектирования, изготовления и приемки сосудов и аппаратов стальных сварных.** [Текст]: ПБ 03-584-03. – Введ. 2003.06.10. – М.: ПИО ОБТ, 2003. –II– 103 с.

36. **Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования.** [Текст]: ГОСТ 18442-80. – Введ. 1981.07.01. – М.: Издательство стандартов, 2005. –II– 56 с.

Приложение А

					ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ	Лист
						75
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Опора седловая №1



Исходные данные

Элемент, связанный с опорой:	Обечайка цилиндрическая №1
Внутренний диаметр обечайки, D:	1600 мм
Толщина стенки обечайки, s:	4 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c1:	2 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, c2:	0,04000 мм
Прибавка технологическая, c3:	0 мм
Сумма прибавок к стенке обечайки, c:	2,04 мм
Ширина опоры, b:	200 мм
Угол охвата опоры, δ_1 :	120 °
Расстояние от края элемента, l0:	250 мм
Расстояние до днища, a:	250 мм
Высота опоры, H:	200 мм
Толщина листа, s2:	4 мм
Ширина листа, b2:	250 мм
Угол охвата листа, δ_2 :	140 °
Длина выступающей части листа, f:	141 мм

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения (см. Эпюры сил и моментов):

Расчётная температура, T:	45 °C
Коэффициент заполнения жидкостью, ξ :	1
Плотность жидкости, $\rho_{ж}$:	880 кг/м ³
Расчётное внутреннее избыточное давление, действующее в элементе над опорой, p:	0,1051 МПа
Изгибающий момент в сечении оболочки над опорой, M:	3503 Н м
Опорное усилие, F:	$2,621 \cdot 10^4$ Н
Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой, Q:	$1,85 \cdot 10^4$ Н

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

Допускаемое наружное давление, [p]:	0,005516 МПа
-------------------------------------	--------------

Допускаемый изгибающий момент, [M]_{уст}: 1,496·10⁵ Н м

Допускаемое осевое сжимающее усилие, [F]: 3,304·10⁵ Н

Допускаемое поперечное усилие, [Q]: 1,273·10⁵ Н

Расчёт обечайки на прочность и устойчивость от опорных нагрузок по ГОСТ 26202-84

Опора с подкладным листом

Проверка условия: $b_2 \geq K_{19} \cdot D + 1,5 \cdot b$

$$K_{19} = \frac{5}{6 \cdot 3 \sqrt[3]{\frac{D}{s-c}} \cdot \delta_1} = 5 / [6 \cdot (1600 / (4 - 2,04))^{1/3} \cdot 2,094] = 0,04257$$

$$K_{19} \cdot D + 1,5 \cdot b = 0,04257 \cdot 1600 + 1,5 \cdot 200 = 368,1 \text{ мм}$$

Условие не выполнено, проводятся два расчёта

Расчёт №1:

Подкладной лист рассматривают как седловую опору шириной b_2 с углом охвата δ_2 . Во всех формулах принимают $b = b_2 = 250$ мм, $\delta_1 = \delta_2 = 140^\circ$ (2,443 рад)

$$K_{13} = \frac{\max \left\{ 1,7 - \frac{2,1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0 \right\}}{\sin(0,5 \cdot \delta_1)} = \max \{ 1,7 - 2,1 \cdot 2,443 / 3,142; 0 \} / \sin(0,5 \cdot 2,443) = 0,07095$$

Параметр, определяемый расстоянием до днища :

$$\gamma = 2,83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2,83 \cdot 250 / 1600 \cdot ((4 - 2,04) / 1600)^{1/2} = 0,01548$$

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

$$K_{15} = \min \left\{ 1,0; \frac{0,8 \cdot \sqrt{\gamma + 6 \cdot \gamma}}{\delta_1} \right\} = \min \{ 1,0; (0,8 \cdot 0,01548^{1/2} + 6 \cdot 0,01548) / 2,443 \} = 0,07873$$

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

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

Параметр, определяемый шириной пояса опоры :

$$\beta = 0,91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s-c)}} = 0,91 \cdot 250 / (1600 \cdot (4 - 2,04))^{1/2} = 4,062$$

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

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta} \cdot \sin \beta}{\beta}; 0,25 \right\} = \max \{ e^{-4,062} \cdot \sin(4,062) / 4,062; 0,25 \} = 0,25$$

$$\Phi_1 = - \frac{0,23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0,23 \cdot 0,07095 \cdot 0,07873 / (0,8514 \cdot 0,25) = (-0,006036)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{\text{мх}} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s-c)} = 4 \cdot 3503 / (3,142 \cdot 1600^2 \cdot (4 - 2,04)) = 0,8889 \text{ МПа}$$

$$\Phi_{2,1} = -\bar{\sigma}_{\text{мх}} \cdot \frac{K_2}{n_T [\sigma]} = -0,8889 \cdot 1,2 / (1,5 \cdot 133,7) = (-0,005317)$$

$$\Phi_{2,2} = \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot (s-c)} - \bar{\sigma}_{\text{мх}} \right) \cdot \frac{K_2}{n_T [\sigma]} = [0,1051 \cdot 1600 / (4 \cdot (4 - 2,04)) - 0,8889] \cdot 1,2 / (1,5 \cdot 133,7) = 0,1229$$

Примечание: в соответствии с п. 1.2.3 ГОСТ 26202-84 при $\Phi_{2,i} < 0$ в расчёте K_1 знаки Φ_1 и Φ_2 меняют на противоположные

					ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ	Лист
						77
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$K_1 = \begin{cases} \left(\frac{1+3 \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2}{3 \cdot \varphi_1^2} \right) \left(\pm \sqrt{\frac{9 \cdot \varphi_1^2 (1-\varphi_2^2)}{(1+3 \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2)^2} + 1} - 1 \right), & K_1 \geq 0 \text{ при } \varphi_1 \neq 0 \\ 1,5 \cdot (1 - \varphi_2^2) & \text{при } \varphi_1 = 0 \end{cases} \begin{cases} = 1,5 & \text{при } \varphi_2 = \varphi_{2,1} \\ = 1,481 & \text{при } \varphi_2 = \varphi_{2,2} \end{cases}$$

$$K_1 = \min\{1,5, 1,481\} = 1,481$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_2 = K_1 \cdot [\sigma] \cdot \frac{n_T}{K_2} = 1,481 \cdot 133,7 \cdot 1,5 / 1,2 = 247,5 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0,7 \cdot [\sigma]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c) \cdot (s-c)}}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0,7 \cdot 247,5 \cdot (1600 \cdot (4-2,04))^{1/2} \cdot (4-2,04) / (0,25 \cdot 0,8514) = 8,934 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta} \cdot \cos \beta}{\beta} = (1 - e^{-4,062} \cdot \cos(4,062)) / 4,062 = 0,2487$$

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

$$K_{16} = 1 - \frac{0,65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0,65 / (1 + (6 \cdot 0,01548)^2) \cdot [3,142 / (3 \cdot 2,443)]^{1/2} = 0,5781$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0,6 \cdot 3 \sqrt{\frac{D}{s-c} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1}} = 1 / [1 + 0,6 \cdot (1600 / (4-2,04))^{1/3} \cdot 250 / 1600 \cdot 2,443] = 0,3184$$

$$\varphi_1 = - \frac{0,53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0,5 \cdot \delta_1)} = -0,53 \cdot 0,2487 / [0,4249 \cdot 0,5781 \cdot 0,3184 \cdot \sin(0,5 \cdot 2,443)] = (-1,794)$$

$$\varphi_{2,1} = 0$$

$$\varphi_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s-c) \cdot n_T \cdot [\sigma]} \cdot K_2 = 0,1051 \cdot 1600 / (2 \cdot (4-2,04)) \cdot 1,2 / (1,5 \cdot 133,7) = 0,2565$$

Примечание: в соответствии с п. 1.2.3 ГОСТ 26202-84 при $\varphi_{2,1} < 0$ в расчёте K_1 знаки φ_1 и φ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \begin{cases} \left(\frac{1+3 \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2}{3 \varphi_1^2} \right) \left(\pm \sqrt{\frac{9 \cdot \varphi_1^2 (1-\varphi_2^2)}{(1+3 \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2)^2} + 1} - 1 \right), & K_1 \geq 0 \text{ при } \varphi_1 \neq 0 \\ 1,5 \cdot (1 - \varphi_2^2) & \text{при } \varphi_1 = 0 \end{cases} \begin{cases} = 0,4635 & \text{при } \varphi_2 = \varphi_{2,1} \\ = 0,5797 & \text{при } \varphi_2 = \varphi_{2,2} \end{cases}$$

$$K_1 = \min\{0,4635, 0,5797\} = 0,4635$$

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_3 = K_1 \cdot [\sigma] \cdot \frac{n_T}{K_2} = 0,4635 \cdot 133,7 \cdot 1,5 / 1,2 = 77,49 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении :

$$[F]_3 = \frac{0,9 \cdot [\sigma]_3 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c) \cdot (s-c)}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0,9 \cdot 77,49 \cdot (1600 \cdot (4-2,04))^{1/2} \cdot (4-2,04) / (0,4249 \cdot 0,5781 \cdot 0,3184) = 9,787 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

$$s_{ef} = (s-c) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{s_2}{s-c} \right)^2} = (4-2,04) \cdot (1 + (4 / (4-2,04))^2)^{1/2} = 4,454 \text{ мм}$$

Расчёт №2:

Подкладной лист рассматривают как усиление стенки сосуда. Во всех формулах принимают $b = 200 \text{ мм}$, $\delta_1 = 120^\circ$ (2,094 рад), $s = s_{ef} + c = 4,454 + 2,04 = 6,494 \text{ мм}$.

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

					ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

Параметр, определяемый расстоянием до днища :

$$\gamma = 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2.83 \cdot 250 / 1600 \cdot ((6,494 - 2,04) / 1600)^{1/2} = 0,02333$$

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

$$K_{15} = \min \left\{ 1, 0; \frac{0,8 \cdot \sqrt{\gamma + 6 \cdot \gamma}}{\delta_1} \right\} = \min \{ 1, 0; (0,8 \cdot 0,02333^{1/2} + 6 \cdot 0,02333) / 2,094 \} = 0,1252$$

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

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

Параметр, определяемый шириной пояса опоры :

$$\beta = 0,91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s-c)}} = 0,91 \cdot 200 / (1600 \cdot (6,494 - 2,04))^{1/2} = 2,156$$

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

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta} \cdot \sin \beta}{\beta}, 0,25 \right\} = \max \{ e^{-2,156} \cdot \sin(2,156) / 2,156; 0,25 \} = 0,25$$

$$\Phi_1 = - \frac{0,23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0,23 \cdot 0,3464 \cdot 0,1252 / (0,9816 \cdot 0,25) = (-0,04064)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{\max} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s-c)} = 4 \cdot 3503 / (3,142 \cdot 1600^2 \cdot (6,494 - 2,04)) = 0,3911 \text{ МПа}$$

$$\Phi_{2,1} = -\bar{\sigma}_{\max} \cdot \frac{K_2}{n_T [\sigma]} = -0,3911 \cdot 1,2 / (1,5 \cdot 133,7) = (-0,002339)$$

$$\Phi_{2,2} = \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot (s-c)} - \bar{\sigma}_{\max} \right) \cdot \frac{K_2}{n_T [\sigma]} = [0,1051 \cdot 1600 / (4 \cdot (6,494 - 2,04)) - 0,3911] \cdot 1,2 / (1,5 \cdot 133,7) = 0,05409$$

Примечание: в соответствии с п. 1.2.3 ГОСТ 26202-84 при $\Phi_{2,i} < 0$ в расчёте K_1 знаки Φ_1 и Φ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \begin{cases} \left(\frac{1 + 3 \cdot \Phi_1 \cdot \Phi_2}{3 \cdot \Phi_1^2} \right) \left(\pm \sqrt{\frac{9 \cdot \Phi_1^2 (1 - \Phi_2^2)}{(1 + 3 \cdot \Phi_1 \cdot \Phi_2)^2} + 1} - 1 \right); & K_1 \geq 0 \text{ при } \Phi_1 \neq 0 \\ 1,5 \cdot (1 - \Phi_2^2) & \text{при } \Phi_1 = 0 \end{cases} \begin{cases} = 1,494 & \text{при } \Phi_2 = \Phi_{2,1} \\ = 1,5 & \text{при } \Phi_2 = \Phi_{2,2} \end{cases}$$

$$K_1 = \min \{ 1,494, 1,5 \} = 1,494$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_2 = K_1 \cdot [\sigma] \cdot \frac{n_T}{K_2} = 1,494 \cdot 133,7 \cdot 1,5 / 1,2 = 249,8 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0,7 \cdot [\sigma]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c)} \cdot (s-c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0,7 \cdot 249,8 \cdot (1600 \cdot (6,494 - 2,04))^{1/2} \cdot (6,494 - 2,04) / (0,25 \cdot 0,9816) = 2,679 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta} \cdot \cos \beta}{\beta} = (1 - e^{-2,156} \cdot \cos(2,156)) / 2,156 = 0,4935$$

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

$$K_{16} = 1 - \frac{0,65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0,65 / (1 + (6 \cdot 0,02333)^2) \cdot [3,142 / (3 \cdot 2,094)]^{1/2} = 0,5492$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0,6 \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{s-c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0,6 \cdot (1600 / (6,494 - 2,04))^{1/3} \cdot 200 / 1600 \cdot 2,094] = 0,4725$$

$$\Phi_1 = -\frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta_1)} = -0.53 \cdot 0.4935 / [0.6344 \cdot 0.5492 \cdot 0.4725 \cdot \sin(0.5 \cdot 2.094)] = (-1.835)$$

$$\Phi_{2,1} = 0$$

$$\Phi_{2,2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s - c) \cdot n_T \cdot [\sigma]} = 0.1051 \cdot 1600 / (2 \cdot (6.494 - 2.04)) \cdot 1.2 / (1.5 \cdot 133.7) = 0.1128$$

Примечание: в соответствии с п. 1.2.3 ГОСТ 26202-84 при $\Phi_{2i} < 0$ в расчёте K_1 знаки Φ_1 и Φ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \begin{cases} \left(\frac{1 + 3 \cdot \Phi_1 \cdot \Phi_2}{3 \Phi_1^2} \right) \left(\pm \sqrt{\frac{9 \cdot \Phi_1^2 \cdot (1 - \Phi_2^2)}{(1 + 3 \cdot \Phi_1 \cdot \Phi_2)^2} + 1} - 1 \right); & K_1 \geq 0 \text{ при } \Phi_1 \neq 0 \\ 1.5 \cdot (1 - \Phi_2^2) & \text{при } \Phi_1 = 0 \end{cases} = \begin{cases} 0.4549 & \text{при } \Phi_2 = \Phi_{2,1} \\ 0.5053 & \text{при } \Phi_2 = \Phi_{2,2} \end{cases}$$

$$K_1 = \min\{0.4549, 0.5053\} = 0.4549$$

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_B = K_1 \cdot [\sigma] \cdot \frac{n_T}{K_2} = 0.4549 \cdot 133.7 \cdot 1.5 / 1.2 = 76.06 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении :

$$[F]_3 = \frac{0.9 \cdot [\sigma]_B \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \cdot (s - c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0.9 \cdot 76.06 \cdot (1600 \cdot (6.494 - 2.04))^{1/2} \cdot (6.494 - 2.04) / (0.6344 \cdot 0.5492 \cdot 0.4725) = 1.564 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Условие прочности:

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

$$[F] = 8.934 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

$$2.621 \cdot 10^4 \text{ Н} \leq 8.934 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Проверка условия устойчивости

Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений :

$$F_e = F \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(s - c)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 2.621 \cdot 10^4 \cdot 3.142 / 4 \cdot (1600 / (4 - 2.04))^{1/2} \cdot 0.07095 \cdot 0.07873 = 3285 \text{ Н}$$

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

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

$$\frac{|p|}{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{уст}} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0.005516 + 3285 / 3.304 \cdot 10^5 + 3503 / 1.496 \cdot 10^5 + (1.85 \cdot 10^4 / 1.273 \cdot 10^5)^2 = 0.05447$$

$$0.05447 \leq 1.0$$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено**

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

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

Расчётная температура, Т:	20 °С
Коэффициент заполнения жидкостью, ξ :	1
Плотность жидкости, $\rho_{ж}$:	1·10 ³ кг/м ³
Расчётное внутреннее избыточное давление, действующее в элементе над опорой, р:	0,1331 МПа
Расчётное внутреннее избыточное давление, действующее в элементе над опорой, р:	
Изгибающий момент над опорой, М:	3904 Н м
Опорное усилие, F:	2,928·10 ⁴ Н
Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой, Q:	2,076·10 ⁴ Н

					ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80

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

Допускаемое наружное давление, [p]: 0,04320 МПа
 Допускаемый изгибающий момент, [M]_{уст}: 1,047·10⁶ Н м
 Допускаемое осевое сжимающее усилие, [F]: 2,366·10⁶ Н
 Допускаемое поперечное усилие, [Q]: 6,599·10⁵ Н

Расчёт обечайки на прочность и устойчивость от опорных нагрузок по ГОСТ 26202-84

Опора с подкладным листом

Проверка условия: $b_2 \geq K_{19} \cdot D + 1,5 \cdot b$

$$K_{19} = \frac{5}{6 \cdot 3 \sqrt[3]{\frac{D}{s-c}} \cdot \delta_1} = 5 / [6 \cdot (1600 / (4 - 0,04000))^{1/3} \cdot 2,094] = 0,05382$$

$$K_{19} \cdot D + 1,5 \cdot b = 0,05382 \cdot 1600 + 1,5 \cdot 200 = 386,1 \text{ мм}$$

Условие не выполнено, проводятся два расчёта

Расчёт №1:

Подкладной лист рассматривают как седловую опору шириной b_2 с углом охвата δ_2 . Во всех формулах принимают $b = b_2 = 250$ мм, $\delta_1 = \delta_2 = 140^\circ$ (2,443 рад)

$$K_{13} = \frac{\max \left\{ 1,7 - \frac{2,1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0 \right\}}{\sin(0,5 \cdot \delta_1)} = \max \{ 1,7 - 2,1 \cdot 2,443 / 3,142; 0 \} / \sin(0,5 \cdot 2,443) = 0,07095$$

Параметр, определяемый расстоянием до днища :

$$\gamma = 2,83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2,83 \cdot 250 / 1600 \cdot ((4 - 0,04000) / 1600)^{1/2} = 0,02200$$

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

$$K_{15} = \min \left\{ 1,0; \frac{0,8 \cdot \sqrt{\gamma + 6 \cdot \gamma}}{\delta_1} \right\} = \min \{ 1,0; (0,8 \cdot 0,02200^{1/2} + 6 \cdot 0,02200) / 2,443 \} = 0,1026$$

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

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

Параметр, определяемый шириной пояса опоры :

$$\beta = 0,91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s-c)}} = 0,91 \cdot 250 / (1600 \cdot (4 - 0,04000))^{1/2} = 2,858$$

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

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta} \cdot \sin \beta}{\beta}; 0,25 \right\} = \max \{ e^{-2,858} \cdot \sin(2,858) / 2,858; 0,25 \} = 0,25$$

$$\Phi_1 = - \frac{0,23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0,23 \cdot 0,07095 \cdot 0,1026 / (0,8514 \cdot 0,25) = (-0,007863)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{\max} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s-c)} = 4 \cdot 3904 / (3,142 \cdot 1600^2 \cdot (4 - 0,04000)) = 0,4903 \text{ МПа}$$

$$\Phi_{2,1} = - \bar{\sigma}_{\max} \cdot \frac{K_2}{n_T [\sigma]} = -0,4903 \cdot 1 / (1,1 \cdot 254,5) = (-0,001751)$$

$$\Phi_{2,2} = \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot (s-c)} - \bar{\sigma}_{\max} \right) \cdot \frac{K_2}{n_T [\sigma]} = [0,1331 \cdot 1600 / (4 \cdot (4 - 0,04000)) - 0,4903] \cdot 1 / (1,1 \cdot 254,5) = 0,04627$$

Примечание: в соответствии с п. 1.2.3 ГОСТ 26202-84 при $\varphi_{2i} < 0$ в расчёте K_1 знаки φ_1 и φ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \begin{cases} \left(\frac{1+3 \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2}{3 \cdot \varphi_1^2} \right) \left(\pm \sqrt{\frac{9 \cdot \varphi_1^2 \cdot (1-\varphi_2^2)}{(1+3 \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2)^2} + 1} - 1 \right); & K_1 \geq 0 \text{ при } \varphi_1 \neq 0 \\ 1,5 \cdot (1 - \varphi_2^2) & \text{при } \varphi_1 = 0 \end{cases} \begin{cases} = 1,5 & \text{при } \varphi_2 = \varphi_{2,1} \\ = 1,498 & \text{при } \varphi_2 = \varphi_{2,2} \end{cases}$$

$$K_1 = \min\{1,5, 1,498\} = 1,498$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_2 = K_1 \cdot [\sigma] \cdot \frac{n_T}{K_2} = 1,498 \cdot 254,5 \cdot 1,1 / 1 = 419,5 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0,7 \cdot [\sigma]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c)} \cdot (s-c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0,7 \cdot 419,5 \cdot (1600 \cdot (4 - 0,04000))^{1/2} \cdot (4 - 0,04000) / (0,25 \cdot 0,8514) = 4,348 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta} \cdot \cos \beta}{\beta} = (1 - e^{-2,858} \cdot \cos(2,858)) / 2,858 = 0,3692$$

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

$$K_{16} = 1 - \frac{0,65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0,65 / (1 + (6 \cdot 0,02200)^2) \cdot [3,142 / (3 \cdot 2,443)]^{1/2} = 0,5818$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0,6 \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{s-c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = 1 / [1 + 0,6 \cdot (1600 / (4 - 0,04000))^{1/3} \cdot 250 / 1600 \cdot 2,443] = 0,3713$$

$$\varphi_1 = - \frac{0,53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0,5 \cdot \delta_1)} = -0,53 \cdot 0,3692 / [0,4249 \cdot 0,5818 \cdot 0,3713 \cdot \sin(0,5 \cdot 2,443)] = (-2,269)$$

$$\varphi_{21} = 0$$

$$\varphi_{22} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s-c)} \cdot \frac{K_2}{n_T \cdot [\sigma]} = 0,1331 \cdot 1600 / (2 \cdot (4 - 0,04000)) \cdot 1 / (1,1 \cdot 254,5) = 0,09603$$

Примечание: в соответствии с п. 1.2.3 ГОСТ 26202-84 при $\varphi_{2i} < 0$ в расчёте K_1 знаки φ_1 и φ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \begin{cases} \left(\frac{1+3 \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2}{3 \varphi_1^2} \right) \left(\pm \sqrt{\frac{9 \cdot \varphi_1^2 \cdot (1-\varphi_2^2)}{(1+3 \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2)^2} + 1} - 1 \right); & K_1 \geq 0 \text{ при } \varphi_1 \neq 0 \\ 1,5 \cdot (1 - \varphi_2^2) & \text{при } \varphi_1 = 0 \end{cases} \begin{cases} = 0,3808 & \text{при } \varphi_2 = \varphi_{2,1} \\ = 0,4169 & \text{при } \varphi_2 = \varphi_{2,2} \end{cases}$$

$$K_1 = \min\{0,3808, 0,4169\} = 0,3808$$

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_3 = K_1 \cdot [\sigma] \cdot \frac{n_T}{K_2} = 0,3808 \cdot 254,5 \cdot 1,1 / 1 = 106,6 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении :

$$[F]_3 = \frac{0,9 \cdot [\sigma]_3 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c)} \cdot (s-c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 0,9 \cdot 106,6 \cdot (1600 \cdot (4 - 0,04000))^{1/2} \cdot (4 - 0,04000) / (0,4249 \cdot 0,5818 \cdot 0,3713) = 3,295 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$s_{ef} = (s-c) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{s_2}{s-c} \right)^2} = (4 - 0,04000) \cdot (1 + (4 / (4 - 0,04000))^2)^{1/2} = 5,629 \text{ мм}$$

Расчёт №2:

Подкладной лист рассматривают как усиление стенки сосуда. Во всех формулах принимают $b = 200 \text{ мм}$, $\delta_1 = 120^\circ$ (2,094 рад), $s = s_{ef} + c = 5,629 + 0,04000 = 5,669 \text{ мм}$.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ	Лист
						82
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$K_{13} = \frac{\max\left\{1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta_1}{\pi}; 0\right\}}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = \max\{1.7 - 2.1 * 2,094 / 3,142; 0\} / \sin(0.5 * 2,094) = 0,3464$$

Параметр, определяемый расстоянием до днища :

$$\gamma = 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{s-c}{D}} = 2.83 * 250 / 1600 * ((5,669 - 0,04000) / 1600)^{1/2} = 0,02623$$

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

$$K_{15} = \min\left\{1.0; \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma + 6 \cdot \gamma}}{\delta_1}\right\} = \min\{1.0; (0.8 * 0,02623^{1/2} + 6 * 0,02623) / 2,094\} = 0,137$$

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

$$K_{12} = \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta_1}{\sin(0.5 \cdot \delta_1)} = (1.15 - 0.1432 * 2,094) / \sin(0.5 * 2,094) = 0,9816$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры :

$$\beta = 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s-c)}} = 0.91 * 200 / (1600 * (5,669 - 0,04000))^{1/2} = 1,918$$

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

$$K_{10} = \max\left\{\frac{e^{-\beta} \cdot \sin \beta}{\beta}; 0.25\right\} = \max\{e^{-1,918} * \sin(1,918) / 1,918; 0.25\} = 0,25$$

$$\Phi_1 = -\frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.23 * 0,3464 * 0,137 / (0,9816 * 0,25) = (-0,04448)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба в области опорного узла:

$$\bar{\sigma}_{\text{мк}} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s-c)} = 4 * 3904 / (3,142 * 1600^2 * (5,669 - 0,04000)) = 0,3449 \text{ МПа}$$

$$\Phi_{21} = -\bar{\sigma}_{\text{мк}} \cdot \frac{K_2}{n_T [\sigma]} = -0,3449 * 1 / (1,1 * 254,5) = (-0,001232)$$

$$\Phi_{22} = \left(\frac{p \cdot D}{4 \cdot (s-c)} - \bar{\sigma}_{\text{мк}}\right) \cdot \frac{K_2}{n_T [\sigma]} = [0,1331 * 1600 / (4 * (5,669 - 0,04000)) - 0,3449] * 1 / (1,1 * 254,5) = 0,03255$$

Примечание: в соответствии с п. 1.2.3 ГОСТ 26202-84 при $\Phi_{2i} < 0$ в расчёте K_1 знаки Φ_1 и Φ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \begin{cases} \left(\frac{1+3 \cdot \Phi_1 \cdot \Phi_2}{3 \cdot \Phi_1^2}\right) \left(\pm \sqrt{\frac{9 \cdot \Phi_1^2 (1-\Phi_2^2)}{(1+3 \cdot \Phi_1 \cdot \Phi_2)^2} + 1} - 1\right); & K_1 \geq 0 \text{ при } \Phi_1 \neq 0 \\ 1.5 \cdot (1 - \Phi_2^2) & \text{при } \Phi_1 = 0 \end{cases} \begin{cases} = 1,493 & \text{при } \Phi_2 = \Phi_{21} \\ = 1,498 & \text{при } \Phi_2 = \Phi_{22} \end{cases}$$

$$K_1 = \min\{1,493, 1,498\} = 1,493$$

Расчёт в точке 2:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_2 = K_1 \cdot [\sigma] \cdot \frac{n_T}{K_2} = 1,493 * 254,5 * 1,1 / 1 = 418,1 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[F]_2 = \frac{0.7 \cdot [\sigma]_2 \cdot \sqrt{D \cdot (s-c)} \cdot (s-c)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 0.7 * 418,1 * (1600 * (5,669 - 0,04000))^{1/2} * (5,669 - 0,04000) / (0,25 * 0,9816) = 6,37 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta} \cdot \cos \beta}{\beta} = (1 - e^{-1,918} * \cos(1,918)) / 1,918 = 0,5475$$

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

$$K_{16} = 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - 0.65 / (1 + (6 * 0,02623)^2) * [3,142 / (3 * 2,094)]^{1/2} = 0,5515$$

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{s-c} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1}} = 1 / [1 + 0.6 \cdot (1600 / (5,669 - 0,04000))^{1/3} \cdot 200 / 1600 \cdot 2,094] = 0,4919$$

$$\Phi_1 = - \frac{0,53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0,5 \cdot \delta_1)} = -0,53 \cdot 0,5475 / [0,6344 \cdot 0,5515 \cdot 0,4919 \cdot \sin(0,5 \cdot 2,094)] = (-1,947)$$

$$\Phi_{21} = 0$$

$$\Phi_{22} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s-c) \cdot n_T \cdot [\sigma]} \cdot K_2 = 0,1331 \cdot 1600 / (2 \cdot (5,669 - 0,04000)) \cdot 1 / (1,1 \cdot 254,5) = 0,06756$$

Примечание: в соответствии с п. 1.2.3 ГОСТ 26202-84 при $\Phi_{2i} < 0$ в расчёте K_1 знаки Φ_1 и Φ_2 меняют на противоположные

$$K_1 = \begin{cases} \left(\frac{1 + 3 \cdot \Phi_1 \cdot \Phi_2}{3 \Phi_1^2} \right) \left(\pm \sqrt{\frac{9 \cdot \Phi_1^2 (1 - \Phi_2^2)}{(1 + 3 \cdot \Phi_1 \cdot \Phi_2)^2} + 1} - 1 \right); & K_1 \geq 0 \text{ при } \Phi_1 \neq 0 \\ 1,5 \cdot (1 - \Phi_2^2) & \text{при } \Phi_1 = 0 \end{cases} \begin{cases} = 0,4332 & \text{при } \Phi_2 = \Phi_{21} \\ = 0,462 & \text{при } \Phi_2 = \Phi_{22} \end{cases}$$

$$K_1 = \min\{0,4332, 0,462\} = 0,4332$$

Расчёт в точке 3:

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_B = K_1 \cdot [\sigma] \cdot \frac{n_T}{K_2} = 0,4332 \cdot 254,5 \cdot 1,1 / 1 = 121,3 \text{ МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении :

$$[F]_3 = \frac{0,9 \cdot [\sigma]_B \cdot \sqrt{D \cdot (s-c)} \cdot (s-c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = \frac{0,9 \cdot 121,3 \cdot (1600 \cdot (5,669 - 0,04000))^{1/2} \cdot (5,669 - 0,04000)}{0,4919 \cdot (0,6344 \cdot 0,5515 \cdot 0,4919)} = 3,388 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Условие прочности:

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

$$[F] = 3,295 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$2,928 \cdot 10^4 \text{ Н} \leq 3,295 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Проверка условия устойчивости

Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений :

$$F_e = F \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{s-c}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 2,928 \cdot 10^4 \cdot 3,142 / 4 \cdot (1600 / (4 - 0,04000))^{1/2} \cdot 0,07095 \cdot 0,1026 = 3364 \text{ Н}$$

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

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

$$\frac{|p|}{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{уст}}} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0,04320 + 3364 / 2,366 \cdot 10^6 + 3904 / 1,047 \cdot 10^6 + (2,076 \cdot 10^4 / 6,599 \cdot 10^5)^2 = 0,006138$$

$$0,006138 \leq 1,0$$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено**

Нагрузки на фундамент (Опора седловая №1)

Состояние	Вертикальная сила, Н	Изгибающий момент в поперечной плоскости, Н м	Изгибающий момент в продольной плоскости, Н м	Поперечная сила, Н	Продольная сила, Н
Рабочие условия	2,621·10 ⁴	0	4715	0	0
Условия испытаний	2,928·10 ⁴	0	5353	0	0

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ

Лист

84

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

					<i>ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>85</i>

УТВЕРЖДАЮ

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ (НАПЛАВКИ)
СВАРНЫХ ШВА №1 ГОРИЗОНТАЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРА

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ПБ 03-584-03
2	Способ сварки	УП
3	Основной материал (марки)	09Г2С
4	Основной материал (группа)	М01
5	Сварочные материалы	СВ-08Г2С
6	Толщина свариваемых деталей	4,0
7	Диаметр деталей в зоне сварки	1600
8	Тип шва	СШ
9	Тип соединения	Стыковое, С7 ГОСТ 14771-76
10	Вид шва соединения	дс, зк
11	Форма подготовки кромок	Без разделки кромок
12	Положение при сварке	Н1 (не поворотное)
13	Вид покрытия электродов (для РД)	-
14	Режимы подогрева	Подогрев отсутствует
15	Режимы термообработки	Термообработка отсутствует
16	Дополнительные параметры	нет

Таблица 1. – Последовательность выполнения и форма сварного соединения.

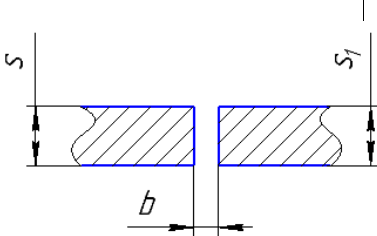
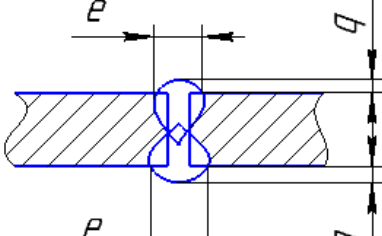
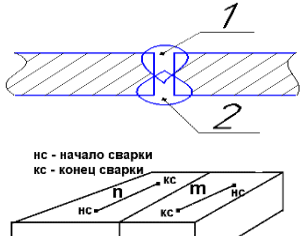
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

Таблица 2. – Геометрические размеры сварных соединений, мм и количество проходов (слоев) шва N.

S=S1	N	b		e = e1		q = q1	
		Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.
4,0	2	0	+0,5	8	+1,0	1,5	±1,0

Сварочное оборудование (тип): тип: Универсальный автомат АДФГ-630.

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

Требования к прихватке: 2-3 прихватки равномерно по периметру. Длина каждой прихватки – 20–30 мм; высота – 3,0-4,0 мм.

Защита сварочной ванны/защита корня шва: защита сварочной ванны.

Газ/флюс: углекислый газ высшего сорта по ГОСТ 8050-85.

Неплавящийся электрод (тип, размер): нет.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ

Лист

86

Детали формирования корня шва: Шов выполняется без подкладки.

Технологические параметры сварки*

Номер слоя (валика)	Диаметр электрода, мм	Род и полярность тока	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость подачи проволоки, м/ч	Расход газа (смеси) в сварочной горелке, л/мин
1	2	3	4	5	7	8
1	1,2	по	160-180	27-29	240-244	9-11
2	1,2	по	160-180	27-29	240-244	9-11

Примечания: 1) – скорость подачи проволоки дана для справки.

Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный	РД 03-606-03	ПБ 03-584-03 РД 03-606-03 РДИ 38.18.019-95 СТО 00220368-010-2007 СТО 00220256-005-2005	100 %
Измерительный	РД 03-606-03		100 %
Капиллярный	РДИ 38.18.019-95		100 %
Ультразвуковой	СТО 00220256-005-2005		< 10 %
Гидравлические испытания	РД 24.200.11-90.		100%

Разработал:

(подпись)

/Шохин С.С./

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ

Лист

87

УТВЕРЖДАЮ

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ (НАПЛАВКИ)
СВАРНЫХ ШВА №2 ГОРИЗОНТАЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРА

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ПБ 03-584-03
2	Способ сварки	УП
3	Основной материал (марки)	09Г2С
4	Основной материал (группа)	М01
5	Сварочные материалы	СВ-08Г2С
6	Толщина свариваемых деталей	4,0
7	Диаметр деталей в зоне сварки	1600
8	Тип шва	СШ
9	Тип соединения	Стыковое, С7 ГОСТ 14771-76
10	Вид шва соединения	дс, зк
11	Форма подготовки кромок	Без разделки кромок
12	Положение при сварке	Н1 (поворотное)
13	Вид покрытия электродов (для РД)	-
14	Режимы подогрева	Подогрев отсутствует
15	Режимы термообработки	Термообработка отсутствует
16	Дополнительные параметры	нет

Таблица 1. – Последовательность выполнения и форма сварного соединения.

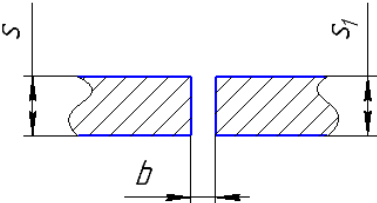
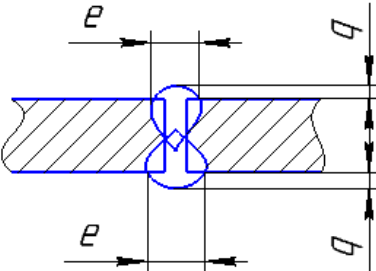
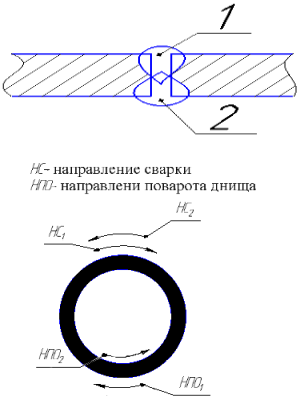
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		 <p>НС- направление сварки НП- направлени поворота днища</p>

Таблица 2. – Геометрические размеры сварных соединений, мм и количество проходов (слоев) шва N.

S=S1	N	b		e = e1		q = q1	
		Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.
4,0	2	0	+0,5	8	±1,0	1,5	±1,0

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ

Лист

88

Сварочное оборудование (тип): тип: Инверторный сварочный аппарат BLUE WELD MEGAMIG 580.
 Метод подготовки и очистки: Зачистка механическим способом до металлического блеска участков металла от кромок разделки на ширину не менее 20 мм с наружной и внутренней стороны.
 Требования к прихватке: 2-3 прихватки равномерно по периметру. Длина каждой прихватки – 20–30 мм; высота – 3,0–4,0 мм.
 Защита сварочной ванны/защита корня шва: защита сварочной ванны.
 Газ/флюс: углекислый газ высшего сорта по ГОСТ 8050-85.
 Неплавящийся электрод (тип, размер): нет.
 Детали формирования корня шва: Шов выполняется без подкладки.

Технологические параметры сварки*

Номер слоя (валика)	Диаметр электрода, мм	Род и полярность тока	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость подачи проволоки, м/ч	Расход газа (смеси) в сварочной горелке, л/мин
1	2	3	4	5	7	8
1	1,2	по	160-180	27-29	240-244	9-11
2	1,2	по	160-180	27-29	240-244	9-11

Примечания: 1) – скорость подачи проволоки дана для справки.

Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный	РД 03-606-03	ПБ 03-584-03 РД 03-606-03 РДИ 38.18.019-95 СТО 00220368-010-2007 СТО 00220256-005-2005	100 %
Измерительный	РД 03-606-03		100 %
Капиллярный	РДИ 38.18.019-95		100 %
Ультразвуковой	СТО 00220256-005-2005		< 10 %
Гидравлические испытания	РД 24.200.11-90.		100%

Разработал:

(подпись)

/Шохин С.С./

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ

Лист

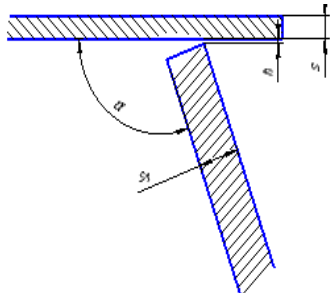
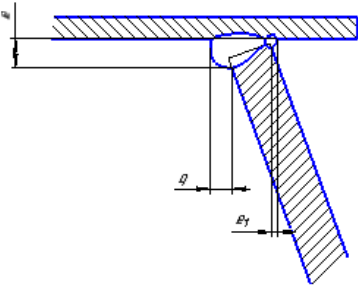
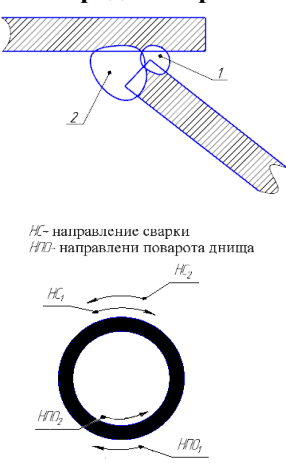
89

УТВЕРЖДАЮ

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ (НАПЛАВКИ)
СВАРНЫХ ШВОВ №3 ГОРИЗОНТАЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРА

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ПБ 03-584-03
2	Способ сварки	УП
3	Основной материал (марки)	09Г2С
4	Основной материал (группа)	М01
5	Сварочные материалы	Св-08Г2С
6	Толщина свариваемых деталей	4,0;8,0
7	Диаметр деталей в зоне сварки	1600
8	Тип шва	СШ
9	Тип соединения	Тавровое, Т2 ГОСТ 23518-79
10	Вид шва соединения	дс, зк
11	Форма подготовки кромок	Без разделки
12	Положение при сварке	Н1 (поворотное)
13	Вид покрытия электродов (для РД)	нет
14	Режимы подогрева	Подогрев отсутствует
15	Режимы термообработки	Термообработка отсутствует
16	Дополнительные параметры	нет

Таблица 1. – Последовательность выполнения и форма сварного соединения.

Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		 <p>HC- направление сварки HTO- направление поворота дна</p>

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ

Лист

90

Таблица 2. – Геометрические размеры сварных соединений, мм и количество проходов (слоев) шва N.

S	S1	N	b		e1		e		q		β	
			Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.
8	4	2	0	+1	5	+0,5	7	+1,0	4	±2	110	+1

Сварочное оборудование (тип): *тип: Инверторный сварочный аппарат BLUE WELD MEGAMIG 580*

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

Требования к прихватке: *2-3 прихватки равномерно по периметру. Длина каждой прихватки – 20–30 мм; высота – 3,0-4,0 мм.*

Защита сварочной ванны/защита корня шва: *защита сварочной ванны.*

Газ/флюс: *углекислый газ высшего сорта по ГОСТ 8050-85;*

Неплавящийся электрод (тип, размер): *нет.*

Детали формирования корня шва: *Шов выполняется без подкладки.*

Параметры процесса сварки (наплавки)

Номер слоя (валика)	Диаметр электрода, мм	Род и полярность тока	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи проволоки, м/ч	Расход газа (смеси) в сварочной горелке, л/мин
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1,2	по	160-180	27-29	24-26	240-244	10-12
2	1,6	по	230-250	30-32	25-27	250-252	9-12

Примечания: 1) – скорость сварки дана для справки.

Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный	РД 03-606-03	ПБ 03-584-03 РД 03-606-03 РДИ 38.18.019-95 СТО 00220368-010-2007 СТО 00220256-005-2005	100 %
Измерительный	РД 03-606-03		100 %
Капиллярный	РДИ 38.18.019-95		100 %
Ультразвуковой	СТО 00220256-005-2005		< 10 %
Гидравлические испытания	РД 24.200.11-90.		100%

Разработал: _____

/Шохин С.С.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ

Лист

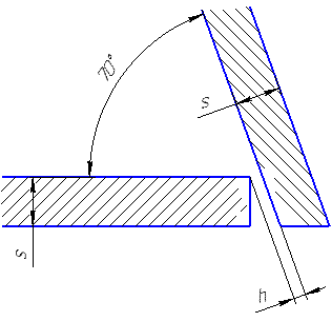
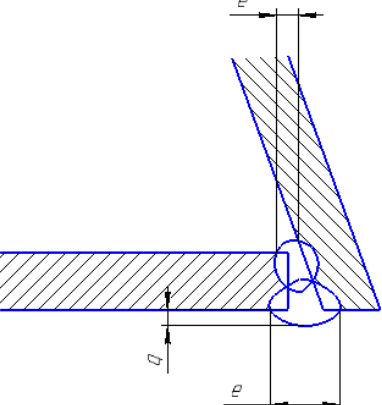
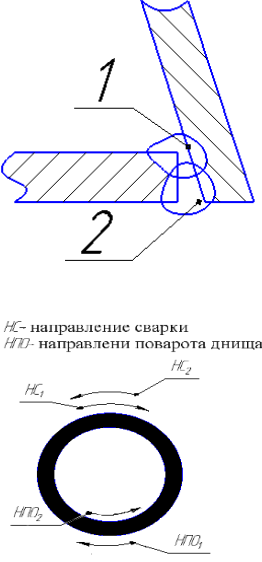
91

УТВЕРЖДАЮ

**КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ (НАПЛАВКИ)
СВАРНЫХ ШВОВ №4 ГОРИЗОНТАЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРА**

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ПБ 03-584-03
2	Способ сварки	РД
3	Основной материал (марки)	09Г2С
4	Основной материал (группа)	М01
5	Сварочные материалы	УОНИ 13/55
6	Толщина свариваемых деталей	8,0
7	Диаметр деталей в зоне сварки	80
8	Тип шва	СШ
9	Тип соединения	Угловое, УЗ ГОСТ 11534-75.
10	Вид шва соединения	дс, зк
11	Форма подготовки кромок	Без разделки
12	Положение при сварке	Н45 (поворотное)
13	Вид покрытия электродов (для РД)	Основное (Б)
14	Режимы подогрева	Подогрев отсутствует
15	Режимы термообработки	Термообработка отсутствует
16	Дополнительные параметры	нет

Таблица 1. – Последовательность выполнения и форма сварного соединения.

Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		 <p>HC- направление сварки HΠO- направление поворота днища</p>

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ

Лист

92

Таблица 2. – Геометрические размеры сварных соединений, мм и количество проходов (слоев) шва N.

S	S1	N	b		g		e		e ₁		α		β	
			Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. Откл.
8	8	2	2	-1; +1,5	1,5	±1	8	±2,0	3	±2	20	±5,0	70	±5,0

Сварочное оборудование (тип): тип.: Инверторный сварочный аппарат BLUE WELD MEGAMIG 580

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

Требования к прихватке: 2-3 прихватки равномерно по периметру. Длина каждой прихватки – 20–30 мм; высота – 3,0–4,0 мм.

Защита сварочной ванны/защита корня шва: нет.

Газ/флюс: нет.

Неплавящийся электрод (тип, размер): нет.

Детали формирования корня шва: Шов выполняется без подкладки.

Параметры процесса сварки (наплавки)

Номер слоя (валика)	Диаметр электрода, мм	Род и полярность тока	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч
1	2	3	4	5	7
1	4	по	110-130	18-20	4-6
2	4	по	110-130	18-20	4-6

Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный	РД 03-606-03	ПБ 03-584-03 РД 03-606-03 РДИ 38.18.019-95 СТО 00220368-010-2007 СТО 00220256-005-2005	100 %
Измерительный	РД 03-606-03		100 %
Капиллярный	РДИ 38.18.019-95		100 %
Ультразвуковой	СТО 00220256-005-2005		< 10 %
Гидравлические испытания	РД 24.200.11-90.		100%

Разработал:

/Шохин С.С./

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ

Лист

93

ПРИЛОЖЕНИЕ В

					<i>ПГУ.ВКР.15.03.01.12М0120.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>94</i>