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 вертикального резервуара РВС27000м^3 из сталей 09Г2С и Ст.3сп»

Студент _____ 14.06.18 (подпись, дата) *Качалкин Максим Николаевич* (фио полностью)

Научный руководитель
к.т.н., профессор _____ 14.06.18 (подпись, дата) *Казанцев И.А.* (фамилия, инициалы)

Нормоконтролёр
к.т.н., доцент _____ 18.06.18 (подпись, дата) *Хорин А.В.* (фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от 4.06.18 № 11)

Заведующий кафедрой _____ 14.06.18 (подпись, дата) *Логинов О.Н.* (фамилия, инициалы)

Работа защищена с отметкой отлично (протокол заседания ГЭК от 18.06.2018 №4)

Секретарь ГЭК _____ 18.06.2018 (подпись, дата) *Гуськов М.С.* (фамилия, инициалы)
к.т.н., доцент

Пенза 2018

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

Качалкин Максим Николаевич.

Научный руководитель работы: *к.т.н., профессор Казанцев И.А.*
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 вертикального резервуара РВС27000м^3 из сталей 09Г2С и Ст.3сп.*
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 вертикального резервуара с учетом мелкосерийного производства.

- производство: мелкосерийное;
- Вертикальный резервуар (РВС) предназначен для хранения, учета, приемки и отпуска нефти и 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;
- конструкторско-технологическая характеристика и служебное назначение корпуса вертикального резервуара РВС27000м^3 из сталей 09Г2С и Ст.3сп;
- проектирование технологического процесса сборки и сварки корпуса вертикального резервуара РВС27000м^3 из сталей 09Г2С и Ст.3сп;
- расчеты и назначение режимов сварки;
- проектирование технологической оснастки, выбор оборудования;

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

Графическая часть бакалаврской работы (перечень и содержание плакатов)

- общий вид резервуара	*1л А1;*
- технологические параметры режимов сварки	*1л А1;*
- схема сборки и сварки резервуара	*1л А1;*
- методы контроля сварных швов и КСС	*1л А1;*
- средства технологического оснащения	*1л А1;*
- последовательность выполнения сварных швов стенки	*1л А1;*
- последовательность выполнения сварных швов днища	*1л А1;*

Рекомендуемая литература:

1. **Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия.** [Текст]: ГОСТ 31385-2016. - Введ. 03-01-2016. - М.: Изд-во стандартов, 2016. - 88 с.: ил.

2. **Правила проектирования, изготовления и монтажа вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов** [Текст]: СТО-СА 03-002-2009. - Введ. 01-07-2009. - М.: Изд-во ООО НПК Изотермик, 2009. - 203 с.: ил.

3. **Нормы проектирования стальных вертикальных резервуаров для хранения нефти объемом 1000-50000 м^3** [Текст]: РД 16.01-60.30.00-КТН-026-1-04. - Введ. 21.04.2004. - М.: Изд-во ОАО "АК "Транснефть", 2004. - II, 193 с.: ил.

Дата выдачи задания: 08.12.2017 г.

Руководитель ВКР:

к.т.н., профессор _____ И.А. Казанцев

Задание к исполнению принял студент

гр. 14МО1 _____ М.Н. Качалкин

08 декабря 2017 г.

Выпускную квалификационную работу к защите допустить

Декан факультета машиностроения и транспорта

Политехнического института ПГУ _____ С.Ю. Киреев

ОПОП освоена и подлежит
К государственной итоговой
аттестации допустить

Аннотация

Выпускная квалификационная работа содержит 151 с., 109 рис., 26 табл., 28 использованных источников, 3 прил. Графическая часть из 7 листов формата А1.

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ РЕЗЕРВУАР, РАСЧЕТ, ПАРАМЕТРЫ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕЕС, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, КОНТРОЛЬ, РЕЖИМЫ, СВАРКА

Объектом разработки является сварная конструкция корпуса вертикального резервуара.

Предметом исследования является процесс сборки и сварки вертикального резервуар из сталей 09Г2С и Ст3сп.

Цель работы: Разработать технологию сборки и сварки корпуса вертикального резервуара обеспечивающее повышение производительности, простоты, надежности и безопасности в работе, уменьшение энерго- и металлоемкости.

Задачи выпускной квалификационной работы:

– спроектировать сварную конструкцию корпуса вертикального резервуара;

– разработать технологию сборки и сварки вертикального резервуара, а также средства технологического оснащения для последующих операций сборки и сварки.

В работе была рассмотрена базовая технология изготовление, и на основе ее был разработан новый технологический процесс, обеспечивающий повышения производительности, простоты, надежности и безопасность в работе, уменьшения энерго- и металлоемкости.

Содержание

Введение 5
1 Литературно-патентный обзор 6
2 Анализ объекта производства 12
2.1 Служебное назначение и описание конструкции изделия 12
2.2 Технические требования 13
3 Проектирование и расчет элементов конструкции изделия 15
3.1 Выбор материала изделия 15
3.2 Геометрические параметры резервуара 18
3.3 Расчет стенки резервуара на прочность по РД 16.01-60.30.00-КТН-026-1-04 23
3.4 Расчет стенки резервуара на прочность по РД 153-112-017-097 27
3.5 Расчет стенки резервуара на устойчивость 29
3.6 Расчет днища резервуара 38
3.7 Сварные соединения и швы 39
4 Разработка технологии сборки и сварки изделия 42
4.1 Разработка схемы технологического процесса изготовления 42
4.2 Заготовительные операции 42
4.3 Оценка свариваемости основных материалов конструкции 59
4.4 Выбор и обоснование способов сборки и сварки изделия 60
4.4.1 Монтаж окраек днища 62
4.4.2 Порядок укладки днища 67
4.4.3 Последовательность выполнения сварки днища 71
4.4.4 Подготовка к монтажу стенки резервуара 75
4.4.5 Монтаж I-го пояса стенки 82
4.4.6 Монтаж II-VIII-го поясов стенки 88
4.4.7 Монтаж IX-го пояса стенки 92
4.4.8 Последовательность выполнения сварки резервуара 96
4.5 Исправление дефектов сварных соединений 102

4.6 Выбор сварочных материалов 103
4.7 Расчет параметров режимов сварки 104
4.7.1 Расчет режимов механизированной сварки в защите углекислого газа шва №1 104
4.7.2 Расчет режимов механизированной сварки в защите углекислого газа шва № 2 115
4.7.3 Расчет режимов механизированной сварки в защите углекислого газа шва № 3 120
4.7.4 Расчет режимов автоматической сварки под слоем флюса шва № 4 126
4.8 Выбор сварочного оборудования 129
5. Контроль качества сварных соединений 133
5.1 Механические испытания 133
5.2 Визуально измерительный контроль 134
5.3 Радиографический контроль 136
5.4 Ультразвуковой контроль 137
5.5 Капиллярный метод контроля 137
5.6 Вакуумный метод контроля 138
5.7 Гидравлические испытания 138
6. Выбор и модернизация средств технологического оснащения 140
6.1 Расчет технологического оснащения в программе SolidWorks 145
6.1.1 Расчет сборочного приспособление для ориентации в вертикальное положение первого пояса резервуара 145
Заключение 147
Список литературы 148
Приложение А 152
Приложение Б 154
Приложение В 170

Ведение

Сварка – это процесс получения сварного не разъемного соединения. Сварку используют уже десятки лет в индустрии и в народном хозяйстве. Нет области в жизнедеятельности, где бы ни применяли сварку. Это машиностроение, авиастроение, космонавтика и т д. Сварочные работы применяют не только на земле, но и под водой, а так, же в открытом космосе.

Сварочные работы играют главную роль в развитие городов и индустриальных проектов. Все мосты, автодорожные развязки в городах, так же созданы с помощью сварки.

Существует более 60 видов сварки, которые классифицируются по основным физическим, техническим и технологическим признакам. Предусматривается три класса сварки: термический, термомеханический и механический.

Сварные конструкции можно классифицировать в зависимости от характерных особенностей их работы. Балки – это конструктивные элементы, работающие в основном на изгиб. Колонны – элементы работающие на сжатие. Решеточные конструкции – это стержни соединенные в узлах, испытывающие в основном растяжение или сжатие, в их состав относятся каркасы, фермы, мачты, арматурные сетки. Корпусные транспортные конструкции, детали машин, приборы и резервуары. 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.

1 Литературно-патентный обзор

Согласно ГОСТ Р 15.011-96 [1] патентное исследование (обзор) – это исследования технического уровня и тенденций развития объектов хозяйственной деятельности, их патентоспособности, патентной чистоты, конкурентоспособности (эффективности использования по назначению) на основе патентной и другой информации.

В данной выпускной квалификационной работе рассматривается, технологический процесс сборки и сварки элементов конструкции вертикального цилиндрического резервуара непосредственно на монтажной площадке.

Патентное исследование проводится в следующем порядке:

– формулируется краткое чёткое задание;

– разрабатывается регламент поиска;

– обосновывается индекс международной патентной классификации (МПК);

– систематизируется и анализируется отобранная информация;

– обобщаются результаты, разрабатываются рекомендации;

– составляется отчёт.

Проектируемая конструкция изготавливается при единичном производстве, в данных условиях необходимо насколько возможно повысить процесс сборки и сварки, для более качественного и быстрого выпуска продукции. Для этого необходимо выбрать метод сборки резервуара.

В производстве таких конструкций, как проектируемый резервуар применяют два метода сборки, рулонированием и полистовой сборкой.

Целью данного патентного исследования является исследование технического уровня и тенденции развития сборки и сварки вертикального цилиндрического резервуара.

Регламент поиска состоит из определения вида поиска, его глубины или ретроспективности (количества лет), также в регламент поиска указывается

перечень стран ограничивающие 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 обеспечит качество и достоверность патентных исследований.

Дата составления регламента: – 7.02.2018 г.

Объект поиска: – Устройства и способы монтажа рулонных резервуаров.

Начало поиска: – 7.02.2018 г.

Завершение поиска: – 16.05.2018 г.

Страны поиска: – Россия.

Ретроспективность: – 30 лет.

Основные элементы регламента приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Регламент поиска

Предмет поиска	Индекс МПК	Широта поиска	Глубина поиска	Источники информации
1	2	3	4	5
Цилиндрическая рулонируемая обечайка	*E*04*H*7/06	СССР	30 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС [2]
Устройство для монтажа рулонных резервуаров со ступенчатыми монтажными стыками стенки	*E*04*H*7/04	Россия	30 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС [2]

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
Способ возведения металлических емкостей из рулонных заготовок	*E*04*H*7/06	Россия	30 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС [2]
Устройство для ремонта резервуара	*E*04*H*7/06	Россия	30 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС [2]
Способ ремонта вертикальной стенки вертикального стального резервуара	*E*04*H*7/06	Россия	30 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС [2]

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 *E* – Строительство и горное дело.

Каждый раздел делится на классы. Класса состоит из индекса раздела и числа. Заголовок класса отражает его содержание. Класс *E*04 – Наземное строительство.

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 *E*04H – Здания и подобные сооружения специального назначения; плавательные и мелкие ванны или бассейны; мачты; ограды; палатки, тенты или навесы вообще.

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. Рубрика 7/00 – Резервуары.

В результате проведения поиска было выявлены объектов изобретений по направлению:

– *E*04*H*7/06 – цилиндрическая рулонируемая обечайка;

– *E*04*H*7/04 – устройство для монтажа рулонных резервуаров со ступенчатыми монтажными стыками стенки;

– *E*04*H*7/06 – способ возведения металлических емкостей из рулонных заготовок;

– *E*04*H*7/06 – устройство для ремонта резервуара;

– *E*04*H*7/06 – Способ ремонта вертикальной стенки вертикального стального резервуара.

Результаты проведённого поиска отображены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты поиска патентной информации

Предмет поиска (объект исследования, его составные части)	Страна выдачи вид и номер охранного документа. Классификационный индекс МПК	Заявитель (патентообладатель), страна, номер заявки, дата приоритета, дата публикации	Название изобретения (полной модели, образца)
1	2	3	4
Технология сборки цилиндрического резервуара	СССР, *SU*1481361*A1*, *E*04*H*7/06	Дидковский О.В., СССР, 4148585, Приоритеты 20.11.1986г 23.05.1989г	Цилиндрическая рулонируемая обечайка [3]

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
Технология сборки цилиндрич еского резервуара	Россия, *RU*2553808*C1*, *E*04*H*7/04	Курышев А. Е., Россия, 2013151629/03, Приоритеты 20.11.2013г 20.11.2013г	Устройство для монтажа рулонных резервуаров со ступенчатыми монтажными стыками стенки [4]
Технология сборки цилиндрич еского резервуара	Россия, *RU*2250331*C1*, *E*04*H*7/06	Денисова А.П., Ращепкина С.А., Ращепкина А.А., Россия, 2003126082/03, Приоритеты 25.08.2003г 25.08.2003г	Способ возведения металлическ их емкостей из рулонных заготовок [5]
Технология ремонта цилиндрич еского резервуара	Россия, *RU*2196210*C2*, *E*04*H*7/06	Кулибаев Т.А., Мамонов Ф.А., Аймурзаев Е.А., Попов В.В., Россия, 2000101635/03, Приоритеты 20.01.2000г 20.01.2000г	Устройство для ремонта резервуара [6]
Технология ремонта цилиндрич еского резервуара	Россия, *RU*2559987*C2*, *E*04*H*7/06	Курышев А. Е Россия, 2013152067/03, Приоритеты 22.11.2013г 22.11.2013г	Способ ремонта вертикальной стенки вертикального стального резервуара [7]

Проанализировав найденную информацию и сравнив ее, сделаем вывод применительно к технологии сварки корпуса цилиндрического резервуара:

– Современный технический уровень в области сварки корпуса цилиндрического резервуара направлен в сторону повышения степени механизации сварочных процессов, повышения производительности труда, совершенствования оборудования и сварочных материалов.

– Выбор предлагаемой технологии сборки цилиндрического резервуара, обосновываем тем, что в условиях единичного и мелкосерийного производства эта технология наиболее эффективна. Ее эффективность выражается в доступной цене оборудования, наименьшим сроке окупаемости нововведения. При этом данная технология дает возможность получения надёжной конструкции за счет более полного использования свойств материалов.

После проведения литературно-патентного обзора определен технический уровень и тенденций развития в области технологии сварки корпуса цилиндрического резервуара, найдена патентная информация.

2 Анализ объекта производства

2.1 Служебное назначение и описание конструкции изделия

Вертикальный цилиндрический резервуар относится к числу негабаритных сооружений и емкостям, которые эксплуатируют как при положительных, так и при отрицательных температурах.

Резервуар вертикальный стальной предназначен для хранения, учета, приемки и отпуска нефти и нефтепродуктов.

РВС состоит из следующих основных элементов:

– Корпус (стенка) резервуара изготавливается в виде поясов, толщина стенки изменяется по высоте резервуара. Самый нижний пояс имеет максимальную толщину.

– Крыша резервуара собирается из крупноразмерных металлических щитов.

– Днище резервуара сварное, из листов толщиной 9 мм, расположено на фундаменте и имеет уклон наклона от центра к периферии. Уклон днища необходим для стока и удаления жидкости при подготовке резервуара к ремонту.

Резервуар оборудуется средствами пожаротушение:

– Система орошения применяется для охлаждения горящего резервуара, а так же его охлаждения при возгорании соседнего резервуара.

– Генераторы пены, предназначены для пенного пожаротушения нефтепродуктов внутри резервуара.

Для защиты от попадания молнии и предотвращения образования разряда статического электричества, резервуар оснащается молниеотводами и заземлением.

Характеристики проектируемого корпуса вертикального цилиндрического резервуара:

– объем резервуара 27000 м^3;

– рабочая среда – сырая нефть;

– избыточное давление – 2000 Па;

– вакуум – 65 Па;

– рабочая температура от 0 до плюс 50° С;

– рабочая среда – пожароопасная;

– ветровая нагрузка 300 Па;

– снеговая нагрузка $P^{н}_{с.п.}$ =800 Па;

– плотность нефти 880 кг/м^3;

– класс опасности – 2;

– группа – 5;

– срок службы 20 лет.

2.2 Технические требования

Вертикальный цилиндрический резервуар проектируется на основе технической документации, к ней относится ГОСТ 31385-2016 [8], СТО-СА 03-002-2009 [9].

Требования к проектированию резервуар:

– Резервуарные конструкции следует проектировать таким образом, чтобы при изготовлении, монтаже и эксплуатации обеспечивались механическая (конструкционная) безопасность, надежность и долговечность сооружения.

– При проектировании резервуаров и при последующей их эксплуатации должны быть предусмотрены меры по предотвращению возникновения в газовом пространстве резервуаров избыточного (аварийного) давления и вакуума.

– Стандарт не устанавливает требований к технологическому проектированию, проектированию электроснабжения, противопожарного оборудования, систем контрольно-измерительных приборов и автоматизации и

прочего оборудования, эксплуатации и обслуживанию, а также требований к разработке проекта производства работ по ремонту.

Требования по обеспечению надежности, механической (конструкционной) безопасности и долговечности [8].

Резервуарные конструкции должны обладать необходимой несущей способностью при возможных неблагоприятных сочетаниях нагрузок и воздействий, которые могут возникнуть в процессе строительства и в течение расчетного срока службы.

Расчетные ситуации должны учитывать [8]:

– все виды нагрузок и воздействий в соответствии с функциональным назначением и конструктивными решениями;

– климатические, технологические нагрузки и воздействия;

Основные параметры, обеспечивающие надежность резервуара:

– характеристики сечений основных несущих и ограждающих конструкций;

– свойства стали;

– качество сварных соединений.

Кромки и свариваемая поверхность должны быть зачищены от всех возможных загрязнений.

Сварку необходимо осуществлять под укрытием, для защиты свариваемой поверхности и сварных швов от ветра и осадков.

К прихваткам предъявляют требования, как и к сварным швам. Качество прихваток контролируют визуально-измерительным контролем (ВИК).

Прихватки, с дефектами, должны быть зачищены механическим способом.

Прихватки выполняются с полным проплавлением.

При многопроходной сварке, каждый предыдущий проход зачищается механическим способом до чистого металла и тщательно осматривается на наличие дефектов.

Подрезы, трещины и поры не допускаются.

Участки с дефектами зачистить и заварить.

Монтажные швы выполняются по ГОСТ 14771-76 [10] и по ГОСТ 8713-79 [11].

Антикоррозийная защита.

С вязи с тем, что углеродистые и низколегированные стали подвержены коррозии, их необходимо защитить от взаимодействия окружающей среды с поверхностью металла.

Перед тем как нанести антикоррозийное покрытие необходимо:

– Зачистить метал от ржавчины, окалин, и других поверхностных дефектов металла.

– Зачистить сварные швы от шлака, брызг, наплывов.

– Сварные швы должны быть без сварных неровностей, наплывов, подрезов и иметь плавный переход к основному металлу.

– Все поверхности должны быть обеспылены, обезжирены, и отчищены от оксидов.

Не допускаются подтеки лакокрасочных и металлизационно-лакокрасочных покрытий.

Срок службы антикоррозионных покрытий должно быть не менее 10 лет.

3 Проектирование и расчет элементов конструкции изделия

3.1 Выбор материала изделия

Резервуары изготавливаются в соответствии с ГОСТ 31385-2016 [8] из нержавеющей, малоуглеродистой и низколегированной листовой стали.

Стали, используемые в конструкциях резервуаров, должны удовлетворять стандартам и техническим условиям [8] и [9].

Все элементы конструкций по требованиям к материалам разделяются на две группы:

– основные конструкции:

а) Подгруппа А – стенка, привариваемые к стенке листы днища или кольцевые окрайки, обечайки люков и патрубков в стенке и фланцы к ним, привариваемые к стенке усиливающие накладки, опорное (верхнее) кольцо жесткости.

б) Подгруппа Б – центральная часть днища, анкерные крепления, каркас крыши (включая фасонки), настил крыши, самонесущие конические крыши, плавающие крыши, промежуточные кольца жесткости, оболочки люков и патрубков на крыше.

– вспомогательные конструкции: лестницы, площадки, ограждения и др.

Для конструкций резервуаров должна применяться сталь, выплавленная электропечным, кислородно-конвертерным или мартеновским способом. В зависимости от требуемых показателей качества и толщины проката сталь должна поставляться в состоянии после горячей прокатки, термической обработки (нормализации или закалки с отпуском) или после контролируемой прокатки.

Для основных конструкций подгруппы «А» должна применяться только спокойная (полностью раскисленная) сталь [8].

При сварке плавлением качество сварочных материалов и технология сварки должны обеспечивать прочность и вязкость металла сварного соединения не ниже, чем требуется для исходного основного металла.

Углеродный эквивалент стали с пределом текучести 390 МПа и ниже для основных элементов конструкций не должен превышать0,43.

Листовой прокат, применяемый для изготовления конструкций резервуаров, должен соответствовать по форме, размерам и предельным отклонениям по ГОСТ 19903-2015 [12].

Листовая сталь изготовляется толщиной от 4 до 50 мм, шириной от 1500 до 3000 мм, длиной от 6000 до 12000 мм с обрезными кромками. Сталь должна поставляться с симметричным расположением поля допуска по толщине либо с

несимметричным расположением поля допуска по толщине, но имеющим постоянное предельное нижнее отклонение, равное 0,3 мм [9].

Для изготовления вертикального резервуара выбираем сталь на основе исходных данных, и технологической документации.

Для изготовления основной конструкции стенок, окраек днища резервуара выбираем сталь для нижних поясов 09Г2С [9].

Применение – Различные детали и элементы сварных металлоконструкций, работающих при температуре от минус 70 до плюс 425°С под давлением.

Сталь 09Г2С – Сталь конструкционная низколегированная. Химические свойства представлены в таблице 3, механические свойства представлены в таблице 4.

Таблица 3 – Химический состав стали 09Г2С (С345) по ГОСТ 19281-2014 [13]

Элемент	Углерод C	Кремний Si	Марганец Mn	Никель Ni	Сера S	Фосфор P	Хром Cr	Медь Cu	Ванадий V
Содержание , %	до 0,12	0,5… 0,8	1,3… 1,7	до 0,3	до 0,035	до 0,03	до 0,3	до 0,3	до 0,08

Таблица 4 –Механические свойства при Т=20°С стали 09Г2С по [14]

Параметр	Предел текучести $\sigma_т$, МПа	Предел прочности $\sigma_в$, МПа	Относительное удлинение, δ_5, %	Ударная вязкость *KCU*, Дж/см^2 при температуре °С		
				20,0	-40,0	-70,0
	Не менее					
Значение	345,0	490,0	21,0	59,0	34,0	29,0

Для изготовления верхних поясов, крыши, лестницы выбираем сталь Ст3сп (С235) так как нагрузка на верхние пояса низкая, и применение прочной стали экономически не выгодно.

Сталь Ст3 – сталь обыкновенного качества. Химические свойства представлены в таблице 5, механические свойства представлены в таблице 6.

Применение – несущие элементы сварных и не сварных конструкций и деталей, работающих при положительных температурах, арматура класса Ат400С.

Таблица 5 – Химический состав стали Ст3(С235) по ГОСТ 380 - 2005 [15]

элементы	Углерод (С)	Кремний (Si)	Марганец(Mn)	Никель (Ni)	Сера (S)	Фосфор (P)	Хром (Cr)	Азот (N)	Медь (Cu)
Содержание, %	0,14…0,22	0,5…0,8	1,3…1,7	до 0,3	до 0,05	до 0,04	до 0,3	до 0,008	до 0,3

Таблица 6 – Механические свойства при Т=20°С стали Ст3сп [15]

Параметр	Толщина листа, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа	Предел прочности $\sigma_в$, МПа	Относительное удлинение, δ_5, %
		Не менее		
Значение	5,0…20,0	235,0	370,0…480,0	25,0

3.2 Геометрические параметры

Геометрические параметры рассчитываются согласно с исходными данными будущего резервуара.

Исходя из исходных данных, рассчитаем геометрические параметры вертикального цилиндрического резервуара объемом – 27000м^3

Принимаем высоту стенки из стандартных, рекомендованных геометрических параметров равной H=18000мм [8].

Рассчитаем диаметр резервуара по геометрической формуле:

$$4V = \pi \cdot d^2 H, \tag{3.1}$$

где V – объем резервуара, м^3;

d – диаметр резервуара, м;

H – высота стенки резервуара, м.

По выводимой формуле рассчитаем диаметр резервуара.

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi H}}, \tag{3.2}$$

где d – диаметр резервуара, м;

V – объем резервуара, м^3;

H – высота стенки резервуара, м.

Рассчитаем диаметр резервуара из исходных данных по формуле 3.2.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 27000}{3.14 \cdot 18}} = 43{,}71\,\text{м} = 43710\ \text{мм}$$

Определим оптимальные параметры цилиндрического резервуара.

Для изготовления резервуара полистовым методом выбираем стальные листы размерами 2000×8000мм [6]. Учитывая предварительную обработку листов, для получения необходимых геометрических форм, принимаем для расчета размеры листов 1990×7995 мм.

Определим количество поясов по математической формуле:

$$n_{\text{П}} = \left[\frac{H}{h_{\text{Л}}}\right], \tag{3.3}$$

где $n_{\text{П}}$– количество поясов;

H – высота резервуара, мм;

$h_{\text{Л}}$ – высота листа, мм;

Из заданных условий высота листа – 1990мм, высота резервуара 18000мм.

Рассчитаем количество поясов по формуле 3.3.

$$n_{\text{П}} = \left[\frac{18000}{1990}\right] = 9{,}045 \approx 9 \text{ или } 10 \text{ поясов}$$

Рассчитаем расчетную высоту резервуара по математической формуле:

$$H_i = n_{\text{П}i} \cdot h_{\text{Л}} \tag{3.4}$$

где H_i – расчетная высота резервуара, мм;

$n_{пi}$ – количество поясов, шт;

$h_л$ – высота листа, мм.

Рассчитаем расчетную высоту для 9-ти и 10-ти поясов резервуара по формуле 3.4.

$$H_1 = n_{п1} \cdot h_л = 9 \cdot 1990 = 17910 \text{ мм}$$

$$H_2 = n_{п2} \cdot h_л = 10 \cdot 1990 = 19900 \text{мм}$$

Радиус цилиндрического резервуара определяется по геометрической формуле:

$$R = \sqrt{\frac{V}{\pi \cdot H}}, \tag{3.5}$$

где R – радиус резервуара, м;

V – объем резервуара, м^3;

H – расчетная высота резервуара, мм.

Имея необходимые данные, рассчитаем возможные радиусы резервуара по формуле 3.5.

$$R_1 = \sqrt{\frac{27000}{3{,}14 \cdot 17{,}91}} = 21910 \text{ мм для 9 поясов}$$

$$R_2 = \sqrt{\frac{27000}{3{,}14 \cdot 19{,}9}} = 2078\,0 \text{ мм для 10 поясов}$$

Определим количество листов в каждом поясе при полистовой сборке по геометрической формуле:

$$n_л = \left[\frac{2\pi \cdot r}{l_л}\right], \tag{3.6}$$

где $n_л$ – количество листов в поясе, шт;

$l_л$ – длина листа, мм;

r – расчетный радиус резервуара, мм.

Для 9-ти поясового резервуара принимаем R_1=21910 мм, а длина листа составляет 7995 мм.

Рассчитаем количество листов в поясе по формуле 3.6.

$$n_{л} = \left[\frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 21{,}91}{7{,}995} \right] = 17{,}21 \text{ шт}$$

Число листов 17 или 17,3 шт.

Рассчитаем возможные радиусы цилиндрического резервуара по математической формуле:

$$R_{ri} = \left[\frac{n_{л} \cdot l_{л}}{2 \cdot \pi} \right], \quad (3.6)$$

где R_{ri} – возможные радиусы резервуара;

$n_{л}$ – количество листов в поясе, шт;

$l_{л}$ – длина листа, мм.

Рассчитаем расчетные радиусы резервуара, на основе известных данных по формуле 3.6.

$$R_{r1} = \left[\frac{17 \cdot 7{,}995}{2 \cdot 3{,}14} \right] = 21640 \text{ мм}$$

$$R_{r2} = \left[\frac{17{,}3 \cdot 7{,}995}{2 \cdot 3{,}14} \right] = 22020 \text{ мм}$$

Фактический объем резервуара рассчитывается по математической формуле:

$$V_{фi} = \pi \cdot R_i^2 \cdot H_i \quad (3.7)$$

где $V_{фi}$ – фактический объем резервуара, м^3;

R_i – расчетный радиус резервуара, м;

H_i – высота резервуара, м.

По ранее рассчитанным данным рассчитаем фактический объем резервуара по формуле 3.7

$$V_{ф1} = \pi \cdot R_2^2 \cdot H_1 = 3{,}14 \cdot 22{,}02^2 \cdot 17{,}91 = 27268 \text{ м}^3$$

$$V_{ф2} = \pi \cdot R_1^2 \cdot H_1 = 3{,}14 \cdot 21{,}64^2 \cdot 17{,}91 = 26335 \text{ м}^3$$

Исходя из двух вариантов рассчитанного фактического объема, выбираем, $V_{ф1}$ так как соответствует заданному объему разрабатываемого резервуара.

Принимаем количество листов равное 17,3, а число поясов 9.

Проведем проверочный расчет объема резервуара по следующему неравенству:

$$Vr \leq 5\%,$$

Проведем расчет объема резервуара по следующей формуле [8]:

$$\frac{V - Vr}{V} \cdot 100\%, \qquad (3.8)$$

где V – объем резервуара, м^3;

V_r – расчетный объем резервуара, мм.

Проведем проверочный расчет по формуле 3.8.

$$\frac{27000 - 27268}{27000} \cdot 100\% = 0{,}99\%$$

$$0{,}99\% \leq 5\%$$

Параметры резервуара:

– расчетный объем резервуара($V_р$) – 27268м^3;

– допустимый объем налива с учетом установки автоматической системы комбинированной пожаротушения (Пеногенератор) – 26187м^3;

– рассчитанная высота резервуара(H) – 17910 мм;

– высота налива $H_н$ – 17200 мм;

– расчетный радиус резервуара($R_р$) – 22020 мм;

– количество листов для изготовления одного пояса($n_л$) – 17,3 шт;

– количество поясов ($n_п$) – 9 шт.

3.3 Расчет стенки резервуара на прочность

Расчет толщины стенки ведется по РД 16.01-60.30.00-КТН-026-1-04 [16]:

$$t_c = \frac{[n_r \cdot \rho \cdot g \cdot (H_H - Z_i) + n_2 \cdot P_и] \cdot R_р}{\gamma_с \cdot R_{wy}}, \quad (3.9)$$

где $n_г$ – коэффициент надежности по нагрузке гидростатического давления;

ρ – плотность нефти, кг/м^3;

g – ускорение свободного падения, м/с^2;

$H_н$ – максимально допустимый уровень налива нефти, м;

Z_i – расстояние от днища до расчетного уровня, м;

n_2 – коэффициент надежности по нагрузке избыточного давления и вакуума;

$P_и$ – избыточное давление, Па;

$\gamma_с$ – коэффициент условий работы;

R_{wy} – вычислительное сопротивление материала пояса стенки по пределу текучести, Па [11].

Принимаем параметры для дальнейшего расчета ρ=880 кг/м^3, g=9,8067м/с^2, $H_н$=17,2м, $P_и$=2000Па, n_2 = 1,2, $n_г$ = 1,1, $\gamma_с$= 0,7 для нижнего пояса, $\gamma_с$ = 0,8 для остальных поясов.

Сопротивление материала стенки резервуаров по пределу текучести определяется по формулам [17]:

$$R_y = \frac{R_y^н}{\gamma_м}, \quad (3.10)$$

$$R_{yw} = R_y \cdot 0{,}85, \quad (3.11)$$

где $R_y^н$ – сопротивление растяжения (сжатия) металлической стенки равное минимальному значению предела текучести, принимаемому по ГОСТ 5520-79 [14];

$\gamma_м$ – коэффициенты надёжности по материалу.

Выбираем из известных параметров ГОСТ 5520-79 $R_y^н$ = 345 для стали 09Г2С, $\gamma_м$=1,025.

Рассчитаем расчетное сопротивление для стали 09Г2С по формулам 3.10 и 3.11.

$$R_y = \frac{345}{1{,}025} = 336{,}59\text{МПа}$$

$$R_{wy}=336{,}59\cdot 0{,}85=286{,}1\text{МПа}$$

где R_{yw} – расчетное сопротивление материала пояса стенки по пределу текучести составляет 286,1 МПа;

Определим минимальную конструктивную толщину стенки по таблице 7.

Таблица 7 – Минимальная конструктивная толщина стенки [16]

Параметр	значение		
Диаметр Резервуара, D, м	до 25,0	25,0…35,0	35,0
Минимальная конструктивная толщина стенки t_c, мм	9,0	10,0	11,0

Исходя из рассчитанных и принятых данных, рассчитаем толщину стенки по формуле 3.9.

$$t_{c1} = \frac{1000\cdot[1{,}1\cdot 880\cdot 9{,}8067\cdot(17{,}2-0)+1{,}2\cdot 2000]\cdot 22{,}02}{0{,}7\cdot 286100000} = 18{,}21\text{мм}$$

$$t_{c2} = \frac{1000\cdot[1{,}1\cdot 880\cdot 9{,}8067\cdot(17{,}2-1{,}99)+1{,}2\cdot 2000]\cdot 22{,}02}{0{,}8\cdot 286100000} = 14{,}12\text{мм}$$

$$t_{c3} = \frac{1000\cdot[1{,}1\cdot 880\cdot 9{,}8067\cdot(17{,}2-3{,}98)+1{,}2\cdot 2000]\cdot 22{,}02}{0{,}8\cdot 286100000} = 12{,}30\text{мм}$$

$$t_{c4} = \frac{1000\cdot[1{,}1\cdot 880\cdot 9{,}8067\cdot(17{,}2-5{,}97)+1{,}2\cdot 2000]\cdot 22{,}02}{0{,}8\cdot 286100000} = 10{,}48\text{мм}$$

$$t_{c5} = \frac{1000 \cdot [1{,}1 \cdot 880 \cdot 9{,}8067 \cdot (17{,}2 - 7{,}96) + 1{,}2 \cdot 2000] \cdot 22{,}02}{0{,}8 \cdot 286100000} = 8{,}66\text{мм}$$

$$t_{c6} = \frac{1000 \cdot [1{,}1 \cdot 880 \cdot 9{,}8067 \cdot (17{,}2 - 9{,}95) + 1{,}2 \cdot 2000] \cdot 22{,}02}{0{,}8 \cdot 286100000} = 6{,}85\text{мм}$$

$$t_{c7} = \frac{1000 \cdot [1{,}1 \cdot 880 \cdot 9{,}8067 \cdot (17{,}2 - 11{,}94) + 1{,}2 \cdot 2000] \cdot 22{,}02}{0{,}8 \cdot 286100000} = 5{,}03\text{мм}$$

$$t_{c8} = \frac{1000 \cdot [1{,}1 \cdot 880 \cdot 9{,}8067 \cdot (17{,}2 - 13{,}93) + 1{,}2 \cdot 2000] \cdot 22{,}02}{0{,}8 \cdot 286100000} = 3{,}21\text{мм}$$

$$t_{c9} = \frac{1000 \cdot [1{,}1 \cdot 880 \cdot 9{,}8067 \cdot (17{,}2 - 15{,}92) + 1{,}2 \cdot 2000] \cdot 22{,}02}{0{,}8 \cdot 286100000} = 1{,}39\text{мм}$$

Так как толщина 5-го пояса резервуара для стали 09Г2С (С345) получилась 8,76 мм, а минимальная конструктивная толщина стенки по условиям устойчивости резервуара должна составлять 11 мм, смотри таблицу 5. Рассчитаем 5 по 9 пояс из менее прочной стали Ст3сп (С235).

Выбираем из известных параметров $R_y^{\text{н}} = 235$ для стали Ст3сп, $\gamma_м$=1,025.

Рассчитаем сопротивления материала для стали Ст3сп по формулам 3.15 и 3.16.

$$R_y = \frac{235}{1{,}025} = 229{,}3\text{МПа}$$

$$R_{wy}=229{,}3 \cdot 0{,}85 = 194{,}9\text{МПа}$$

$$t_{c4} = \frac{1000 \cdot [1{,}1 \cdot 880 \cdot 9{,}8067 \cdot (17{,}2 - 5{,}97) + 1{,}2 \cdot 2000] \cdot 22{,}02}{0{,}8 \cdot 194900000} = 15{,}39\text{мм}$$

$$t_{c5} = \frac{1000 \cdot [1{,}1 \cdot 880 \cdot 9{,}8067 \cdot (17{,}2 - 7{,}96) + 1{,}2 \cdot 2000] \cdot 22{,}02}{0{,}8 \cdot 194900000} = 12{,}72\text{мм}$$

$$t_{c6} = \frac{1000 \cdot [1{,}1 \cdot 880 \cdot 9{,}8067 \cdot (17{,}2 - 9{,}95) + 1{,}2 \cdot 2000] \cdot 22{,}02}{0{,}8 \cdot 194900000} = 10{,}05\text{мм}$$

$$t_{c7} = \frac{1000 \cdot [1{,}1 \cdot 880 \cdot 9{,}8067 \cdot (17{,}2 - 11{,}94) + 1{,}2 \cdot 2000] \cdot 22{,}02}{0{,}8 \cdot 194900000} = 7{,}39\text{мм}$$

$$t_{c8} = \frac{1000 \cdot [1{,}1 \cdot 880 \cdot 9{,}8067 \cdot (17{,}2 - 13{,}93) + 1{,}2 \cdot 2000] \cdot 22{,}02}{0{,}8 \cdot 194900000} = 4{,}72 \text{мм}$$

$$t_{c9} = \frac{1000 \cdot [1{,}1 \cdot 880 \cdot 9{,}8067 \cdot (17{,}2 - 15{,}92) + 1{,}2 \cdot 2000] \cdot 22{,}02}{0{,}8 \cdot 194900000} = 2{,}05 \text{мм}$$

Так как толщина стенки с 4-го по 5-ый пояс больше 11 мм, то принимаем с 6-го пояса сталь Ст3(С235).

Рассчитаем номинальную толщину стенки с учетом припуска на коррозию и минусового допуска на толщину листа по РД 16.01-60.30.00-КТН-026-1-04.

В качестве номинальной толщины $t_{ном}$ каждого пояса стенки выбирается значение большей из двух величин, округленное до ближайшего значения из сортаментного ряда листового проката.

$$t_{ном} \geq \max(t_i + C_i + \Delta;\ t_{кс}), \qquad (3.12)$$

где C_i – припуск на коррозию, мм;

Δ – значение минусового допуска на толщину листа, мм;

$t_{кс}$ – минимальная конструктивная толщина стенки резервуара;

Принимаем следующие параметры C_i = 2мм, $t_{кс}$ = 11мм, Δ = 0,45 мм.

Номинальная толщина стенки представлена в таблице 8.

Таблица 8 – Номинальная толщина стенки резервуара

Параметр	Номер пояса	t_i,мм	$t_i+C_i+\Delta_i$	$t_н$	Сталь
Значение	1	18,21	20,69	21	С345
	2	14,12	16,57	17	С345
	3	12,30	14,75	15	С345
	4	10,48	12,93	13	С345
	5	8,66	11,11	11,5	С345
	6	6,85	9,3	11	С235
	7	7,39	9,84	11	С235
	8	4,72	7,17	11	С235
	9	2,05	4,5	11	С235

3.4 Расчет стенки резервуара на прочность

Проверочный расчет стенки резервуара на прочность производим по РД 153-112-017-097 [18] с учетом требований СНиП II-23-81* по формуле [17]:

$$\sigma_i = \frac{[n_1 \cdot \rho \cdot (H - x_i) + n_2 \cdot P_и] \cdot r}{100 \cdot \delta} \le \gamma_c \cdot R_y, \qquad (3.13)$$

где σ_i – напряжение в расчетном поясе резервуара, МПа;

n_1 – коэффициент надежности по нагрузке гидростатического давления;

ρ – плотность хранимого продукта, кг/м^3;

$H(H_н)$ – высота налива продукта, м;

$X(Z_i)$ – расстояние от днища резервуара до расчетного уровня, м;

n_2 – коэффициент надежности по нагрузке избыточного давления и вакуума;

$P_и$ – нормативная величина избыточного давления в пространстве под кровлей резервуара, Па;

r ($R_р$) – радиус стенки резервуара, м;

γ_c – коэффициент условия работы;

R_y – расчетное сопротивление стали по пределу текучести, МПа;

δ (t_c) - толщина стенки резервуара в расчетном поясе, мм.

Принимаем параметры для дальнейшего расчета ρ=880 кг/м^3, g=9,8067м/с^2, $H_н$=17,2м, r ($R_р$) = 22,02 м, $P_и$=2000Па, n_1= 1,1, n_2=1,2, γ_c= 0,7 для первого пояса, γ_c = 0,8 для остальных поясов, R_y = для стали типа С345 R_y=336,59 МПа, для стали С235 R_y=229,3 МПа.

Исходя из рассчитанных и принятых данных, рассчитаем расчетное напряжение по формуле 3.13.

$$\sigma_1 = \frac{[1{,}1 \cdot 880 \cdot (17{,}2 - 0) + 1{,}2 \cdot 2000] \cdot 22{,}02}{100 \cdot 21} = 199{,}74 \text{МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{[1{,}1 \cdot 880 \cdot (17{,}2 - 1{,}99) + 1{,}2 \cdot 2000] \cdot 22{,}02}{100 \cdot 17} = 221{,}79 \text{МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{[1{,}1 \cdot 880 \cdot (17{,}2 - 3{,}98) + 1{,}2 \cdot 2000] \cdot 22{,}02}{100 \cdot 15} = 223{,}09 \text{МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{[1{,}1 \cdot 880 \cdot (17{,}2 - 5{,}97) + 1{,}2 \cdot 2000] \cdot 22{,}02}{100 \cdot 13} = 224{,}78 \text{МПа}$$

$$\sigma_5 = \frac{[1{,}1 \cdot 880 \cdot (17{,}2 - 7{,}96) + 1{,}2 \cdot 2000] \cdot 22{,}02}{100 \cdot 11{,}5} = 217{,}22 \text{МПа}$$

$$\sigma_6 = \frac{[1{,}1 \cdot 880 \cdot (17{,}2 - 9{,}95) + 1{,}2 \cdot 2000] \cdot 22{,}02}{100 \cdot 11} = 188{,}53 \text{МПа}$$

$$\sigma_7 = \frac{[1{,}1 \cdot 880 \cdot (17{,}2 - 11{,}94) + 1{,}2 \cdot 2000] \cdot 22{,}02}{100 \cdot 11} = 149{,}97 \text{МПа}$$

$$\sigma_8 = \frac{[1{,}1 \cdot 880 \cdot (17{,}2 - 13{,}93) + 1{,}2 \cdot 2000] \cdot 22{,}02}{100 \cdot 11} = 111{,}40 \text{МПа}$$

$$\sigma_9 = \frac{[1{,}1 \cdot 880 \cdot (17{,}2 - 15{,}92) + 1{,}2 \cdot 2000] \cdot 22{,}02}{100 \cdot 11} = 72{,}84 \text{МПа}$$

Результаты расчета стенки на прочность представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты расчета стенки резервуара на прочность

Параметр	№ пояса	Толщина стенки, мм	Высота пояса, м	Расчетное напряжение, МПа (σ_p)	Допустимое напряжение, МПа (σ)	Сталь
Значение	1	21	1,99	199.74	235,613	С345
	2	17	1,99	221.79	293,272	С345
	3	15	1,99	223.09	293,272	С345
	4	13	1,99	224.78	293,272	С345
	5	11,5	1,99	217.22	293,272	С345
	6	11	1,99	188.53	293,272	С345
	7	11	1,99	149.97	183,44	С235
	8	11	1,99	111.40	183,44	С235
	9	11	1,99	78.84	183,44	С235

Заключение: Условие прочности стенки резервуара выполняется.

3.5 Расчет стенки резервуара на устойчивость

Расчет резервуара на устойчивость выполняем в соответствии с РД 16.01-60.30.00-КТН-026-1-04 [16].

Проверка устойчивости стенки резервуара производится по неравенству [16]:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{01}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{02}} \le 1{,}0, \qquad (3.14)$$

где σ_1 – расчетные осевые напряжения в стенке резервуара, МПа;

σ_2 – расчетные кольцевые напряжения в стенке резервуара, МПа;

σ_{01} – критические осевые напряжения в стенке резервуара, МПа;

σ_{02} – критические кольцевые напряжения в стенке резервуара, МПа.

Осевые напряжения определяются по минимальной толщине стенки пояса, кольцевые напряжения – по средней толщине стенки.

Расчетные осевые напряжения для РВС определяются по формуле [16]:

$$\sigma_1 = \frac{n_3 \cdot (Q_{\text{п}} + Q_{\text{ст}}) + \psi \cdot (Q_{\text{СН}} + Q_{\text{ВАК}} \cdot n_2)}{2 \cdot \pi \cdot R_{\text{р}} \cdot \delta_{\text{i}}}, \qquad (3.15)$$

где σ_1 – осевые напряжения;

n_3 – коэффициент надежности по нагрузке от собственного веса;

$Q_{\text{п}}$ – вес покрытия резервуара, Н;

$Q_{\text{ст}}$ – вес вышележащих поясов стенки, Н;

Ψ – коэффициент сочетания нагрузок;

$Q_{\text{сн}}$ – полное расчетное значение снеговой нагрузки на горизонтальную проекцию покрытия, Н;

$Q_{\text{вак}}$ – нормативная нагрузка от вакуума на покрытие, Н;

$Q_{\text{в}}$ – ветровая нагрузка;

δ_{i} – расчетная толщина стенки i-го пояса резервуара, м.

Принимаем параметры для дальнейшего расчета n_3= 1,05, Ψ = 0,9 по СНиП 2.01.07-85*.

Нормативная нагрузка от вакуума на покрытие определяется как [16]:

$$Q_{\text{вак}} = \pi \cdot R_{\text{р}}^2 \cdot P_{\text{вак}}; \quad (3.16)$$

где $Q_{\text{вак}}$ – нагрузка от вакуума, МН;

$P_{\text{вак}}$ – нормативное значение вакуума в газовом пространстве, Па.

$R_{\text{р}}$ – расчетный радиус резервуара, м.

Из исходных данных $P_{\text{вак}}$ = 65 Па, $R_{\text{р}}$ = 22,02 м.

Рассчитаем нормативную нагрузку от вакуума на покрытие по формуле 3.16.

$$Q_{\text{вак}} = 3{,}14 \cdot 22{,}02^2 \cdot 65 = 98964{,}09H = 0{,}099MH$$

Вес вышележащих поясов стенки резервуара определяется как [16]:

$$Q_{\text{ст}} = 2 \cdot \pi \cdot R_{\text{р}} \cdot \gamma_{\text{ст}} \cdot \sum_{i=1}^{a} (h_i \cdot \delta_i), \quad (3.17)$$

где a – номер последнего пояса, начало отсчета снизу;

h_{i} – высота i-го пояса стенки резервуара, м;

δ_{i} – толщина i-го пояса, м;

$R_{\text{р}}$ – расчетный радиус резервуара, м;

$\gamma_{\text{ст}}$ – удельный вес стали, Н/м^3.

Рассчитаем параметры из формулы 3.17 для дальнейшего расчета.

$$\gamma_{\text{ст}} = \rho_{\text{ст}} \cdot g, \quad (3.18)$$

где $\gamma_{\text{ст}}$ – удельный вес стали, Н/м^3;

$\rho_{\text{ст}}$ – плотность стали, кг/м^3;

g – ускорение свободного падения, м/с^2;

Принимаем $\rho_{\text{ст}}$ –7850 кг/м^3, g – 9,80665 м/с^2.

Проведем расчет по известным данным.

$$\gamma_{\text{ст}} = 7850 \cdot 9{,}80665 = 76982{,}2025 \text{ Н/м}^3$$

$$(h_i \cdot \delta_i) = h_1 \cdot \delta_1 = 1{,}99 \cdot 0{,}021 = 0{,}04179 \text{ м}^2$$

$$(h_i \cdot \delta_i) = h_2 \cdot \delta_2 = 1{,}99 \cdot 0{,}017 = 0{,}03383 \text{м}^2$$

$$(h_i \cdot \delta_i) = h_3 \cdot \delta_3 = 1{,}99 \cdot 0{,}015 = 0{,}02985 \text{м}^2$$

$$(h_i \cdot \delta_i) = h_4 \cdot \delta_4 = 1{,}99 \cdot 0{,}013 = 0{,}02587 \text{ м}^2$$

$$(h_i \cdot \delta_i) = h_5 \cdot \delta_5 = 1{,}99 \cdot 0{,}0115 = 0{,}022885\ м^2$$

$$(h_i \cdot \delta_i) = h_6 \cdot \delta_6 = 1{,}99 \cdot 0{,}011 = 0{,}02189 м^2$$

$$(h_i \cdot \delta_i) = h_7 \cdot \delta_6 = 1{,}99 \cdot 0{,}011 = 0{,}02189 м^2$$

$$(h_i \cdot \delta_i) = h_8 \cdot \delta_6 = 1{,}99 \cdot 0{,}011 = 0{,}02189 м^2$$

$$(h_i \cdot \delta_i) = h_9 \cdot \delta_6 = 1{,}99 \cdot 0{,}011 = 0{,}02189 м^2$$

$$\sum_{i=1}^{a} (h_i \cdot \delta_i) = 0{,}241785\ м^2$$

Рассчитаем $Q_{ст}$ – вес вышележащих поясов стенки по формуле 3.17.

$$Q_{ст1} = 2 \cdot 3.14 \cdot 22.02 \cdot 76982{,}2025 \cdot 0{,}241785 = 2573929{,}49\ Н = 2{,}574 МН$$

$$Q_{ст2} = 2 \cdot 3.14 \cdot 22.02 \cdot 76982{,}2025 \cdot 0{,}19995 = 2129052{,}78\ Н = 2{,}129 МН$$

$$Q_{ст3} = 2 \cdot 3.14 \cdot 22.02 \cdot 76982{,}2025 \cdot 0{,}166165 = 1768914{,}5\ Н = 1{,}768 МН$$

$$Q_{ст4} = 2 \cdot 3.14 \cdot 22.02 \cdot 76982{,}2025 \cdot 0{,}136315 = 1451145{,}43\ Н = 1{,}451 МН$$

$$Q_{ст5} = 2 \cdot 3.14 \cdot 22.02 \cdot 76982{,}2025 \cdot 0{,}110445 = 1175745{,}56\ Н = 1{,}175 МН$$

$$Q_{ст6} = 2 \cdot 3.14 \cdot 22.02 \cdot 76982{,}2025 \cdot 0{,}08756 = 932122{,}61\ Н = 0{,}932 МН$$

$$Q_{ст7} = 2 \cdot 3.14 \cdot 22.02 \cdot 76982{,}2025 \cdot 0{,}06567 = 699091{,}96\ Н = 0{,}699 МН$$

$$Q_{ст8} = 2 \cdot 3.14 \cdot 22.02 \cdot 76982{,}2025 \cdot 0{,}04378 = 466061{,}30\ Н = 0{,}466 МН$$

$$Q_{ст9} = 2 \cdot 3.14 \cdot 22.02 \cdot 76982{,}2025 \cdot 0{,}02189 = 233030{,}65\ Н = 0{,}233 МН$$

Рассчитаем массу крыши резервуара [16]:

$$Q_{кр} = S_{сф} \cdot \delta \cdot \rho_{ст}, \qquad (3.18)$$

где $Q_{кр}$ – масса крыши, т;

$S_{сф}$ – площадь боковой поверхности крыши, м^2;

δ – толщина настила крыши, м;

$\rho_{ст}$ – плотность стали, кг/м^3.

Принимаем δ=0,012 мм,$\rho_{ст}$ = 7850 кг/м^3.

Рассчитаем площадь боковой поверхности крыши по формуле [16]:

$$S_{сф} = \pi \cdot R_р \cdot L, \qquad (3.19)$$

где $S_{сф}$ – площадь боковой поверхности крыши, м^2;

$R_р$ – расчетный радиус стенки резервуара, м;

L – длина сферы, м.

Длина сферы рассчитывается по формуле [16]:

$$L = \sqrt{H_{кр}^2 + R_р^2}, \quad (3.20)$$

где L – длина сферы, м;

$H_{кр}$ ($H_{сф}$) – высота крыши(сферы), м;

$R_р$ – расчетный радиус стенки резервуара, м.

Рассчитаем высоту сферы по формуле [10]:

$$H_{сф} = R_{сф} - \sqrt{R_{сф} - R_р^2}, \quad (3.21)$$

где ($H_{сф}$) – высота крыши(сферы), м;

$R_{сф}$ – радиус сферы, м;

$R_р$ – расчетный радиус стенки резервуара, м.

Радиус кривизны сферической поверхности крыши должен быть в пределах от 0,8·D до 1,5·D, где D – диаметр резервуара [16]:

Принимаем радиус кривизны = 1.45·D.

Радиус сферы рассчитывается по формуле.

$$R_{сф} = 1{,}45 \cdot D, \quad (3.22)$$

По известным параметрам рассчитаем радиус сферы по формуле 3.22.

$$R_{сф} = 1{,}45 \cdot 2 \cdot 22.02 = 63.86 \text{ м}$$

Рассчитаем высоту сферы по формуле 3.28.

Принимаем $R_{сф}$=63,86 м.

$$H_{сф} = 63{,}86 - \sqrt{63{,}86^2 - 22{,}02^2} = 3{,}92 \text{м}$$

Рассчитаем длину сферы по формуле 3.20.

Принимаем $H_{сф}$=3,95 м, $R_р$ = 22,02 м.

$$L = \sqrt{3{,}92^2 + 22{,}02^2} = 22{,}37 \text{м}$$

Рассчитаем площадь боковой поверхности крыши по формуле 3.19.

Принимаем $R_р$ = 22,02 м, L = 22,37м.

$$S_{\text{сф}} = 3{,}14 \cdot 22{,}02 \cdot 22{,}37 = 1546{,}72\text{м}^2$$

Рассчитаем массу крыши по формуле 3.25.

Принимаем $S_{\text{сф}}$ = 1546,72м^2, δ = 0,012м,$\rho_{\text{ст}}$=7850 кг/м^3.

$$Q_{\text{кр}} = 1546{,}72 \cdot 0{,}012 \cdot 7850 = 145700{,}082\text{кг} = 145{,}700\text{т}$$

Рассчитаем вес покрытия цилиндрического резервуара [16]:

$$Q_{\text{п}} = 2 \cdot \pi \cdot R_{\text{р}}^2 + Q_{\text{кр}}, \qquad (3.23)$$

где $Q_{\text{п}}$ – вес покрытия, МН;

$R_{\text{р}}$ – расчетный радиус, м;

$Q_{\text{кр}}$ – вес крыши, т.

По известным параметрам рассчитаем вес покрытия по формуле 3.23.

$$Q_{\text{п}} = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 22{,}02^2 + 145700 \cdot 9{,}80655 = 1431873{,}95H = 1{,}431MH$$

Рассчитаем снеговую нагрузку[16]:

$$Q_{\text{сн}} = P_{\text{сн}}^{\text{н}} \cdot \mu \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_{\text{р}}^2, \qquad (3.24)$$

где $Q_{\text{сн}}$ – полное расчетное значение снеговой нагрузки, Н;

$P_{\text{сн}}^{\text{н}}$ – снеговую нагрузку, Па;

μ – коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие;

$R_{\text{р}}$ – расчетный радиус, м.

Принимаем: μ = 0,7;

Из исходных и принятых параметров рассчитаем снеговую нагрузку по формуле 3.24.

$$Q_{\text{сн}} = 800 \cdot 0{,}7 \cdot 2 \cdot 3{,}14 \cdot 22{,}02^2 = 1705227{,}39H = 1{,}705MH$$

Рассчитаем ветровую нагрузку по [16]:

$$P_{\text{в}} = W_0 \cdot K(Z) \cdot C_0, \qquad (3.25)$$

где $P_{\text{в}}$ – ветровая нагрузка, Па;

W_o – нормативное значение ветрового давления, для рассматриваемого района, Па;

K (Z) – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте;

C_0 – аэродинамический коэффициент.

СНиП 2.01.07-85, п. 6.5 [19], тип местности В. $K(Z)$ = 0,808, (ветровая категория) – находим для высоты проектируемого резервуара 17,91 м интерполяцией.

Таблица 10 Коэффициент k [19]

K(Z)	B
≤ 5,0	0,50
10,0	0,65
20,0	0,85
40,0	1,10

Расчет ветровой нагрузки ведется по формуле 3.25.

Принимаем W_o = 300, Па, $K(Z)$ = 0,808, C_0=1.

$$P_в = 300 \cdot 0{,}808 \cdot 1 = 242{,}4 \text{Па}$$

Расчетные кольцевые напряжения в стенке при расчете на устойчивость РВС определяются по [16]:

$$\sigma_2 = \frac{P_в \cdot n_в + P_{вак} \cdot n_2}{\delta_{ср}} \cdot R_р, \qquad (3.26)$$

где σ_2 – расчетные кольцевые напряжения в стенке резервуара, МПа

$P_в$ – нормативное значение ветровой нагрузки на резервуар, Па;

$n_в$ – коэффициент надежности ветровой нагрузки;

n_2 – коэффициент надежности по нагрузке избыточного давления и вакуума;

$\delta_{ср}$ – средняя арифметическая толщина стенки резервуара.

Принимаем n_2=1,2, $n_в$ = 0,5.

Средняя арифметическая толщина стенки резервуара рассчитывается по формуле:

$$\delta_{ср} = \frac{1}{a} \cdot \sum_{i=1}^{a} \delta_i, \quad (3.27)$$

Из ранее рассчитанных и выбранных параметров рассчитаем среднюю арифметическую толщину стенки резервуара по формуле 3.27.

$$\delta_{ср} = \frac{(0,021 + 0,017 + 0,015 + 0,013 + 0,0115 + 4 \cdot 0,011)}{9} = 0,0135 м$$

Из ранее рассчитанных и выбранных параметров рассчитаем расчетные кольцевые напряжения в стенке по формуле 3.26.

$$\sigma_2 = \frac{242,4 \cdot 0,5 + 65 \cdot 1,2}{0,0135} \cdot 22,02 = 324917,33 Па = 0,324 МПа$$

Осевые критические напряжения определяются по [16]:

$$\sigma_{01} = C \cdot E \cdot \frac{\delta_i}{R}, \quad (3.28)$$

где σ_{01} – Осевые критические напряжения МПа;

E – модуль упругости стали, МПа;

C – коэффициент;

$\delta_{ср}$ – средняя арифметическая толщина стенки резервуара.

Модуль упругости принимаем $E=2 \cdot 10^5$ МПа.

Таблица 11 – Значение коэффициента С

Параметр	Значение				
$R_р/\delta_{ср}$	600,0	800,0	1000,0	1500,0	2500,0
C	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06

Рассчитаем необходимый параметр для дальнейшего расчета коэффициента C по формуле:

$$\frac{R_p}{\delta_{ср}}, \quad (3.29)$$

где $R_р$ – расчетный радиус, м;

$\delta_{ср}$ – средняя арифметическая толщина стенки резервуара, м.

$$\frac{22,02}{0,0135} = 1631,11$$

С помощью интерполяции определяем значение C по математической формуле:

$$C = 0{,}07 + \frac{1631{,}11 - 1500}{2500 - 1500} \cdot (0{,}06 - 0{,}07) = 0{,}0686889 \qquad (3.30)$$

Принимаем $C = 0{,}0686$.

Из ранее рассчитанных и выбранных параметров рассчитаем осевые критические напряжения по формуле 3.28.

1 пояс: $\sigma_{01} = 0{,}0686 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot \frac{0{,}021}{22{,}02} = 26{,}16\text{МПа}$

2 пояс: $\sigma_{01} = 0{,}0686 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot \frac{0{,}017}{22{,}02} = 21{,}18\text{МП}$

3 пояс: $\sigma_{01} = 0{,}0686 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot \frac{0{,}015}{22{,}02} = 18{,}69\text{МПа}$

4 пояс: $\sigma_{01} = 0{,}0686 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot \frac{0{,}013}{22{,}02} = 16{,}19\text{МПа}$

5 пояс: $\sigma_{01} = 0{,}0681 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot \frac{0{,}0115}{22{,}02} = 14{,}33\text{МПа}$

6 пояс: $\sigma_{01} = 0{,}0686 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot \frac{0{,}011}{22{,}02} = 13{,}70\text{МПа}$

7 пояс: $\sigma_{01} = 0{,}0686 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot \frac{0{,}011}{22{,}02} = 13{,}70\text{МПа}$

8 пояс: $\sigma_{01} = 0{,}0686 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot \frac{0{,}011}{22{,}02} = 13{,}70\text{МПа}$

9 пояс: $\sigma_{01} = 0{,}0686 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot \frac{0{,}011}{22{,}02} = 13{,}70\text{МПа}$

Критические кольцевые напряжения определяются по [16]:

$$\sigma_{02} = 0{,}55 \cdot \text{E} \cdot \frac{R_\text{р}}{H} \cdot \left(\frac{\delta_\text{ср}}{R_p} \right)^{\frac{3}{2}}, \qquad (3.31)$$

где σ_{02} – критические кольцевые напряжения, МПа;

H – Высота стенки резервуара, м;

$R_\text{р}$ – Радиус резервуара, м;

$\delta_\text{ср}$ – средняя арифметическая толщина стенки резервуара, м.

Из ранее рассчитанных и выбранных параметров рассчитаем критические кольцевые напряжения по формуле 3.31.

$$\sigma_{02} = 0{,}55 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot \frac{22{,}02}{17{,}91} \cdot \left(\frac{0{,}0135}{22{,}02} \right)^{\frac{3}{2}} = 1{,}03 \text{ МПа}$$

Из ранее рассчитанных и выбранных параметров расчетные осевые напряжения рассчитаем по формуле 3.15.

$$1 \text{ пояс } \sigma_1 = \frac{1{,}05 \cdot (1{,}431 + 2{,}574) + 0{,}9 \cdot (1{,}705 + 0{,}099 \cdot 1{,}2)}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 22{,}02 \cdot 0{,}021} = 2{,}37 \text{МПа}$$

$$2 \text{ пояс } \sigma_1 = \frac{1{,}05 \cdot (1{,}431 + 2{,}129) + 0{,}9 \cdot (1{,}705 + 0{,}099 \cdot 1{,}2)}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 22{,}02 \cdot 0{,}017} = 2{,}28 \text{МПа}$$

$$3 \text{ пояс } \sigma_1 = \frac{1{,}05 \cdot (1{,}431 + 1{,}768) + 0{,}9 \cdot (1{,}705 + 0{,}099 \cdot 1{,}2)}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 22{,}02 \cdot 0{,}015} = 2{,}4 \text{МПа}$$

$$4 \text{ пояс } \sigma_1 = \frac{1{,}05 \cdot (1{,}431 + 1{,}451) + 0{,}9 \cdot (1{,}705 + 0{,}099 \cdot 1{,}2)}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 22{,}02 \cdot 0{,}013} = 2{,}59 \text{МПа}$$

$$5 \text{ пояс } \sigma_1 = \frac{1{,}05 \cdot (1{,}431 + 1{,}175) + 0{,}9 \cdot (1{,}705 + 0{,}099 \cdot 1{,}2)}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 22{,}02 \cdot 0{,}0115} = 2{,}75 \text{МПа}$$

$$6 \text{ пояс } \sigma_1 = \frac{1{,}05 \cdot (1{,}431 + 0{,}932) + 0{,}9 \cdot (1{,}705 + 0{,}099 \cdot 1{,}2)}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 22{,}02 \cdot 0{,}011} = 2{,}7 \text{МПа}$$

$$7 \text{ пояс } \sigma_1 = \frac{1{,}05 \cdot (1{,}431 + 0{,}699) + 0{,}9 \cdot (1{,}705 + 0{,}099 \cdot 1{,}2)}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 22{,}02 \cdot 0{,}011} = 2{,}54 \text{МПа}$$

$$8 \text{ пояс } \sigma_1 = \frac{1{,}05 \cdot (1{,}431 + 0{,}466) + 0{,}9 \cdot (1{,}705 + 0{,}099 \cdot 1{,}2)}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 22{,}02 \cdot 0{,}011} = 2{,}38 \text{МПа}$$

$$9 \text{ пояс } \sigma_1 = \frac{1{,}05 \cdot (1{,}431 + 0{,}233) + 0{,}9 \cdot (1{,}705 + 0{,}099 \cdot 1{,}2)}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 22{,}02 \cdot 0{,}011} = 1{,}14 \text{МПа}$$

Результаты расчета резервуара на устойчивость представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Результат расчета резервуара на устойчивость

Параметр	№ пояса	Ветровая нагрузка $P_в$, Па	Осевые напряжения		Кольцевые напряжения		$\delta_1/\delta_{01}+\delta_2/\delta_{02} \leq 1,0$
			Расчетные σ_1, МПа	Критические, σ_{01}, МПа	Расчетные, σ_2, МПа	Критические, σ_{02}, МПа	
Значение	1	242,4	2,37	26,16	0,324	1,03	0,4
	2	242,4	2,28	21,18	0,324	1,03	0,42
	3	242,4	2,4	18,69	0,324	1,03	0,44
	4	242,4	2,59	16,19	0,324	1,03	0,49
	5	242,4	2,75	14,33	0,324	1,03	0,5
	6	242,4	2,7	13,70	0,324	1,03	0,51
	7	242,4	2,54	13,70	0,324	1,03	0,49
	8	242,4	2,38	13,70	0,324	1,03	0,48
	9	242,4	1,14	13,70	0,324	1,03	0,39

Вывод: Условия устойчивости резервуара выполняются.

3.6 Расчет днища резервуара

Согласно РД 16.01-60.30.00-КТН-026-1-04 [16] толщину днища резервуара принимаем равную 9мм.

Толщину окрайки принимаем 14мм, по таблице 19.

Таблица 13 конструктивная толщина окрайки [16]

Параметр	Расчетная толщина первого пояса стенки δ_e, мм	Минимальная конструктивная толщина окрайки $\delta_{ко}$, мм
Значение	9,0…16,0	9,0
	17,0… 20,0	12,0
	20,0…26,0	14,0
	26,0	16,0

Кольцевые окрайки должны иметь ширину в радиальном направлении, обеспечивающую расстояние между внутренней поверхностью стенки и швом приварки центральной части днища к окрайкам не менее – 300 мм, для резервуаров объемом до 5000 м^3. 600 мм для резервуаров объемом более 5000 м^3[СТО - СА-03-002-09].

Рассчитаем длину окрайки по [16]:

$$L_o = k_2\sqrt{r \cdot t_1}, \qquad (3.32)$$

где L_o – длина окрайки, мм;

R – радиус резервуара, м;

$k_2 = 0{,}92$ – безразмерный коэффициент;

t_1 – толщина стенки первого пояса, мм.

Рассчитаем длину окрайки из известных данных по формуле 3.32.

$$L_o = 0{,}92\sqrt{22{,}02 \cdot 10^4 \cdot 21} = 625{,}61\text{мм}$$

Принимаем L_o в большую сторону, L_o=630 мм.

3.7 Сварные соединения и швы

При изготовлении цилиндрических вертикальных резервуаров, используют стыковые, нахлестанные, угловые и тавровые соединения.

Конструктивные элементы сварных соединений и швов должны, как правило, соответствовать требованиям стандартов на применяемый вид сварки:

а) для дуговой сварки в защитном газе – ГОСТ 14771-76 [10];

б) для сварки под флюсом – ГОСТ 8713-79 [11].

Ограничения на сварные соединения и швы:

а) Не допускается наличие прихваточных сварных швов в законченной конструкции;

б) максимальные катеты угловых швов не должны превышать 1,2 толщины более тонкой детали в соединении;

в) нахлесточное соединение, допустимо применять только для сварки элементов крыши и днища резервуара, при этом допустимая величина нахлеста должна быть не менее 30 мм для сварки листов крыши и днища при полистовой сборки.

Рассмотрим следующие соединения:

а) Вертикальные соединения стенки;

Вертикальные соединения листов стенки должны выполняться двухсторонними стыковыми швами с полным проплавлением.

Вертикальные заводские и монтажные сварные соединения на смежных поясах стенки должны быть смещены относительно друг друга на величину не менее 10t (где t – толщина нижележащего пояса стенки), и не менее 500 мм для стенок полистовой сборки.

б) Горизонтальные соединения стенки;

Горизонтальные соединения листов стенки должны выполняться двухсторонними стыковыми швами с полным проплавлением. Для резервуаров полистовой сборки пояса стенки должны совмещаться в одну вертикальную линию по внутренней поверхности.

в) Нахлесточные соединения днища;

Нахлесточные сварные соединения днища применяются для соединения листов центральной части днищ, рулонируемых полотнищ днищ между собой, а также для соединения центральной части днищ (рулонируемой или полистовой сборки) с кольцевыми окрайками. Нахлесточные соединения днищ свариваются сплошным односторонним угловым швом только с верхней стороны. В зоне пересечения нахлесточных соединений днища с нижним поясом стенки должна быть образована ровная поверхность днища.

Односторонние стыковые соединения на остающейся подкладке применяются для соединения между собой кольцевых окраек, а также при полистовой сборке центральной части днищ или днищ без окраек. Остающаяся подкладка должна иметь толщину не менее 4 мм и должна присоединяться прерывистым швом к одной из стыкуемых деталей. При сварке стыкового

соединения на остающейся подкладке без разделки кромок зазор между кромками стыкуемых листов толщиной до 6мм должен быть не менее 4 мм; для стыкуемых листов толщиной более 6 мм – не менее 6 мм.

Подкладки должны быть изготовлены из материала, соответствующему материалу стыкуемых элементов.

г) Соединение днища со стенкой;

Для соединения днища со стенкой применяются двустороннее тавровое соединение без скоса кромок или с двумя симметричными скосами нижней кромки листа стенки. Катет углового шва таврового соединения должен быть не более 12 мм.

Если толщина нижнего пояса стенки или листа днища более 12 мм, то применяется соединение со скосами кромок, при этом сумма глубины скоса и катета углового шва равняется толщине более тонкого из соединяемых листов.

Рассмотрим шесть видов сварных соединений, которые рекомендуется использовать при сварке вертикального резервуара по листовой сборке.

Рекомендованные сварные соединения для вертикального резервуара выбираем по [9].

Для проектирования резервуара принимаем следующие сварные соединения:

а) С15, С9 – горизонтальные (кольцевые) сварные соединения для сварки стенки резервуара.

б) С25, С17 – вертикальные (продольные) сварные соединения для сварки стенки резервуара.

в) Т9 – тавровое сварное соединении, для сварки днища резервуара со стенкой.

г) С10, С5 – стыковое соединение с остающейся подложкой, для сварки днища резервуара.

д) Н1 – Нахлесточное сварное соединения, для сварки центральной части днища.

4 Разработка технологии сборки и сварки изделия

4.1 Разработка схемы технологического процесса изготовления

Монтаж металлоконструкций резервуара производят в следующей технологической последовательности:

а) Монтаж днища:

1) укладка кольца окраек;

2) сборка и сварка центральной части из отдельных листов;

3) разметка днища под сборку стенки.

б) Монтаж стенки:

1) сборка и сварка первого пояса;

2) сборка и сварка II пояса;

3) сварка I и II поясов между собой;

4) сборка и сварка III пояса, сварка IIиIIIпоясов между собой;

5) устройство монтажного проема в первом поясе (замыкающий лист);

6) сварка уторного шва между первым поясом стенки и днищем;

7) сборка и сварка остальных поясов в последовательности по п.2, 3, 4;

8) установка и сварка монтажного проема в первом поясе стенки.

г) Прочностные испытания.

4.2 Заготовительные операции

Заготовительный процесс разделяется на следующие стадии:

а) приемка и входной контроль качества основных материалов;

б) заготовка листов для сборки стенки резервуара:

1) раскрой листового металла;

2) снятия кромок под сварку, согласно типу сварного соединения;

3) вальцовка листов согласно радиусу резервуара;

4) маркировка листов по поясам;

5) паковка листов по пачкам, согласно нумерации;

в) заготовка листов для сборки днища резервуара;

1) изготовление окраек днища;

2) маркировка окраек;

3) паковка окраек по пачкам;

Приемка и входной контроль качества основного материала производится в цеху контроля, который оснащен оборудованием и всем необходимым инструментом.

Входной контроль производится с целью получения качественной продукции изделия.

При приемке и входном контроле проверяют, паспорт завода изготовителя, геометрические параметры, химический состав, физико-механические свойства материала. В случае выявления брака или не соответствие данных с паспортом, партию материалов отправляют обратно на завод изготовителя или поставщику.

Заготовку листов для изготовления резервуара производят в заготовительном цеху. Раскрой металла осуществляется с помощью аппарата плазменной резки СВАРОГ CUT 160, данный аппарат позволяет производить раскрой металла с максимальным качеством реза. Технические характеристики аппарата плазменной резки СВАРОГ CUT 160 представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Технические характеристики аппарата СВАРОГ CUT 160

Параметр	Значение
1	2
Напряжение сети:	380(-15% +15%)
Мощность при максимальной нагрузке:	23.20 кВт
Номинальное напряжение:	144В
Максимальная толщина реза:	55мм
Расход воздуха:	350 л/мин
Давление воздуха:	7 Бар

Продолжение таблицы 14

1	2
Ток резки:	30-160 А
Напряжение холостого хода:	285В
КПД:	85%
Потребляемая мощность:	29 кВА
Ток резки при ПВ 100%:	120 А
ПВ %:	60
Габаритные размеры:	610х325х575
Вес:	50 кг.

После раскроя металла, торцы листов обрабатываются машиной для обработки кромок. Листы свыше 2000мм обрабатываются машиной для обработки кромок ВМА-25, а менее 2000мм обрабатывается машиной для обработки кромок ВМ-20. Технические характеристики машин для обработки кромок ВМА-25, ВМ-20 представлены в таблицах 15 и 16.

Таблица 15 – Технические характеристики Машина-автомат для обработки кромок ВМА-25

Параметр	Значение
Источник питания	220Вт
Угол фаски	0°, 15°, 30°, 45°
Ширина фаски	25мм
Потребляемая мощность, кВт	1,5
Рабочая подача, мм/мин (для стали)	до 400
Количество зажимов в стандартном исполнении	2
Длина направляющих в стандартном исполнении, мм	2400
Подача	авто

Таблица 16 – Технические характеристики машины для обработки кромок ВМ-20.

Параметр	Значение
Источник питания	220-240 V AC/50/60 Hz
Угол фаски	0°, 15-60°
Ширина фаски	20мм
Потребляемаяток	12 А (14 А)
Используемый инструмент	две фрезерные головки с твердо-сплавными пластинами
Диапазон регулировки угла среза	от 15°-60°, а также торцевание
Скорость обработки	5 м/мин
Подача	ручная

Вальцовка листов производится после того, как произвели обработку кромок согласно типу сварного соединения. Листы вальцуются на вальцовочных машинах. Вальцы бывают трехвалковые или четырехвалковые. Для вальцовки листов стенки резервуара используем трехвалковую листогибочную машину РМ30×2500.Технические характеристики трехвалковой листогибочной машины представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Технические характеристики листогибочной машины РМ30×2500.

Пара-метр	Макс. толщина мм	Макс. ширина мм	Скорость	Диаметр верхнего ролика мм	Диаметр нижнего ролика мм	Мощность кВт	Центральное расстояние между нижними роликами
Зна-чение	30,0	2500,0	4	370,0	270,0	18,5	480,0

Используется автокран, тип крана КС 4572 на базе КАМАЗ с грузоподъемностью 16т, максимальная высота подъема 21,7м.

Для зачистки и зашлифовки основного металла и металла шва сварного соединения применять угловые шлифовальные машины *makita ga*5021*c*.

Рассчитаем коэффициент использования материала для поясов стенки резервуара.

Коэффициент использования материала рассчитывается по формуле [23]:

$$K_{\text{и.м}} = \left[\frac{F_з}{F_м} \right] \cdot 100\,\% \qquad (4.1)$$

где $K_{\text{и.м}}$ – коэффициент использования материала, %;

$F_з$ – площадь заготовки мм^2;

$F_м$ – площадь исходного материала, мм^2.

Рассчитаем коэффициент использования материала по формуле 4.1.

$$K_{\text{им}} = \left[\frac{138313{,}5 \cdot 1990}{8000 \cdot 2000 \cdot 17{,}3} \right] = 99\ \%$$

99% > 70% – Условия выполняются.

Раскрой листового проката показан на рисунке 1.

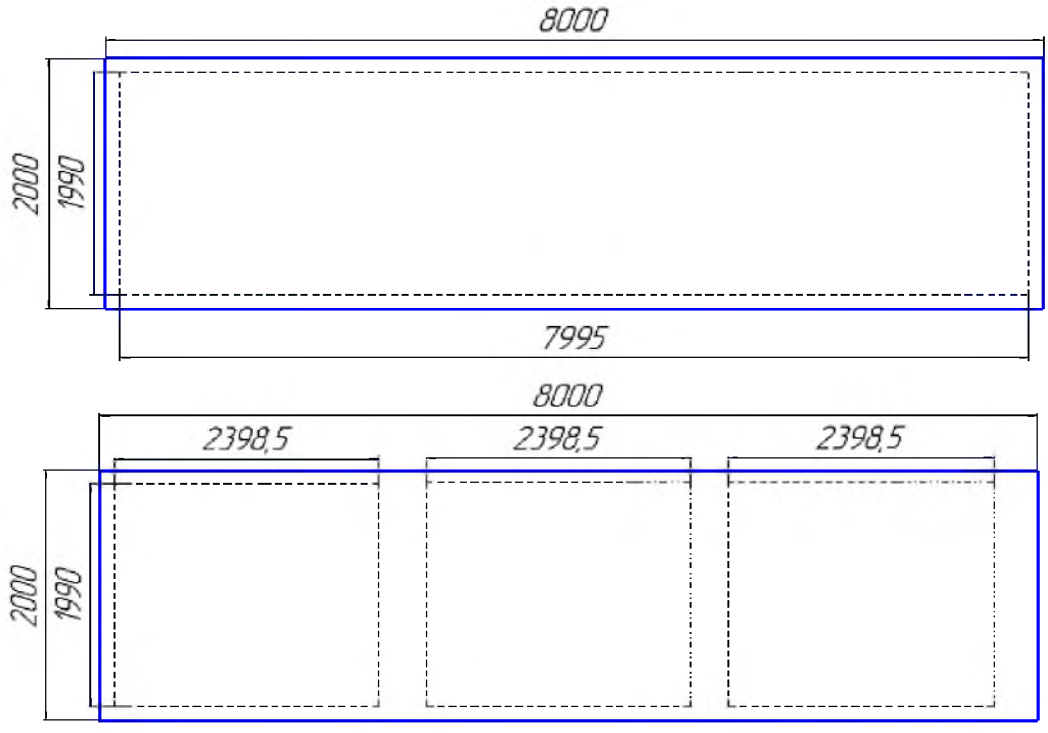


Рисунок 1 – Раскрой листового проката

Условия расчета коэффициент использования материала для поясов стенки резервуара выполняется.

Рассчитаем коэффициент использования материала для окраек днища.

Для расчета коэффициента использования материала для окраек днища, рассчитаем необходимое количество окраек, для этого используем программу SolidWorks и функцию круговой массив. Эскиз окраек днища представлен на рисунке 2.

Согласно эскизу, который представлен на рисунке 2, принимаем количество окраек 12 штук.

Определим геометрические параметры листового проката.

Необходимые геометрические параметры листа для изготовления окраек представлены на рисунке 3.

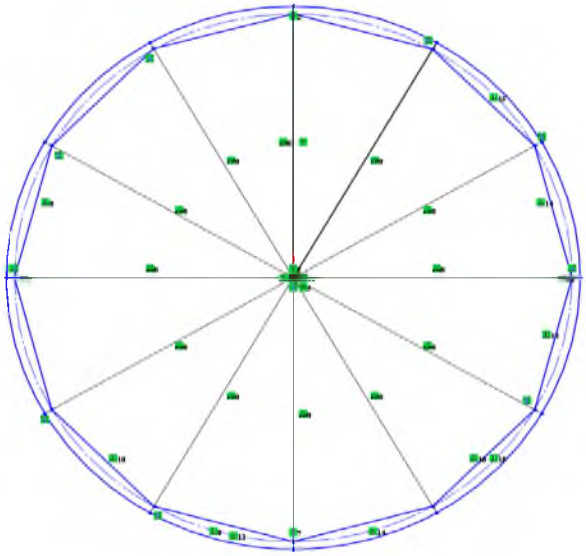


Рисунок 2 – Эскиз окраек днища

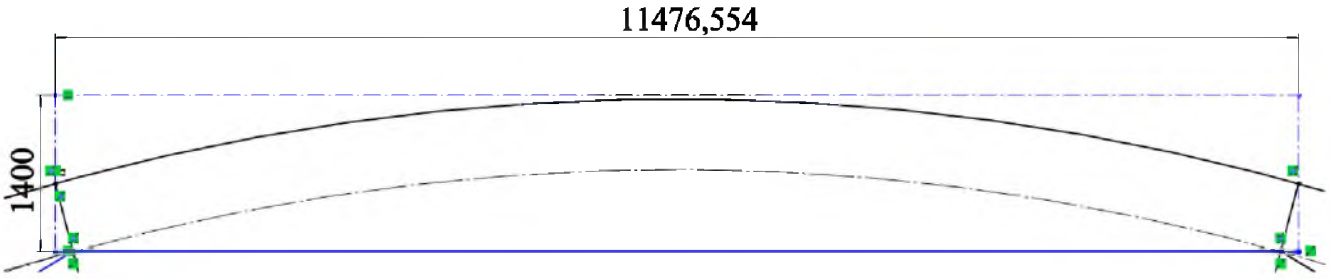


Рисунок 3 – Геометрические параметры листа

Для изготовления окраек резервуара выбираем стальные листы размерами 1400×12000мм [12].

Коэффициент использования материала для окраек днища рассчитаем по формуле 4.1.

$$K_{\text{им}} = \left[\frac{148388915,68}{12000 \cdot 1400 \cdot 12} \right] \cdot 100 = 73\ \%$$

73% > 70% – Условия выполняются.

Раскрой окраек производится по шаблону. Раскрой окраек представлен на рисунке 4.

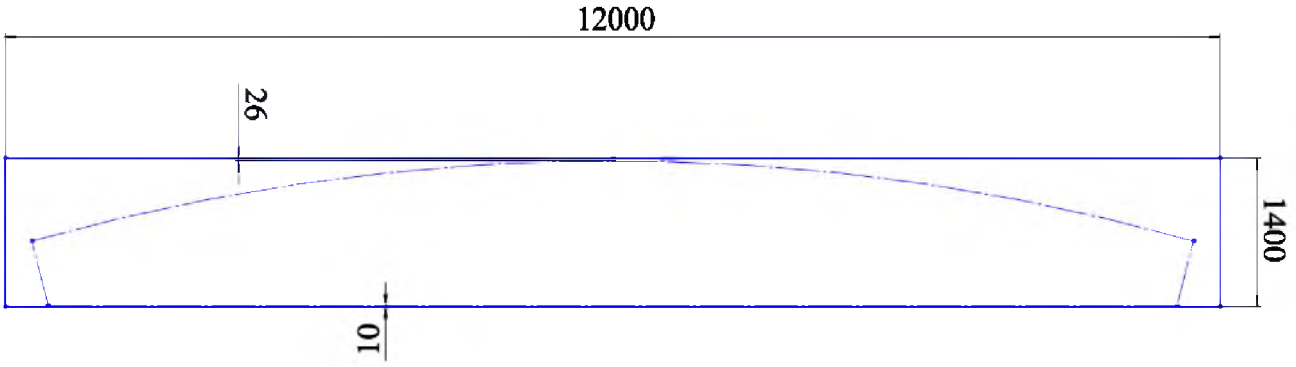


Рисунок 4 – Раскрой окраек

Условия расчета коэффициент использования материала для окраек днища резервуара выполняется.

Перед расчетом коэффициента использования материала центральной части днища, спроектируем укладку листов с учетом всех геометрических параметров, и промаркируем их.

Для изготовления центральной части днища, выбираем стальные листы размерами 2500×12000мм, 2500×9000мм, 1400×8000мм, 2500×8200мм по ГОСТ 19903-2015 [12].

Произведем раскрой листового проката согласно маркировке листов центральной части днища с учетом металлоемкости.

На рисунке 5 представлено расположения листов центральной части днища.

Раскрой листа М1 представлен на рисунке 6, раскрой листа М2 представлен на рисунке 7, раскрой листа М3 представлен на рисунке 8, раскрой листа М4 представлен на рисунке 9, раскрой листа М5, М14, М13 представлены на рисунке 10, раскрой листа М6 представлен на рисунке 11, раскрой листа М7 представлен на рисунке 12, раскрой листа М8, М9 представлены на рисунке 13, раскрой листа М10 представлен на рисунке 14, раскрой листа М11 представлен на рисунке 15, раскрой листа М12 представлен на рисунке 16, раскрой листа М15 представлен на рисунке 17, Раскрой листа М16 представлен на рисунке 18.

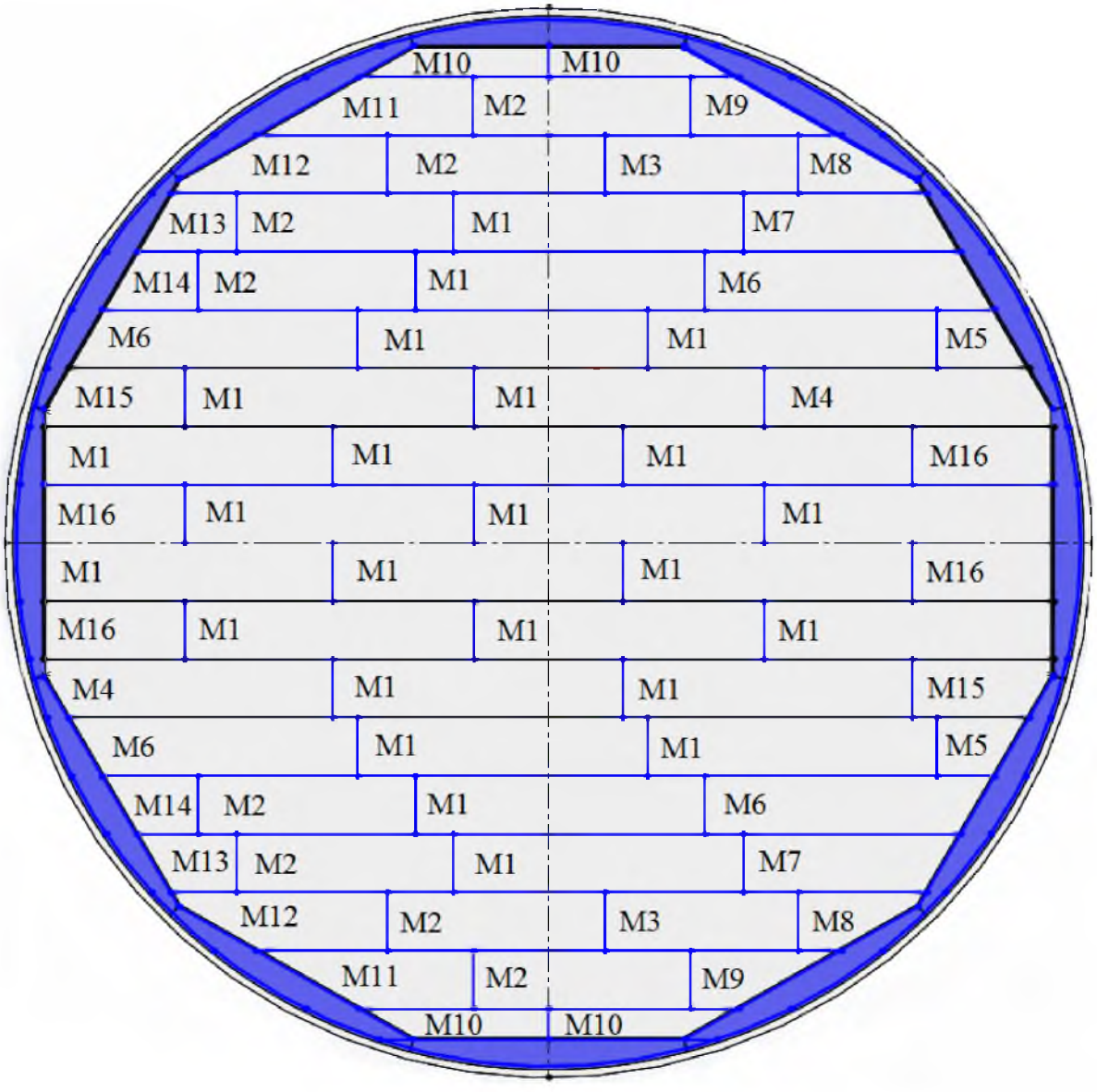


Рисунок 5 – Расположения листов центральной части днища

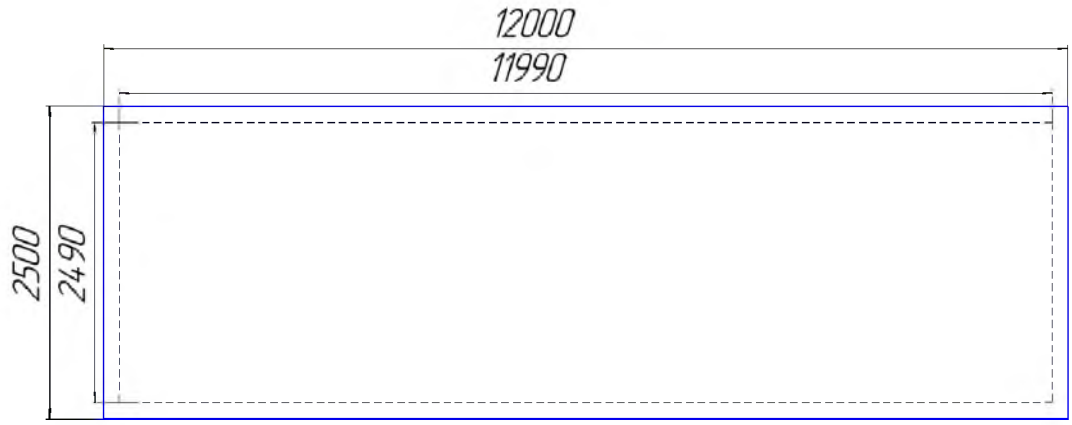


Рисунок 6 – Раскрой листа М1

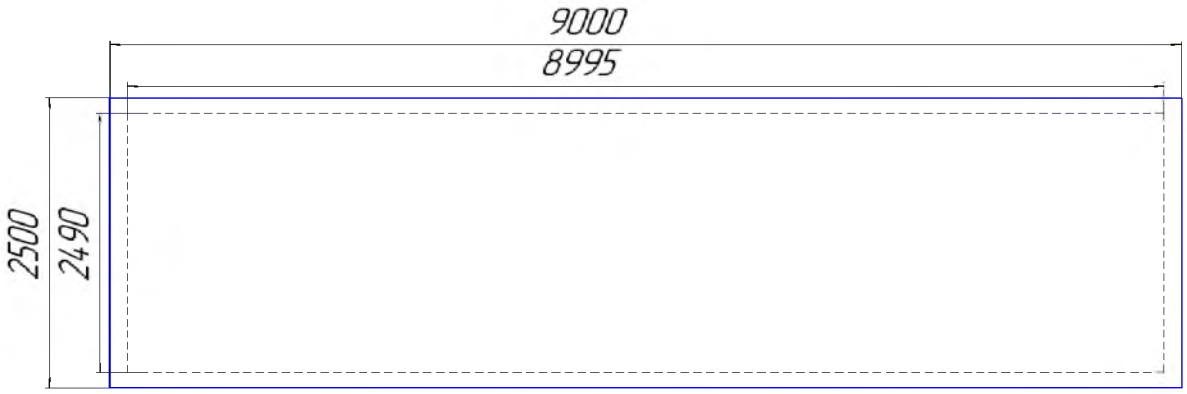


Рисунок 7 – Раскрой листа М2

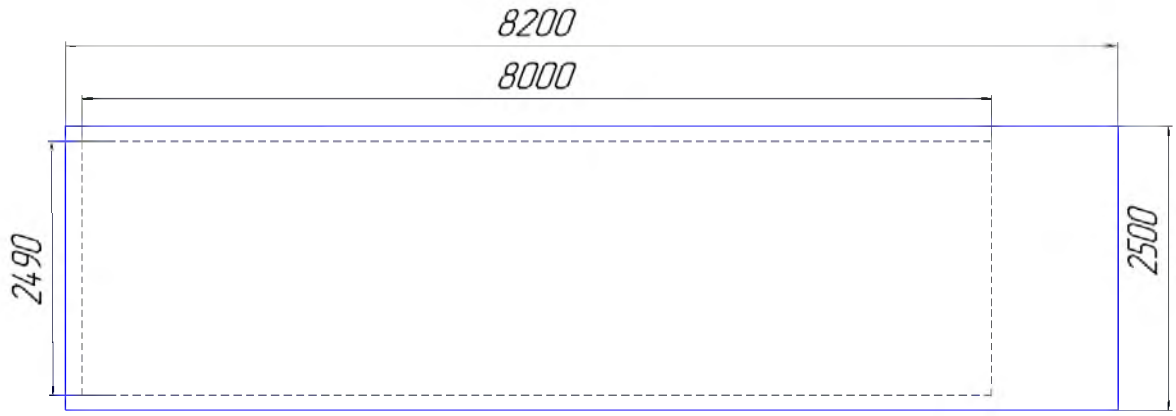


Рисунок 8 – Раскрой листа М3

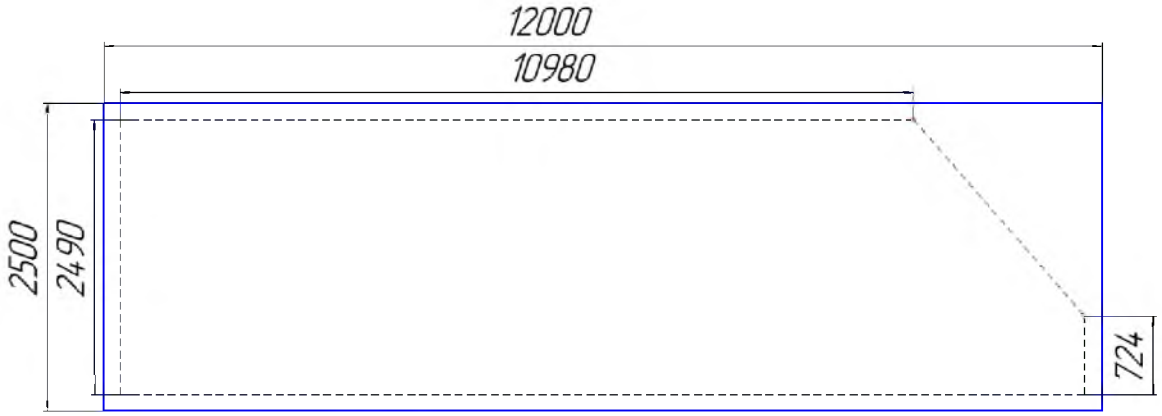


Рисунок 9 – Раскрой листа М4

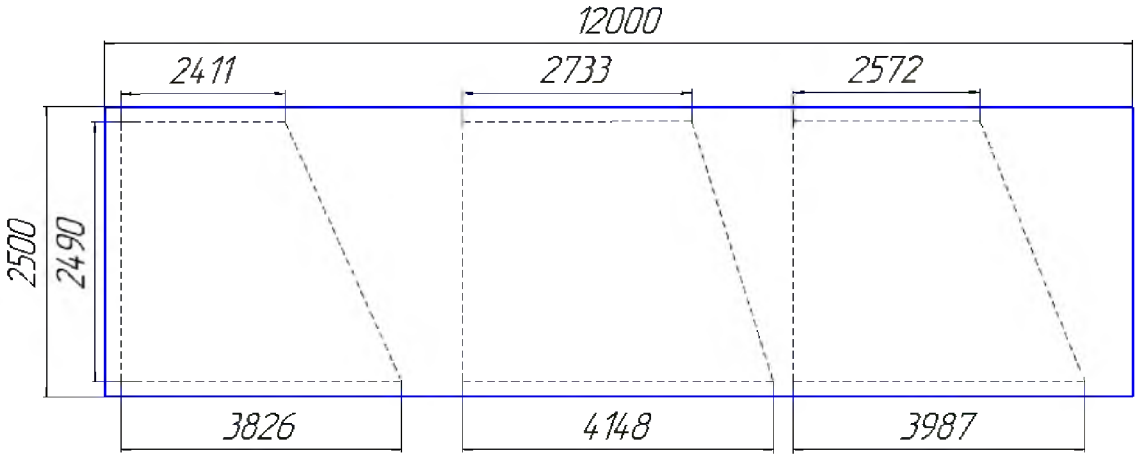


Рисунок 10 – Раскрой листа М5, М13, М14

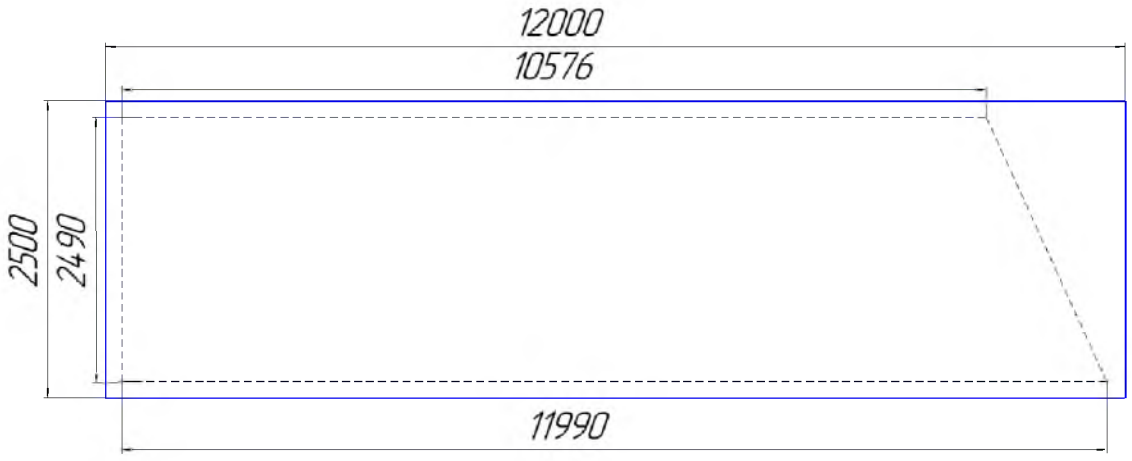


Рисунок 11 – Раскрой листа М6

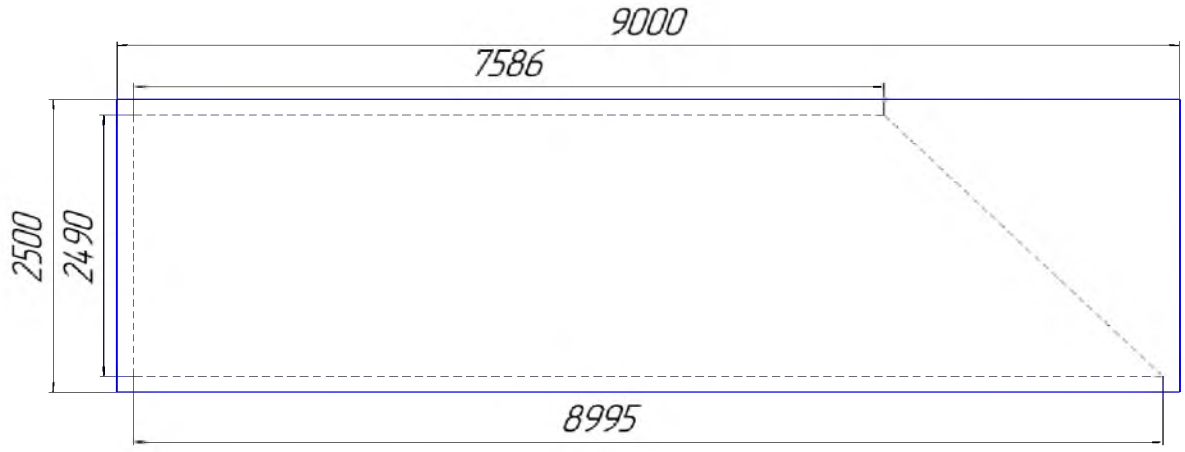


Рисунок 12 – Раскрой листа М7

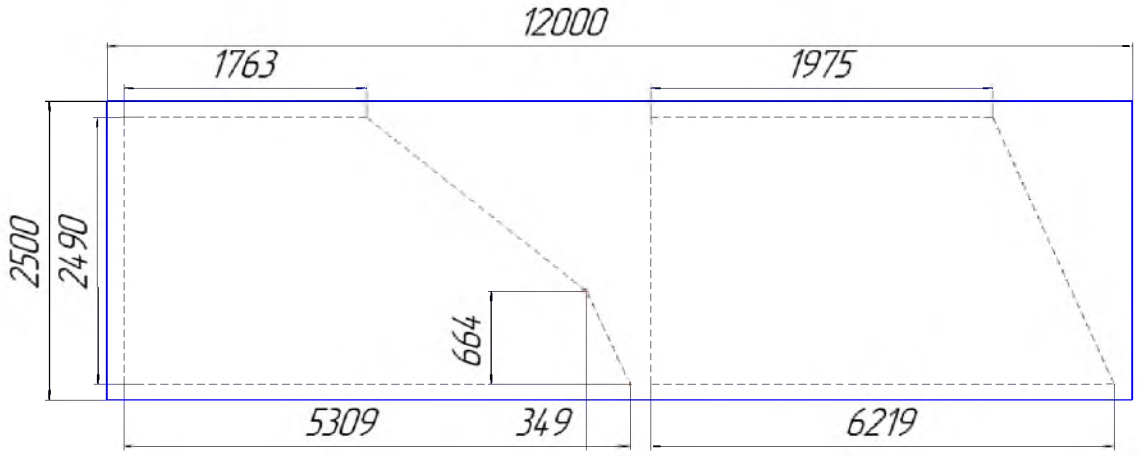


Рисунок 13 – Раскрой листа М8, М9

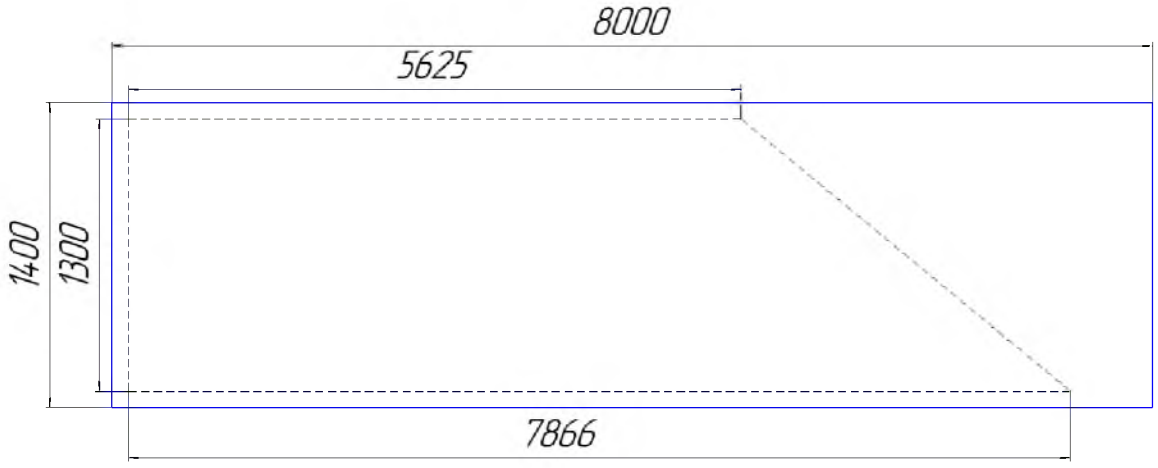


Рисунок 14 – Раскрой листа М10

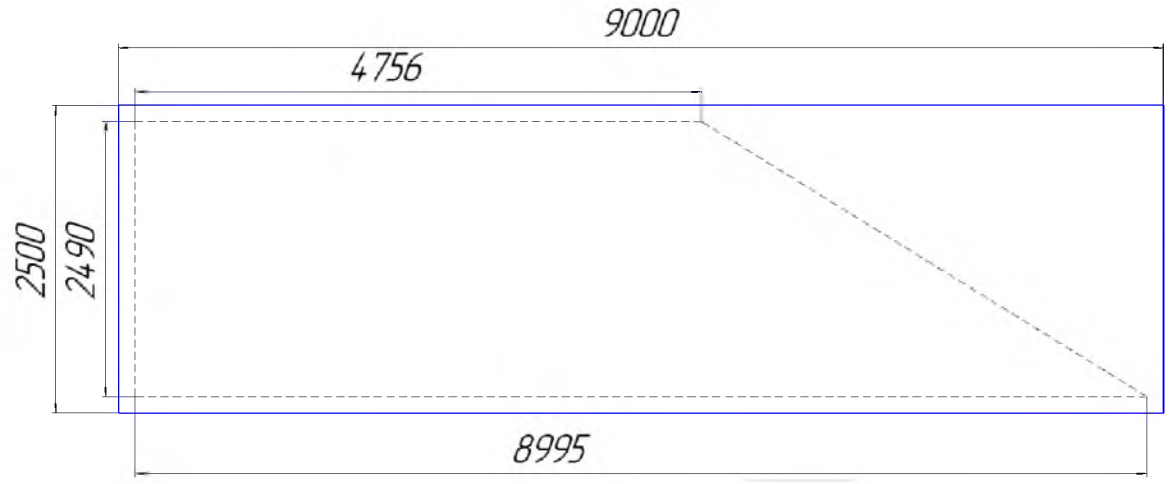


Рисунок 15 – Раскрой листа М11

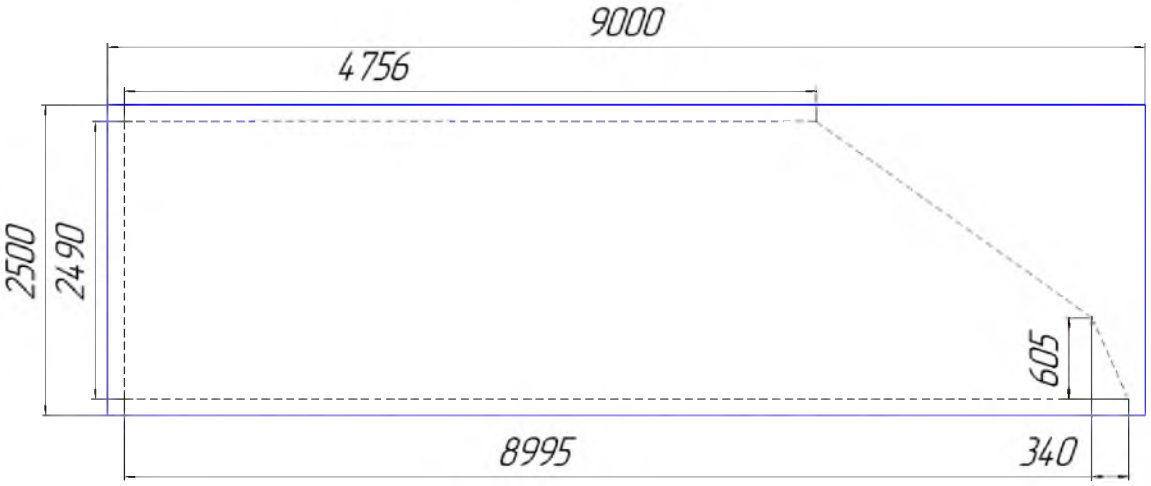


Рисунок 16 – Раскрой листа М12

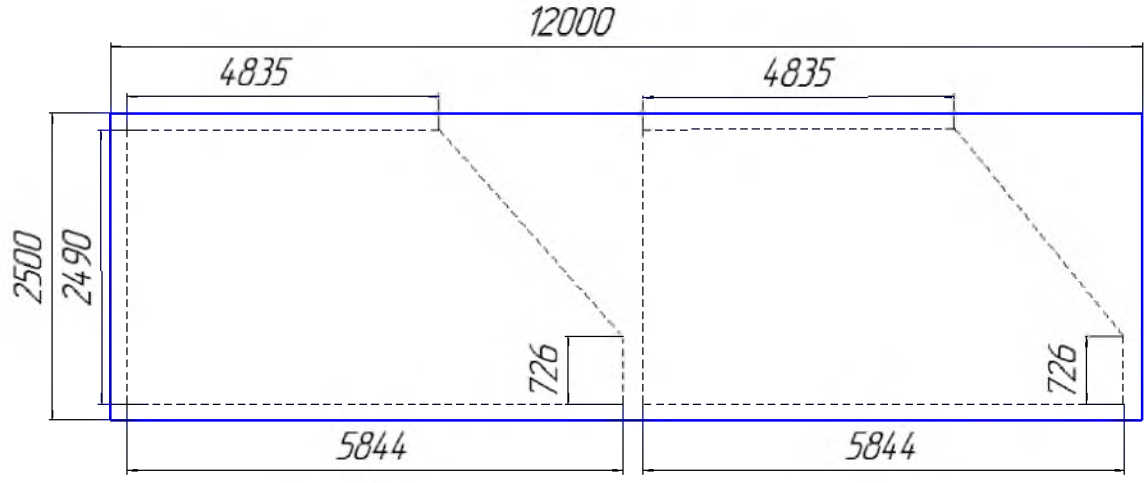


Рисунок 17 – Раскрой листа М15

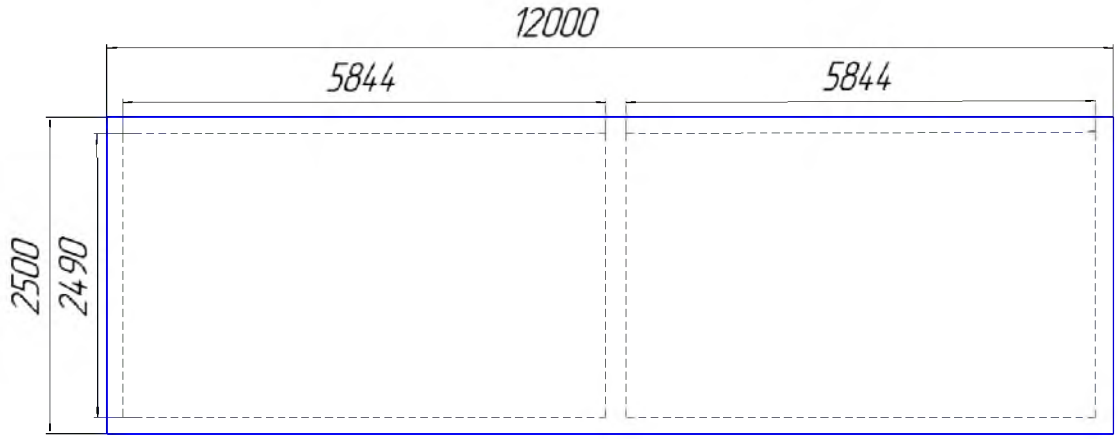


Рисунок 18 – Раскрой листа М16

Далее после проектирования и раскроя листового проката, рассчитаем коэффициент использования материала по формуле 4.1.

$$K_{\text{им}} = \left[\frac{1392110467}{1540800000}\right] \cdot 100 = 90{,}34\ \%$$

90,4% > 70% – Условия выполняются.

Условия расчета коэффициент использования материала для центральной части днища резервуара выполняется.

Произведем подготовку кромок листов стенки резервуара.

На рисунках 19, 20, 21, 22 показано подготовка кромок вертикальных сварных соединений С25.

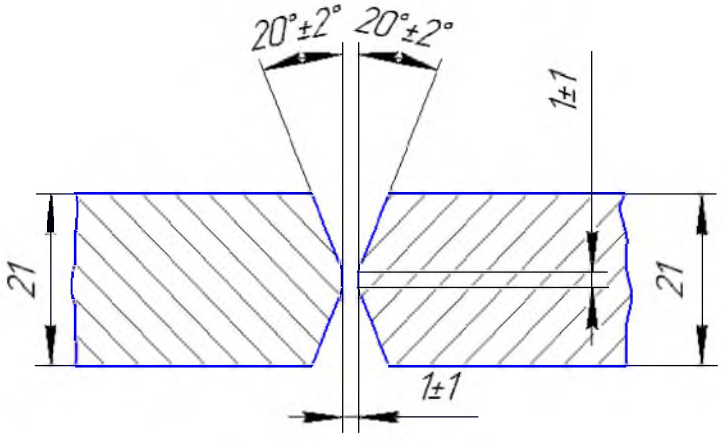


Рисунок 19 – Подготовка кромок сварного соединения С25 первого пояса

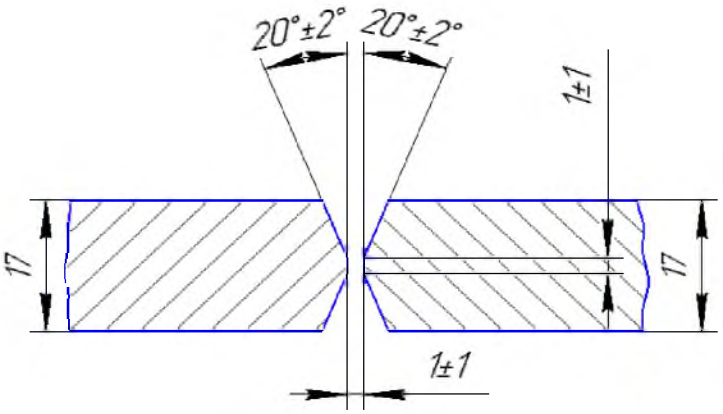


Рисунок 20 – Подготовка кромок сварного соединения С25 второго пояса

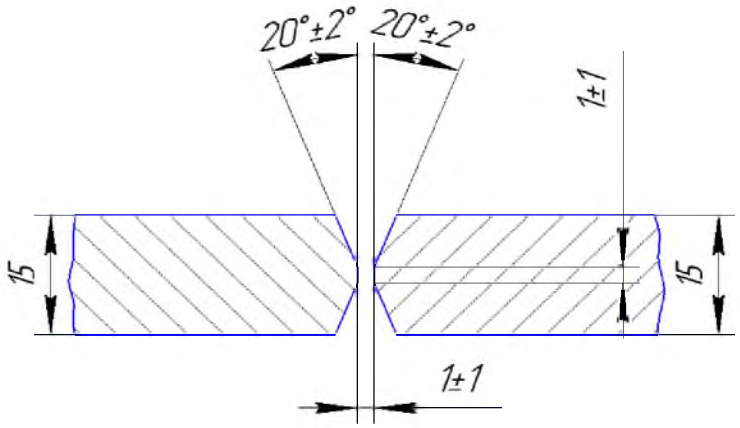


Рисунок 21 – Подготовка кромок сварного соединения С25 третьего пояса

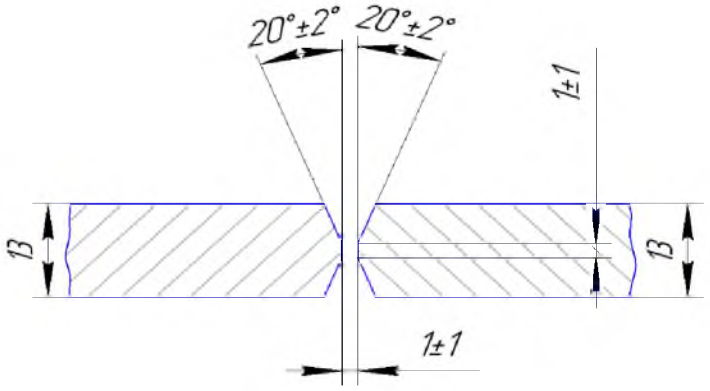


Рисунок 22 – Подготовка кромок сварного соединения С25 четвертого пояса

На рисунках 23 и 24 показано подготовка кромок вертикальных сварных соединений С17.

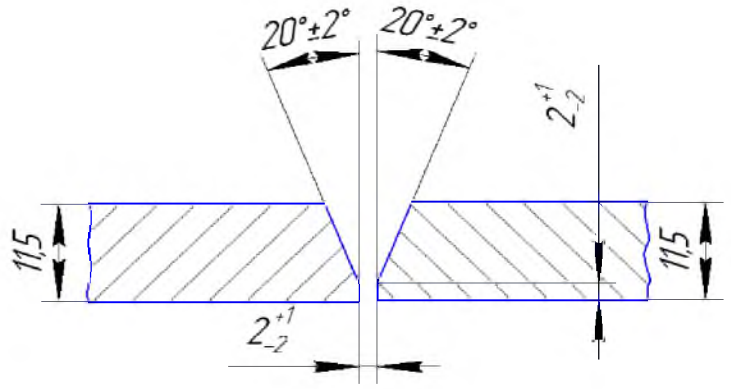


Рисунок 23 – Подготовка кромок сварного соединения С17 пятого пояса

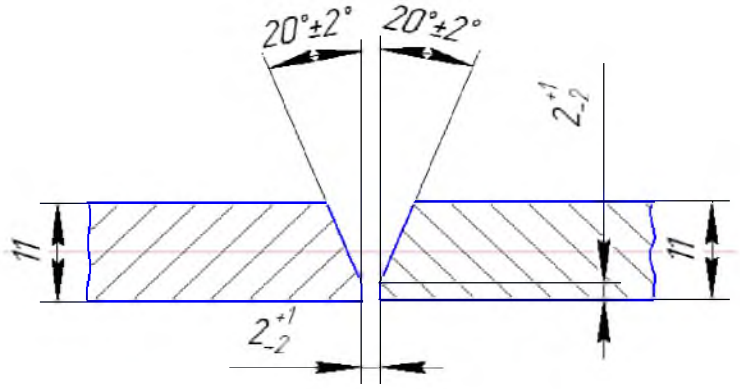


Рисунок 24 – Подготовка кромок сварного соединения С17 шестого-девятого пояса

На рисунках 25 и 26показано подготовка кромок горизонтальных сварных соединений С9.

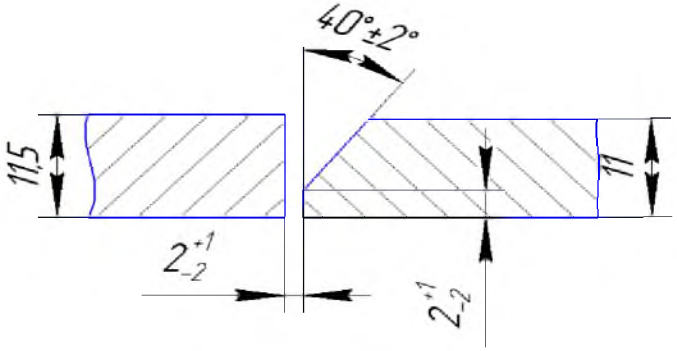


Рисунок 25 – Подготовка кромок сварного соединения С9 пятого пояса

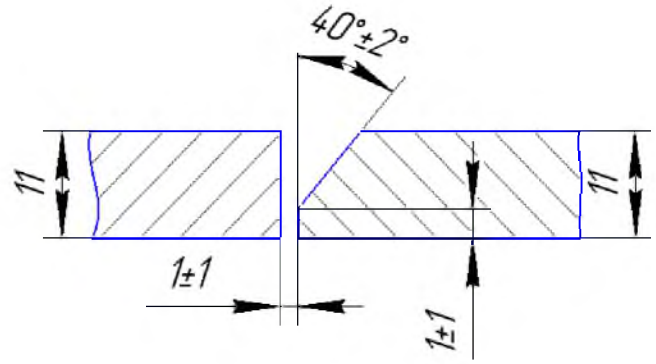


Рисунок 26 – Подготовка кромок сварного соединения С9 шестого-девятого пояса

На рисунках 27, 28, 29 и 30 показано подготовка кромок горизонтальных сварных соединений С15

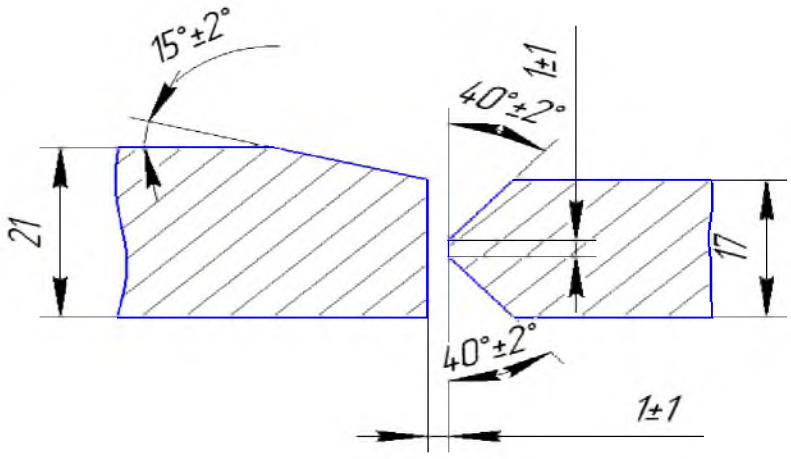


Рисунок 27 – Подготовка кромок сварного соединения С15 первого пояса

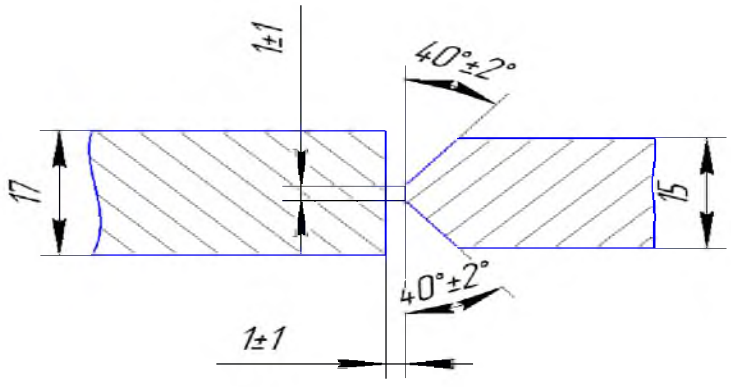


Рисунок 28 – Подготовка кромок сварного соединения С15 второго пояса

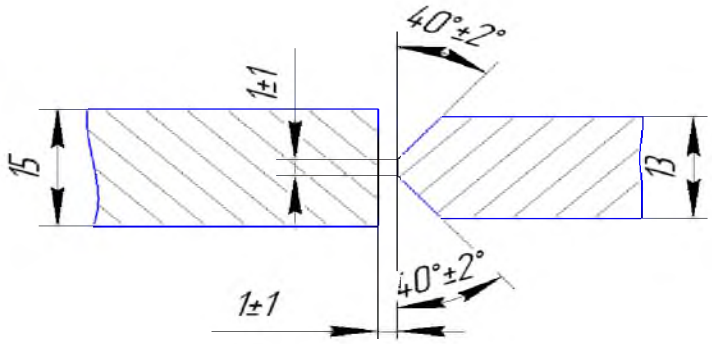


Рисунок 29 – Подготовка кромок сварного соединения С15 третьего пояса

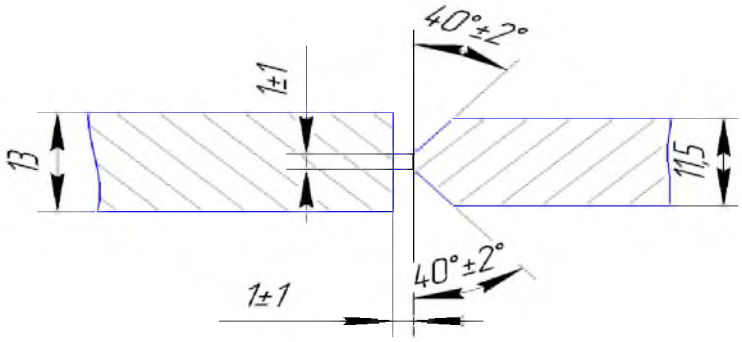


Рисунок 30 – Подготовка кромок сварного соединения С15 четвертого пояса

На рисунке 31 показано подготовка кромок таврового сварного соединения Т9.

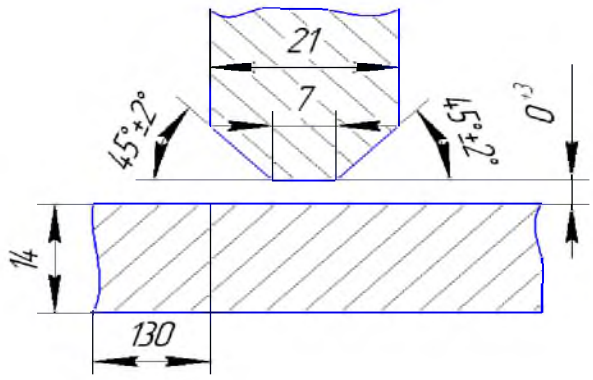


Рисунок 31 – Подготовка кромок таврового сварного соединения Т9

Произведем подготовку кромок листов днища резервуара.

На рисунках 32 и 33 показано подготовка кромок сварных соединений С10.

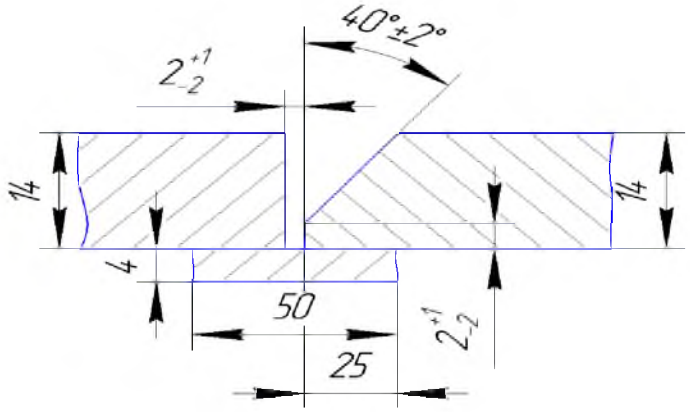


Рисунок 32 – Подготовка кромок сварного соединения С10, для сварки окраек днища резервуара

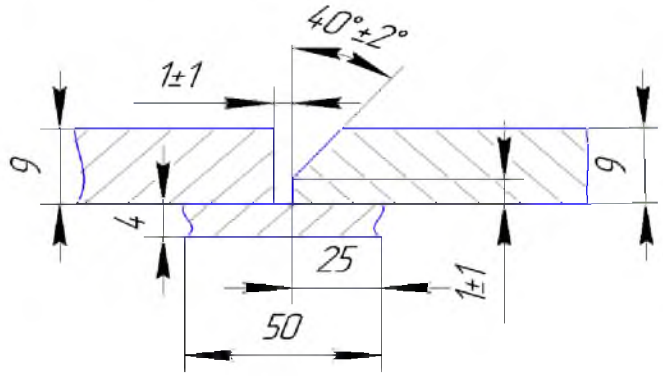


Рисунок 33 – Подготовка кромок сварного соединения С10, для сварки центральной части днища резервуара

4.3 Оценка свариваемости основных материалов конструкции

Одним из ключевых параметров в производстве сварных конструкций является свариваемость сталей, которая во многом определяет выбор способов сварки и виде технологических процессов. Простейшая оценка свариваемости стали проводится по углеродному эквиваленту (риск развития холодных трещин) по [9]:

$$C_{экв} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cu}{13} + \frac{V}{14} + \frac{P}{2}, \% \quad (4.2)$$

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

С – углерод, %;

Mn – марганец, %;

Si – кремний, %;

Cr – хром, %;

Mo – молибден, %;

Ni – никель, %;

Cu – медь, %;

V – ванадий, %;

P – фосфор, %.

Углеродный эквивалент стали основных конструкций не должен превышать 0,43 [9].

Рассчитаем углеродный эквивалент стали 09Г2С.

Химический состав стали смотри в таблице 1.

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

Рассчитаем углеродный эквивалент для стадии Ст3сп по формуле 4.2.

Химический состав стали смотри в таблице 3.

$$C_{экв} = 0,14 + \frac{0,5}{24} + \frac{0,3}{5} + \frac{0,3}{40} + \frac{0,3}{13} + \frac{0,04}{2} = 0,34\ \%.$$

Расчет углеродного эквивалента удовлетворяет требованиям СТО - СА-03-002-09 [9].

4.4 Выбор и обоснование способов сборки и сварки изделия

Выбор способа сварки резервуара и его элементов должны обеспечивать:

а) высокую производительность;

б) экономическую эффективность (сварочные материалы, массы наплавленного металла, затраты на сварочное оборудование и т д);

в) высокое качество сварных соединений;

г) минимальные деформации свариваемых элементов.

Рекомендуемые способы сварки для различных типов сварных соединений при сооружении резервуаров из монтируемых полистовым методом, приведены в таблице 18.

Применение ручной дуговой сварки (РДС) при сооружении резервуара должно быть минимально, так как применения этого способа приводит к повышенным сварочным деформациям за счет высокой степенью удельного тепловложения и за сравнительно низкую производительность.

Таблица 18 – Рекомендуемые способы сварки цилиндрических резервуаров, сооружаемых полистовым способом [9]

Сварное соединение	Рекомендуемый способ сварки
Соединение окраек днища	1.Механизированная сварка в углекислом газе. 2.Механизированная сварка порошковой проволокой.
Соединение элементов центральной части днища	1.Механизированная сварка в углекислом газе. 2.Механизированная сварка порошковой проволокой. 3.Автоматизированная сварка под флюсом.
Уторные швы в сопряжении стенки и днища	1.Автоматизированная сварка под флюсом 2.Механизированная сварка порошковой проволокой. 3.Механизированная сварка в углекислом газе.
Вертикальные соединения стенки	1. Автоматизированная сварка с принудительным формированием шва порошковой или активированной проволокой. 2. Механизированная сварка в углекислом газе.
Горизонтальные соединения стенки	1. Автоматизированная сварка под флюсом. 2. Механизированная сварка в углекислом газе. 3. Сварка порошковой проволокой с полупринудительным формированием шва

При механизированной сварке в углекислом газе в условиях ветра необходимо применять устройства, по обеспечению повышенной устойчивости струи защитного газа и стойкости к порообразованию, или применять заграждения от ветра.

На основе требований и рекомендаций СТО - СА-03-002-2009 [9], принимаем механизированную сварку в углекислом газе, для сварки соединение окраек днища, уторные швы в сопряжении стенки и днища, вертикальные соединения стенки, горизонтальные соединения стенки.

Механизированная сварка в углекислом газе является одним из оптимальных методов сварки резервуаров, так как имеет высокую производительность и экономичность по сравнению с ручной дуговой сваркой.

Механизированная сварка в углекислом газе по сравнению с механизированной сваркой порошковой проволокой, имеет преимущество в экономическом отношении.

Для сварки соединение элементов центральной части днища принимаем автоматическую сварку под слоем флюса и механизированную сварку в углекислом газе по рекомендациям из таблицы 16 [9].

4.4.1 Монтаж окраек днища

Монтаж окраек днища осуществляется в следующей последовательности:

– На основании резервуара нанести оси I-III, II-IV, отметив центр основания т. «О» рисунок 34.

– Уложить подкладной лист в центре основания, в месте пересечения осей I-III и II-IV.

– Зафиксировать центр днища приваркой замерного устройства, рисунок 37 поз.1.

– Установить на замерное устройство рулетку с чертилкой на расстоянии R=22171 мм.

– Нанести на начальной окрайке (окрайка с 2 приваренными подкладными полосами) риску, проходящую через середину прямолинейной и криволинейной кромок.

– Уложить начальную окрайку так, чтобы нанесенная риска располагалась вдоль оси I-III, а крайние точки окрайки установить по *R*=22171 мм.

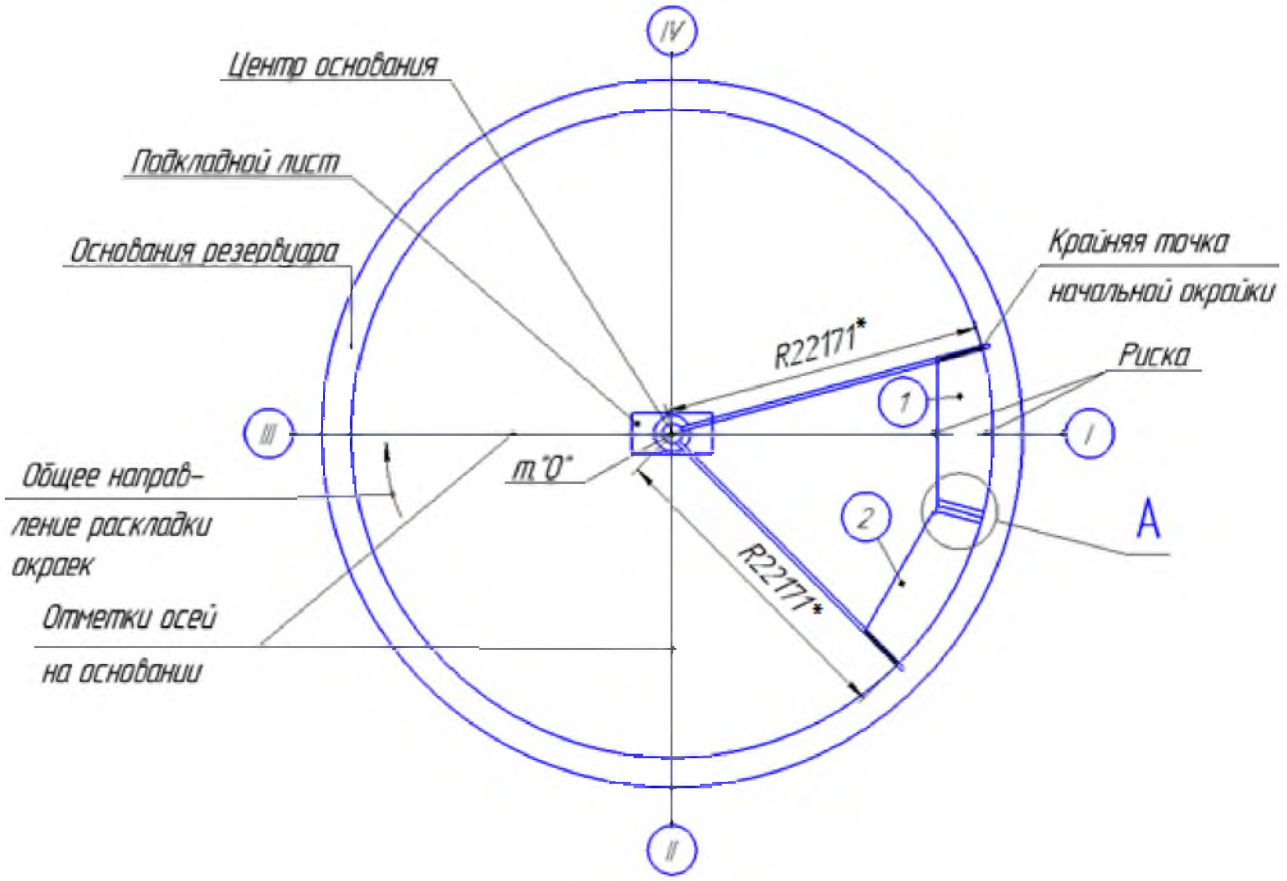


Рисунок 34 – Схема монтажа окраек:1 – первая окрайка; 2 – вторая окрайка

Выноска А, на рисунке 34 представлена на рисунке 35.

– Уложить последующие окрайки по часовой стрелке, рисунок 34.

– Клиновой зазор должен составлять 4-10 мм, рисунок 35.

Прижим окраек обеспечивается скобой поз. 2 и клином поз. 3 рисунок 36.

Зазор между подкладной полосой и нижней поверхностью листов должен составлять не более 0,5 мм. Допускается смещения кромок 0,8 мм.

– Зафиксировать зазоры под сварку с помощью гребенок, поз.4, рисунок 38.

– Проверить:

а) проектный размер кольца окраек;

б) зазоры под сварку;

в) отсутствие вмятин в зоне расположение стенки.

Результаты измерения должны быть занесены в журнал пооперационного контроля монтажно-сварных работ.

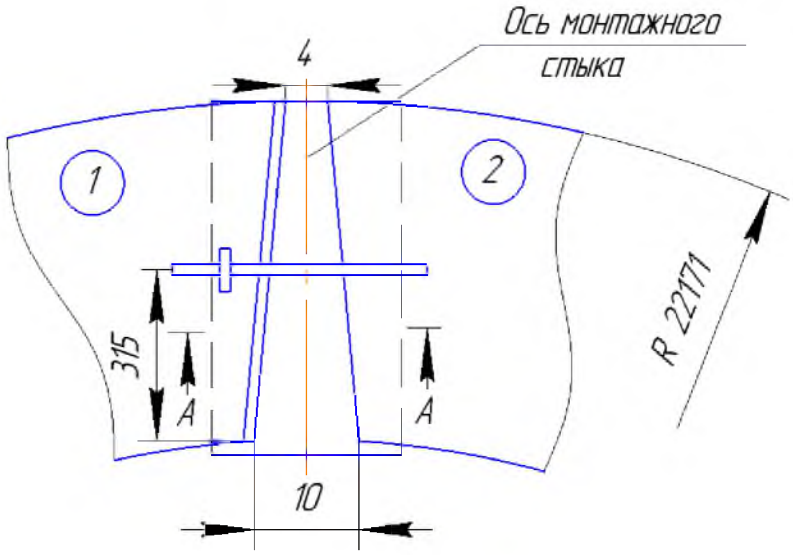


Рисунок 35 – Выноска А: 1 – первая окрайка; 2 – вторая окрайка

Разрез А-А на рисунке 35 представлен на рисунке 36.

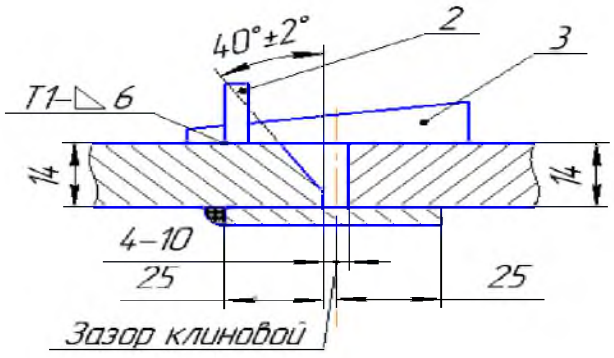


Рисунок 36 - Разрез А-А: 2 – скоба; 3 – клин

– После полной сборки кольца окраек приступить к его сварке.

Сварку стыков выполнять одновременно двум сварщикам, которые располагаются на диаметрально противоположных стыках, передвигаясь по часовой стрелке до окончания сварки всех стыков. Сварку листов окраек между собой выполнять на участке длиной 250 мм из 630мм.

Последовательность выполнения сварки стыков окраек обозначена от 1 до 12 на рисунке 40.

Выпуклость швов в местах примыкания стенки на длине 200 мм снять до основного металла шлифовальными машинами.

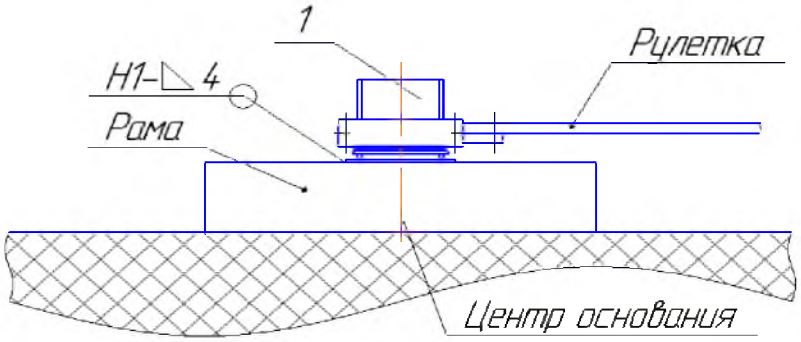


Рисунок 37 – Схема установки замерного устройства: 1 – Замерное устройство

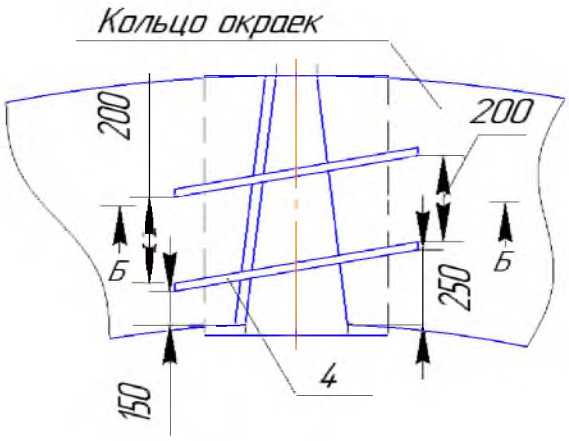


Рисунок 38 – Схема 3, установка гребенок: 4 – гребенки

Разрез Б-Б на рисунке 38 представлен на рисунке 39.

– Произвести контроль качества сварных швов № от 1 до 12.

Указания:

– Прихватку и сварку стыков окраек днища выполнять механизированной сваркой в защитных газах сварочной проволокой Св-08Г2С диаметром 1,6 мм по ГОСТ 2246-70 [14]. Сварку выполнять секционным обратноступенчатым способом с длиной ступени 100 мм ниточными швами без поперечных колебаний по зачищенным кромкам.

Сварные швы выполнять по [14].

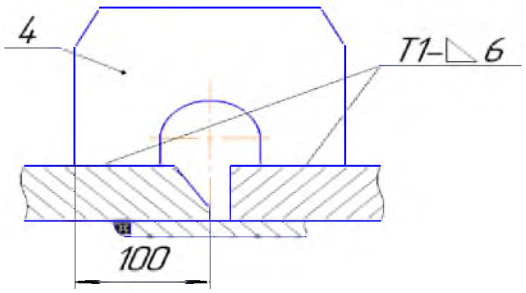


Рисунок 39 – Разрез Б-Б: 4 - гребенка

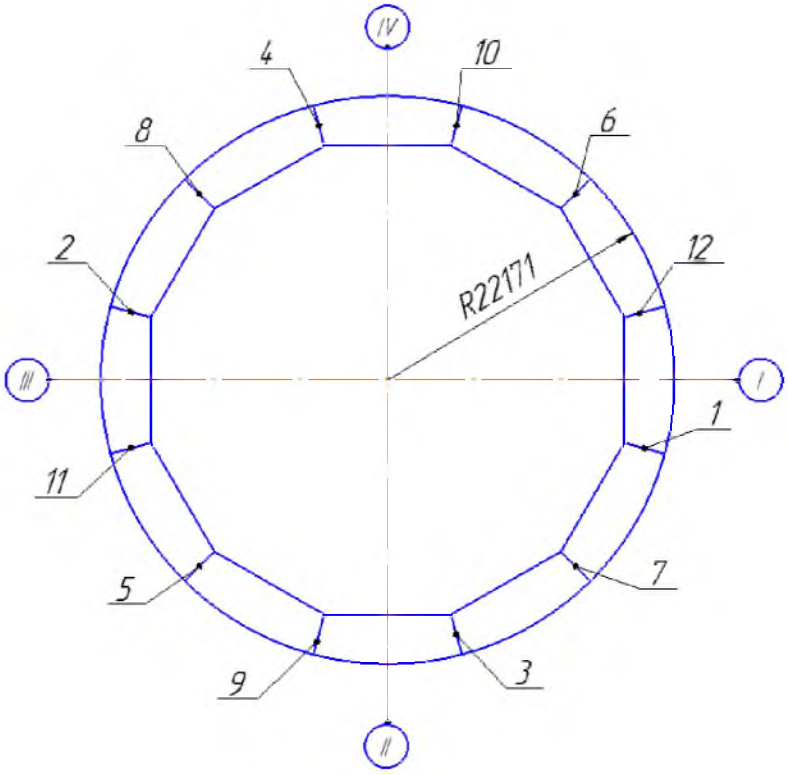


Рисунок 40 – Схема последовательности выполнения сварки стыков окраек днища: 1-12 – порядок выполнения швов

4.4.2 Порядок укладки листов днища

На рисунке 41 представлена схема, порядок уклад листов, центральной части днища резервуара.

Монтаж центральной части днища производить в следующей последовательности:

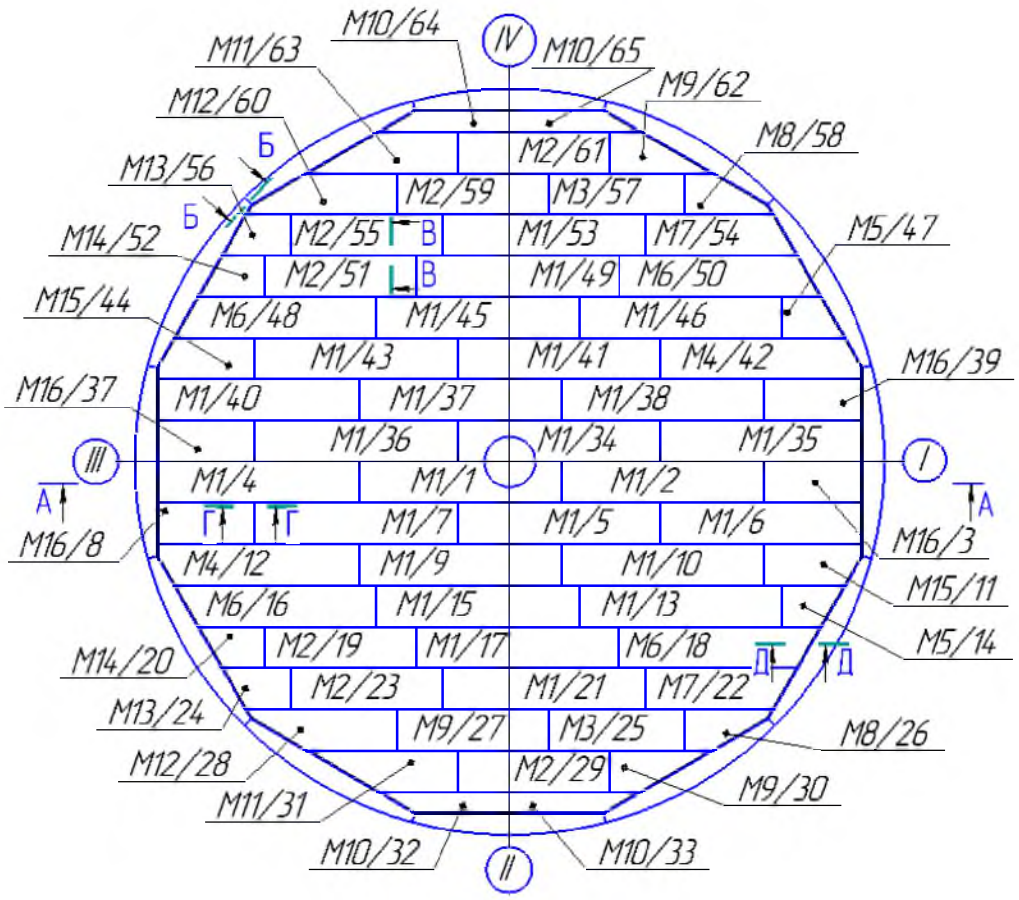


Рисунок 41 – Схема порядока укладки листов, центральной части днища резервуара: М1-М16 – маркировка листов; 1-65 – порядок укладки

– Нанести на основание и окрайки оси резервуара I-III, II-IV, рисунок 40.

– На листе М1/1 нанести риску параллельно стороне 2490 мм.

– Нанести риски по сторонам 2490 мм, отступив от стороны 2440 мм – 50 мм (величину нахлеста между полотнищами).

– Уложить лист так, чтобы нанесенные на листе риски совпали с рисками осей на днище, рисунок 40.

– Наметить и вырезать отверстие под ЗУМПФ для патрубка зачистки, собрать лист и ЗУМПФ на прихватки.

– Уложить все листы 1-го ряда согласно рисунку 41 и 46. При монтаже проверять проектный зазор, нахлест на окрайки. Стыки между листами собирать на гребенках, рисунок 47 и 49 поз.3. Выполнить сварку между листами.

Разрез А-А на рисунке 41, представлен на рисунке 42.

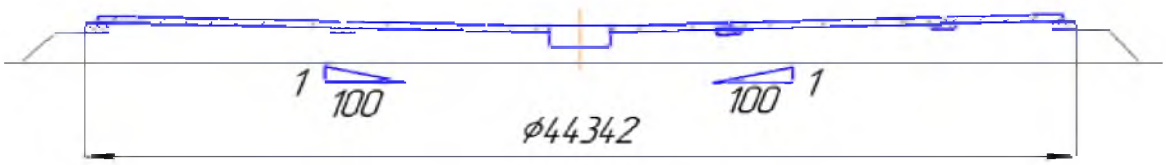


Рисунок 42 – Разрез А-А

Разрез Б-Б на рисунке 41, представлен на рисунке 43. Разрез В-В на рисунке 41 представлен на рисунке 44. Разрез Г-Г на рисунке 41, представлен на рисунке 45. Разрез Д-Д на рисунке 41, представлен на рисунке 46.

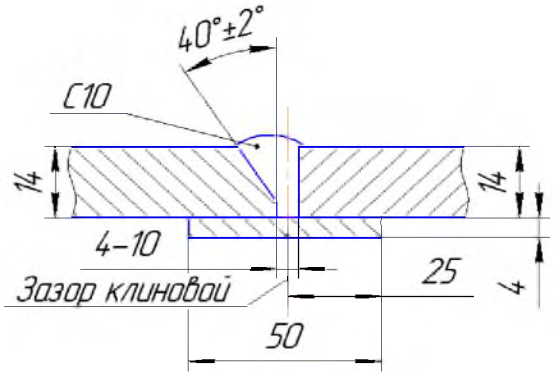


Рисунок 43 – Разрез Б-Б

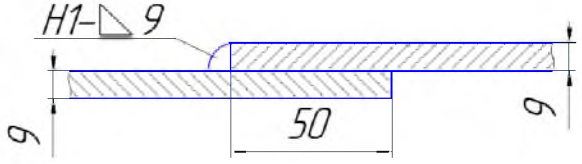


Рисунок 44 – Разрез В-В

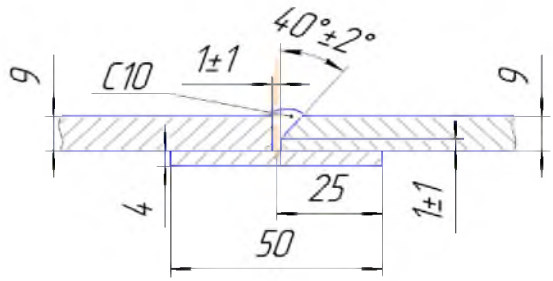


Рисунок 45 – Разрез Г-Г

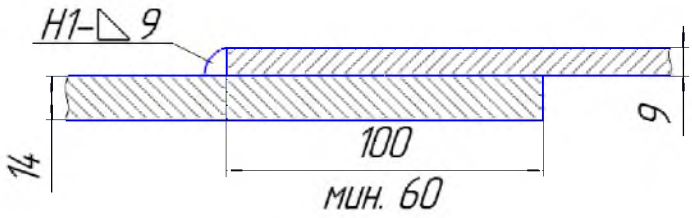


Рисунок 46 – Разрез Д-Д

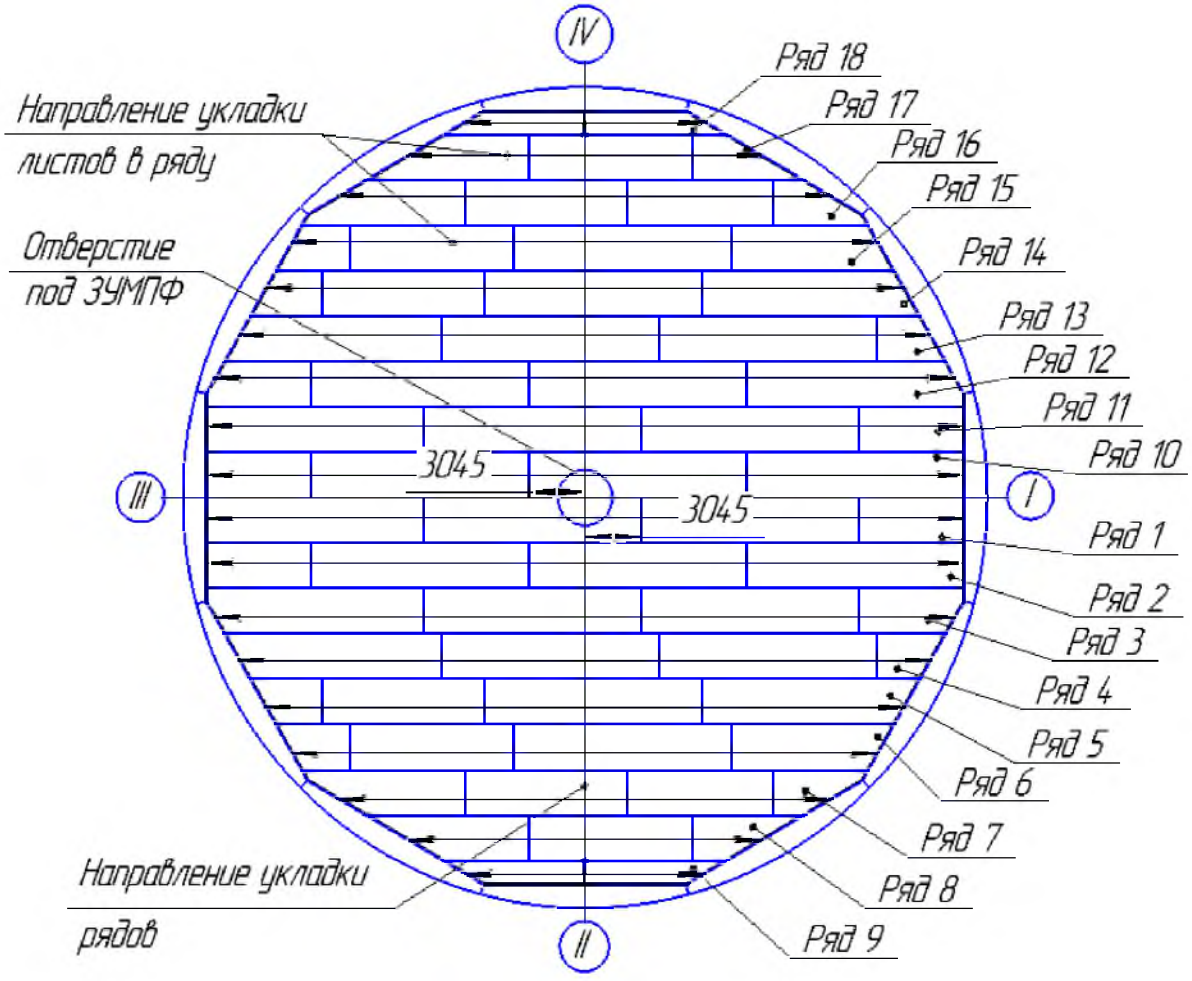


Рисунок 46 – Схема направление укладки листов днища

На рисунке 48 представлен разрез А-А на рисунке 47.

На рисунке 49 представлен разрез Б-Б на рисунке 47.

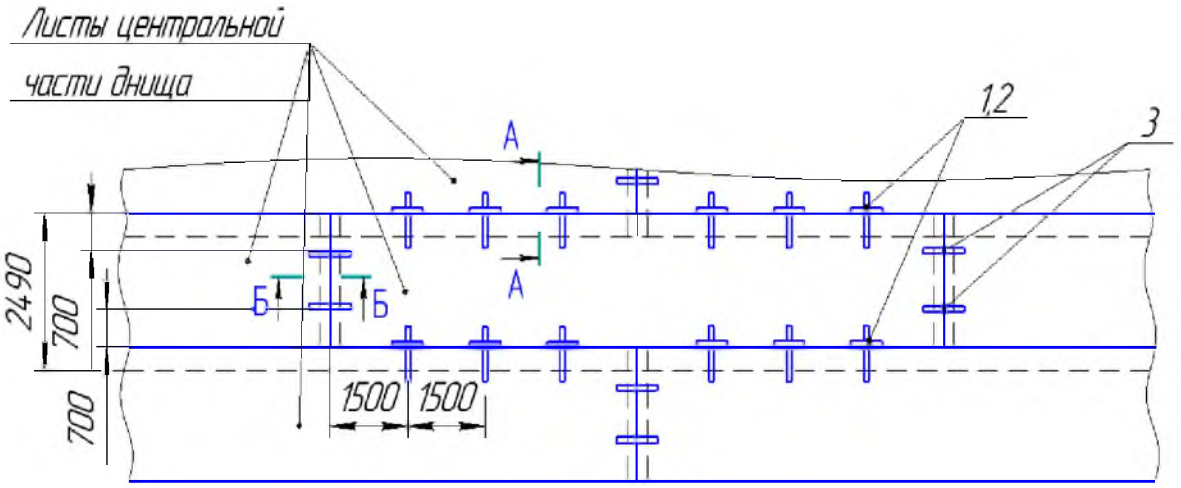


Рисунок 47 – Схема сборки стыков листами центральной части днища: 1 – клин; 2 – скоба; 3 - гребенка

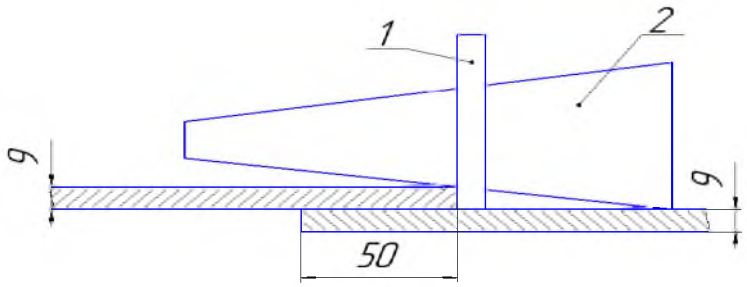


Рисунок 48 – Разрез А-А: 1 – клин; 2 – скоба

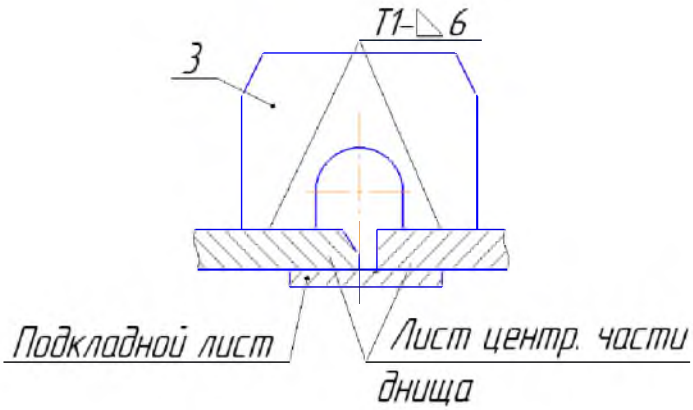


Рисунок 49 – Разрез Б-Б: 3 – гребенка

– Уложить 1-ый лист 2-го ряда М1/5, соблюдая проектный нахлест, рисунок 40 и 43.

– Аналогично уложить все листы 2-го ряда, стыки между листами собирать на гребенках, поз. 3, а между рядами с помощью клиньев и скоб, рисунок 47…49 поз. 1, 2. Выполнить сварку между листами во 2-м ряду.

– Собрать стыки между 1-м и 2-м рядами с помощью клиньев и скоб, рисунок 47 и 48 поз. 2, 1, выполнить прихватку листов между рядами.

– Аналогично вышесказанным пунктам собрать всю центральную часть днища, при этом первый лист М1/34 10-го ряда размечать и укладывать аналогично листу М1/1 1-го ряда.

4.4.3 Последовательность выполнения сварки днища

Сварку днища производить в следующей последовательности:

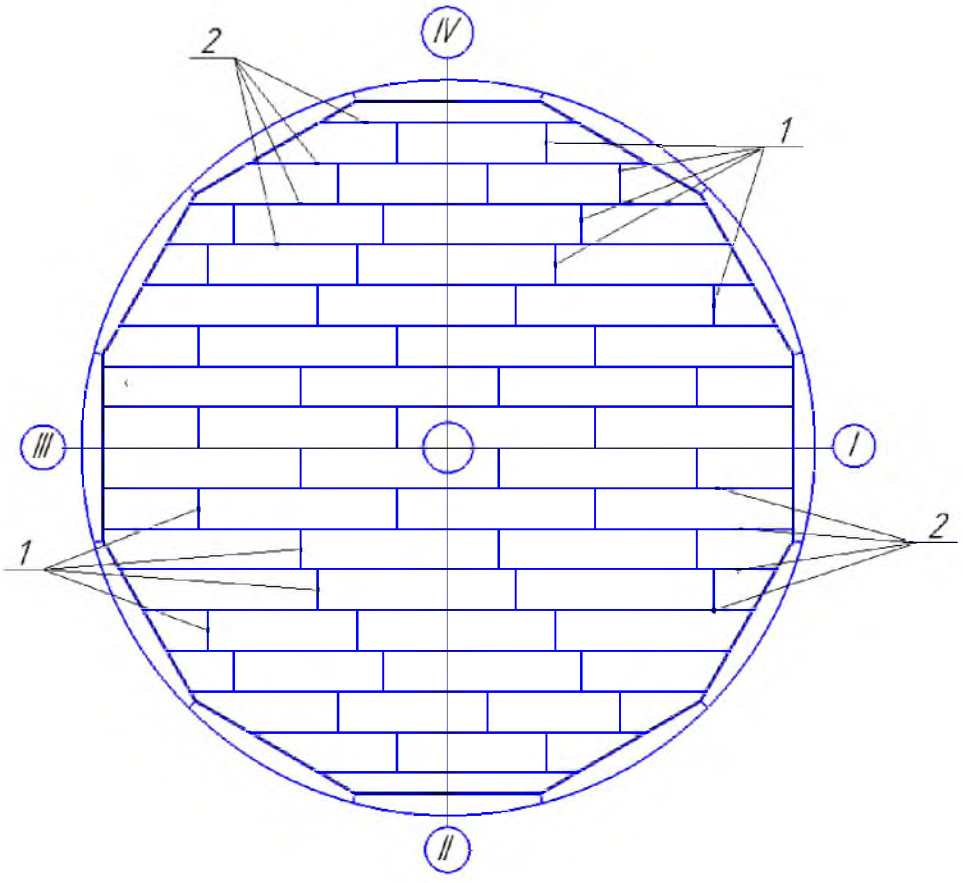


Рисунок 50 – Схема выполнения швов: 1 – поперечные швы; 2 – продольные швы

– Виды соединений листов днища:

а) поперечные стыковые соединения листов днища – швы 1-[1]…[48];

б) продольные нахлесточные соединения рядов между собой- швы 2-[49] – [64].

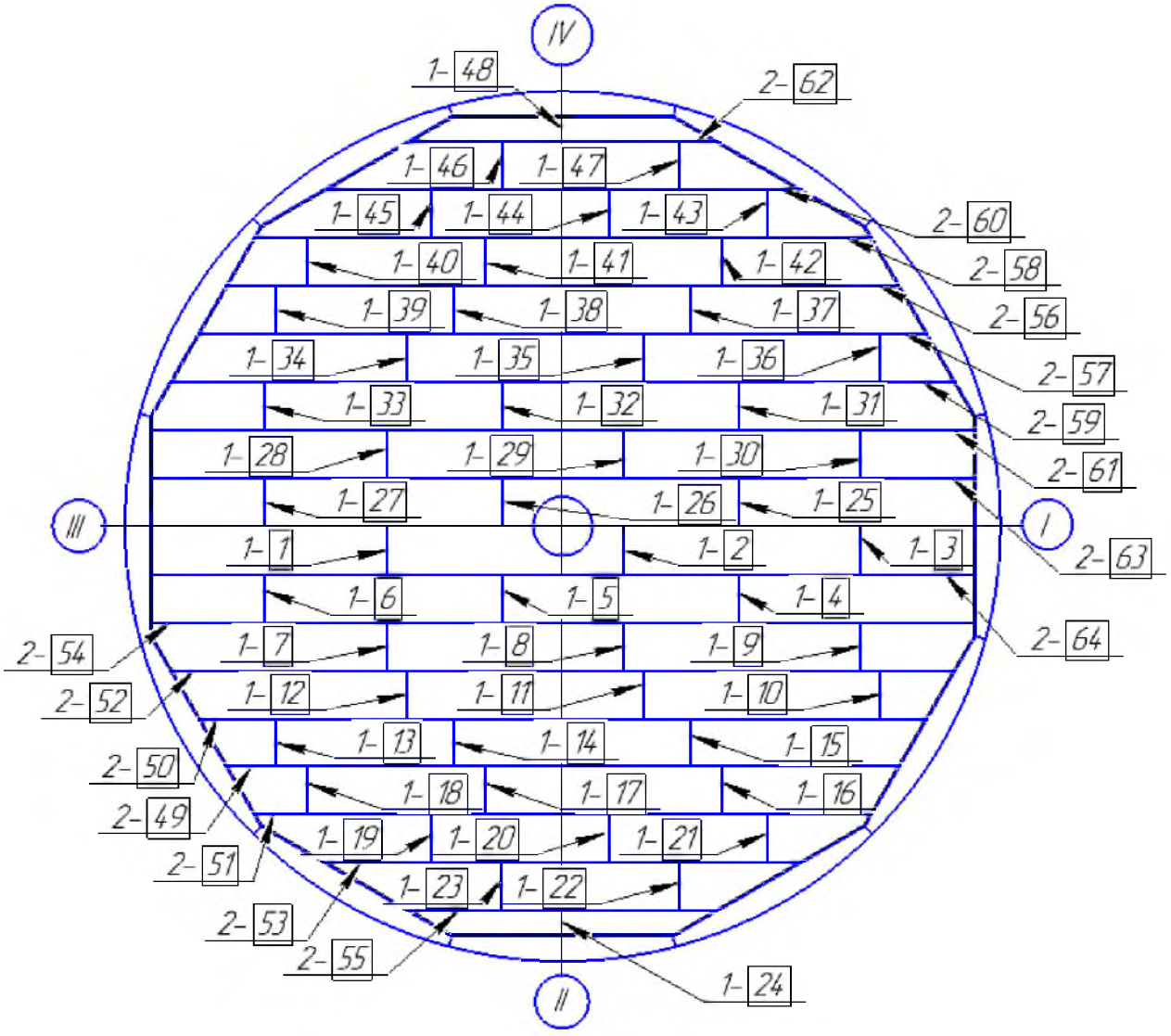


Рисунок 50 – Схема последовательности выполнения швов: 1 – поперечные швы; 2 – продольные швы; [1]-[48], [49]-[64] – последовательность сварки

– Сварка поперечных стыковых соединений листов днища (швы 1-[1]…[48]):

а) К сварке поперечных стыковых соединений листов днища в ряде приступить после сборки листов днища в ряд на гребенках согласно технологии монтажа.

б) Проверить правильность сборки ряда на основании.

в) Выполнить сварку поперечных стыковых соединений листов днища в ряду, между собой, в последовательности указанной на рисунке 50.

При необходимости, с целью уменьшения деформаций, установить рядом со стыком прижимной швеллер, рисунок 51 и 52 поз. 1. Сварку выполнять на выводных планках. После сварки, удалить выводные планки, а торцы зачистить шлифовальными машинами.

При использовании прижимного швеллера в начале и в конце сварного соединения, сварить швы на расстоянии 200-250 мм механизированной сваркой, для доступа головки автоматической сварки.

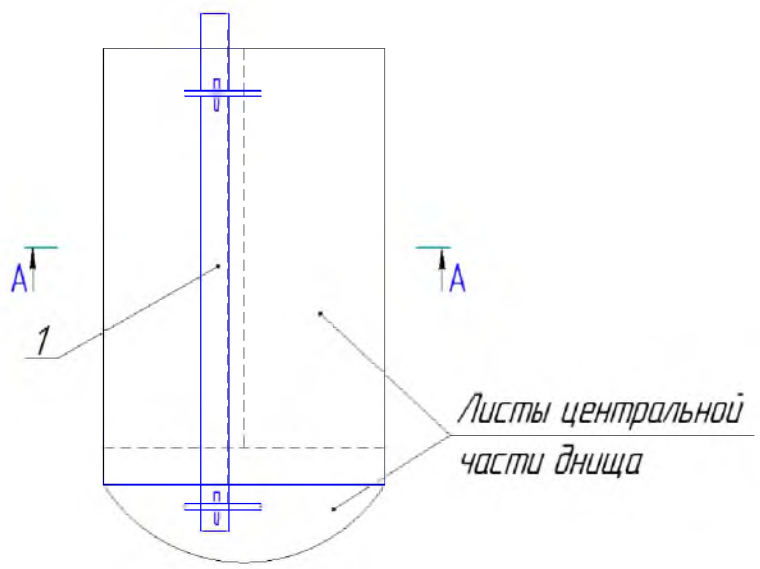


Рисунок 51 – Схема установки прижимного швеллера при сварке поперечных швов центральной части днища: 1 – прижимной швеллер

Разрез А-А на рисунке 51, представлен на рисунке 52.

– Сварка продольных нахлесточных соединений рядов между собой в полотнищах (швы 2):

а) К сварке продольных нахлесточных соединений рядов днища приступить после полной сборки днища на прихватках катетом 4 мм, длиной 50 мм, через каждые 500 мм, согласно технологии монтажа, при этом обеспечив точное прилегание листов и требуемый по проекту размер нахлестки между рядами (50 мм). Перед выполнением прихваток, с целью уменьшения деформаций, установить рядом со стыком прижимной швеллер, рисунок 51 и 52.

б) Проверить правильность сборки рядов днища на основании.

в) Выполнить сварку продольных нахлесточных соединений рядов днища между собой, в последовательности, указанной на рисунке 50.

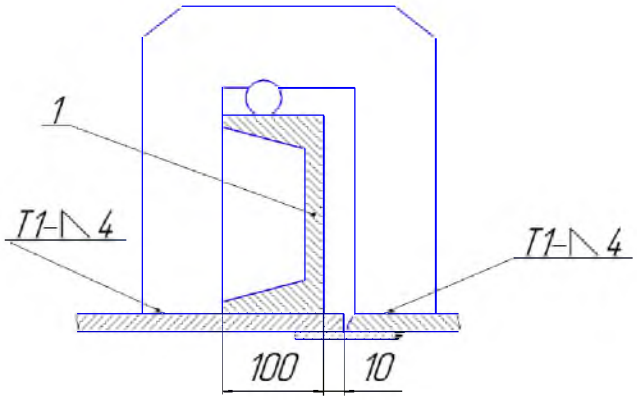


Рисунок 52 – Разрез А-А: 1 – прижимной швеллер

– Продольный шов между полотнищами центральной части днища и шов ЗУМПФа с днищем варить после сварки центральной части днища с окрайками.

– После сварки швов 1, 2 выполнить сборку центральной части днища с кольцом окраек.

Произвести прихватку центральной части днища к окрайкам минимальным количеством прихваток, катет 4 мм, длина 30 мм, через каждые 500 мм.

Прихватку швов выполнять механизированной сваркой в защитном газе сварочной проволокой Св-08Г2С диаметром 1,2 мм по ГОСТ 2246-70.

Сварку швов выполнять автоматической сваркой под слоем флюса сварочной проволокой Св-08Г2С диаметром 4 мм, по [14].

4.4.4 Подготовка к монтажу стенки резервуара

Подготовка к монтажу стенки разделяется на два этапа:

а) Подготовка днища к монтажу;

б) Подготовка листов стенки к монтажу.

Подготовка днища к монтажу стенки резервуара производится в следующей последовательности:

– Перенести на днище оси I-III, II-IV и центр резервуара точку «О» рисунок 53.

– Установить и прихватить к днищу раму, совместив центр рамы с центральной осью резервуара, рисунок 54 поз. 2.

– Перенести на раму центр резервуара (точка «О»).

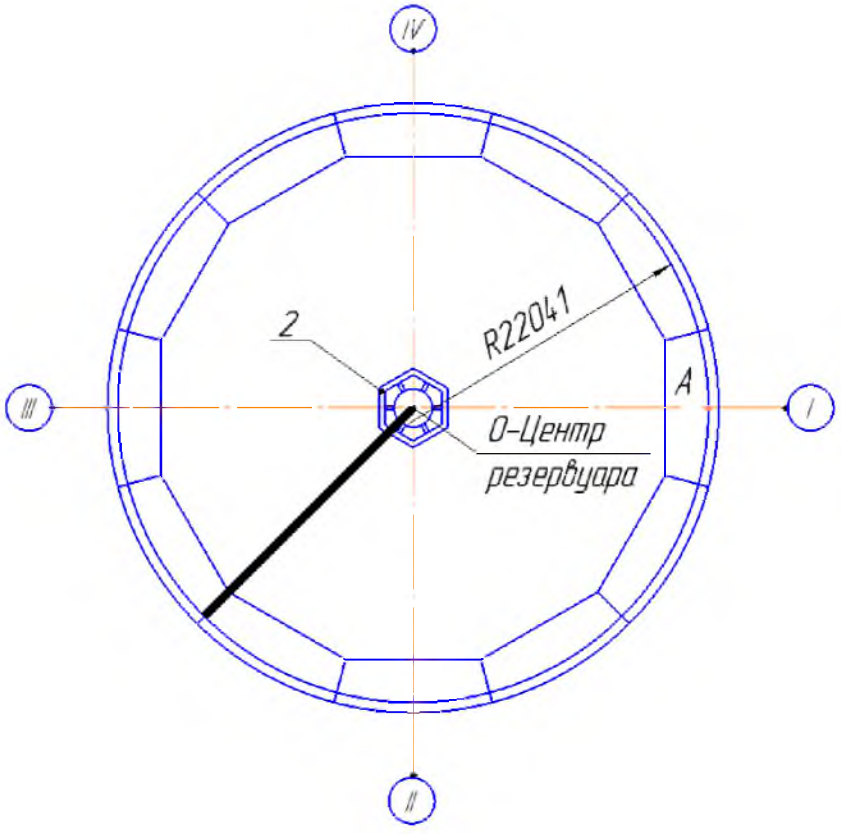


Рисунок 53 – Схема разметки днища: 2 – рама замерного устройства

– Приварить в центре днища стойку замерного устройства, поз. 1, рисунок 55, и нанести на днище кольцевые риски *R*=22041 мм, для приварки ограничительных уголков, рисунок 53.

– Точка «А» – пересечение кольцевой риски с осью I является началом установки первого листа I пояса стенки.

Все риски и точки нанести яркой несмываемой краской.

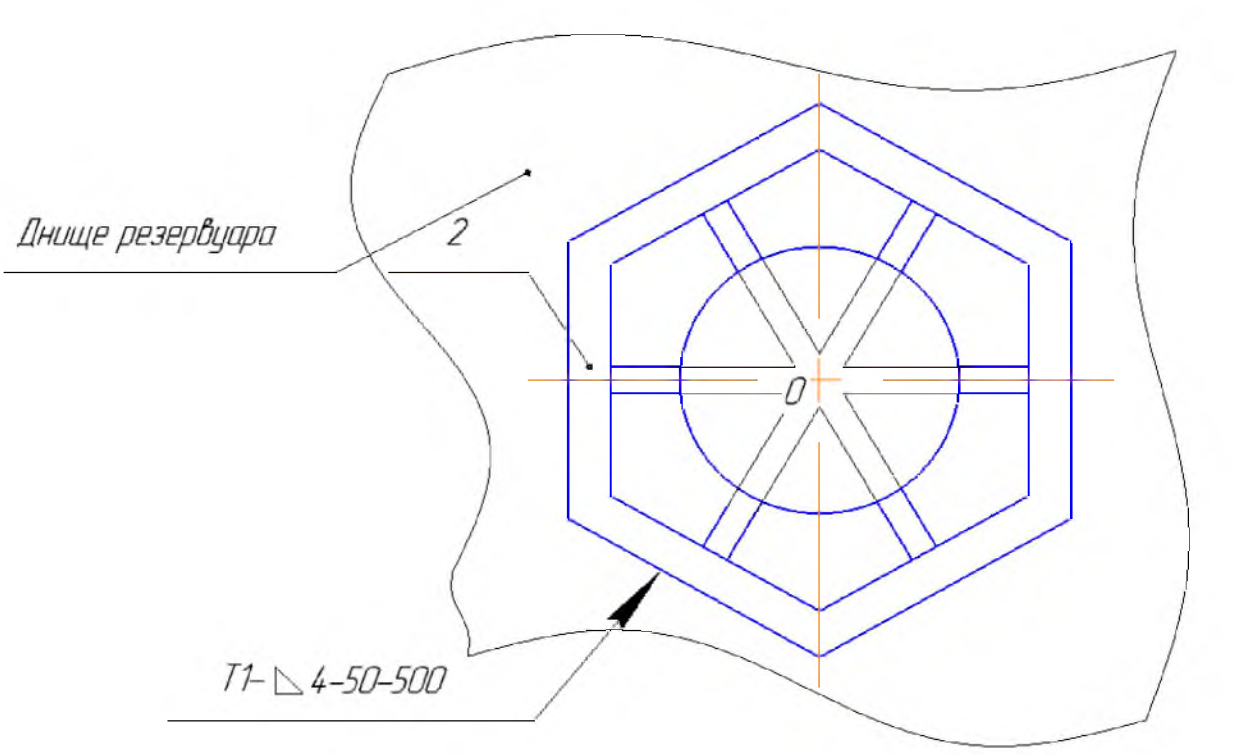


Рисунок 54 – Схема закрепления рамы: 2 – рама замерного устройства

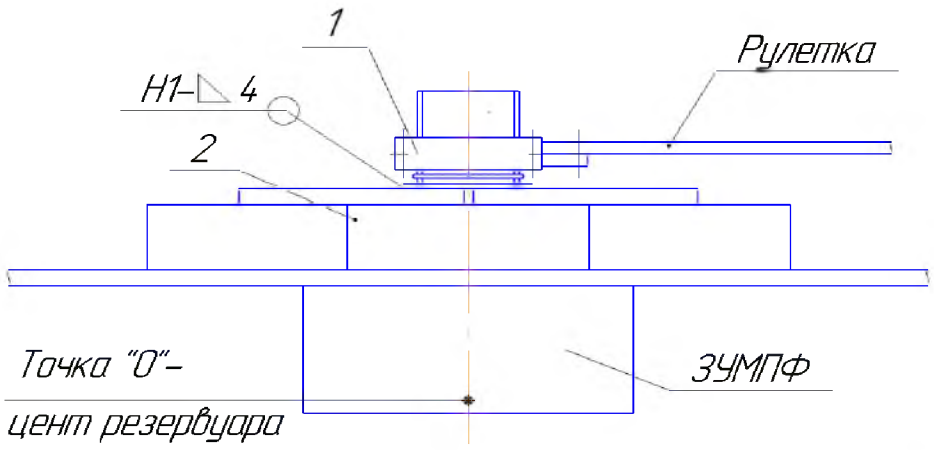


Рисунок 55 – Схема приварки замерного устройства: 1 – замерное устройство; 2 – рама замерного устройства

Подготовка листов к сборке стенки резервуара осуществляется в следующей последовательности:

– Застропить лист стенки с помощью 4-х ветвевого стропа, с захватами на кран, извлечь лист из контейнера и уложить на землю.

– К листу стенки, находящемуся на земле, приварить строповочные скобы, рисунок 56 и 57 поз.1.

– Перестропить лист стенки за строповочные скобы на кран с помощью траверсы, рисунок 67, поз. 2, поднять лист в вертикальное положение и установить на стенд.

– К листу стенки, находящемуся на стенде, приварить:

а) К листу I-го пояса стенки приварить с наружной стороны, рисунок 56:

а1) шайбы, для сборочных швеллеров на верхней кромке, рисунок 62 поз.3;

а2) шайбы сборочных приспособлений, на вертикальных и горизонтальных кромках, рисунок 59 поз.3;

а3) ловители, на верхней кромке, рисунок 61 поз.2.

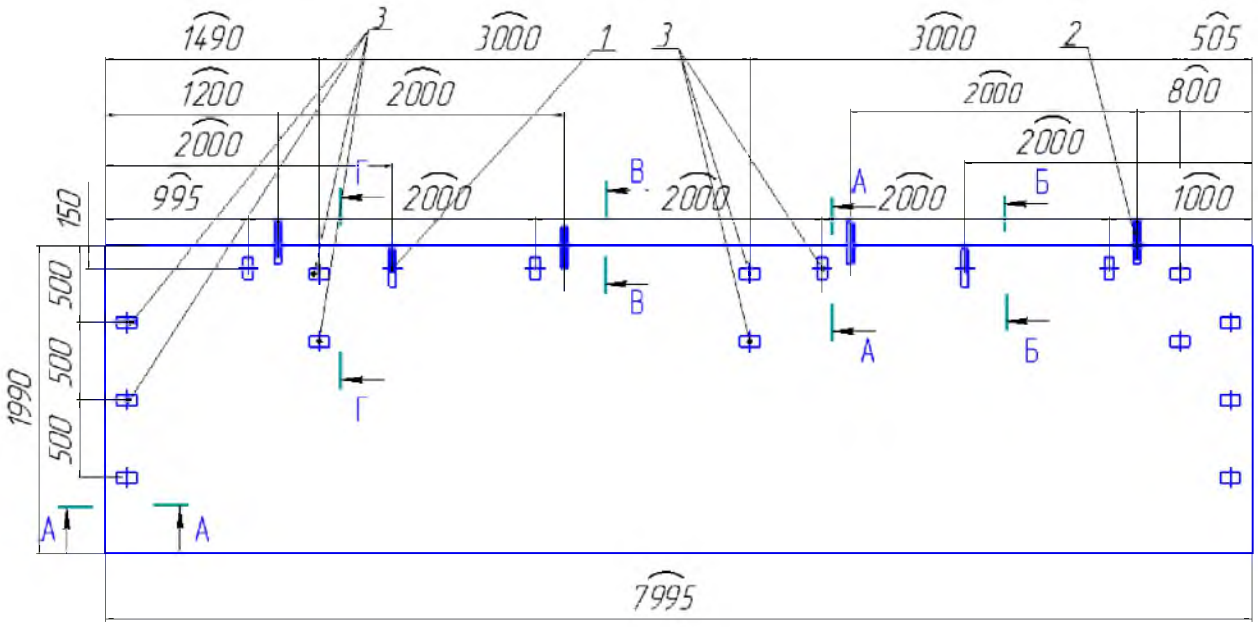


Рисунок 56 – Схема 14, Размещение на листах I-го пояса стенки: 1 – строповочная скоба; 2 – ловители; 3 – шайбы сборочных приспособлений

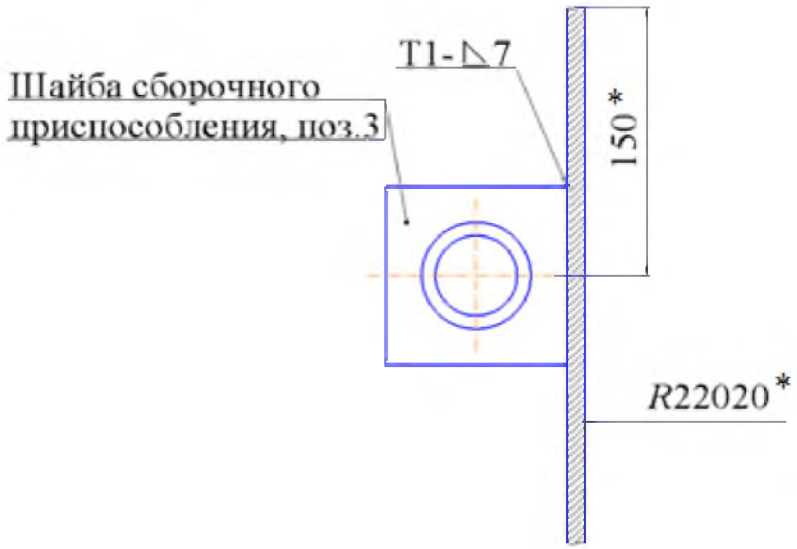


Рисунок 57 – Разрез А-А

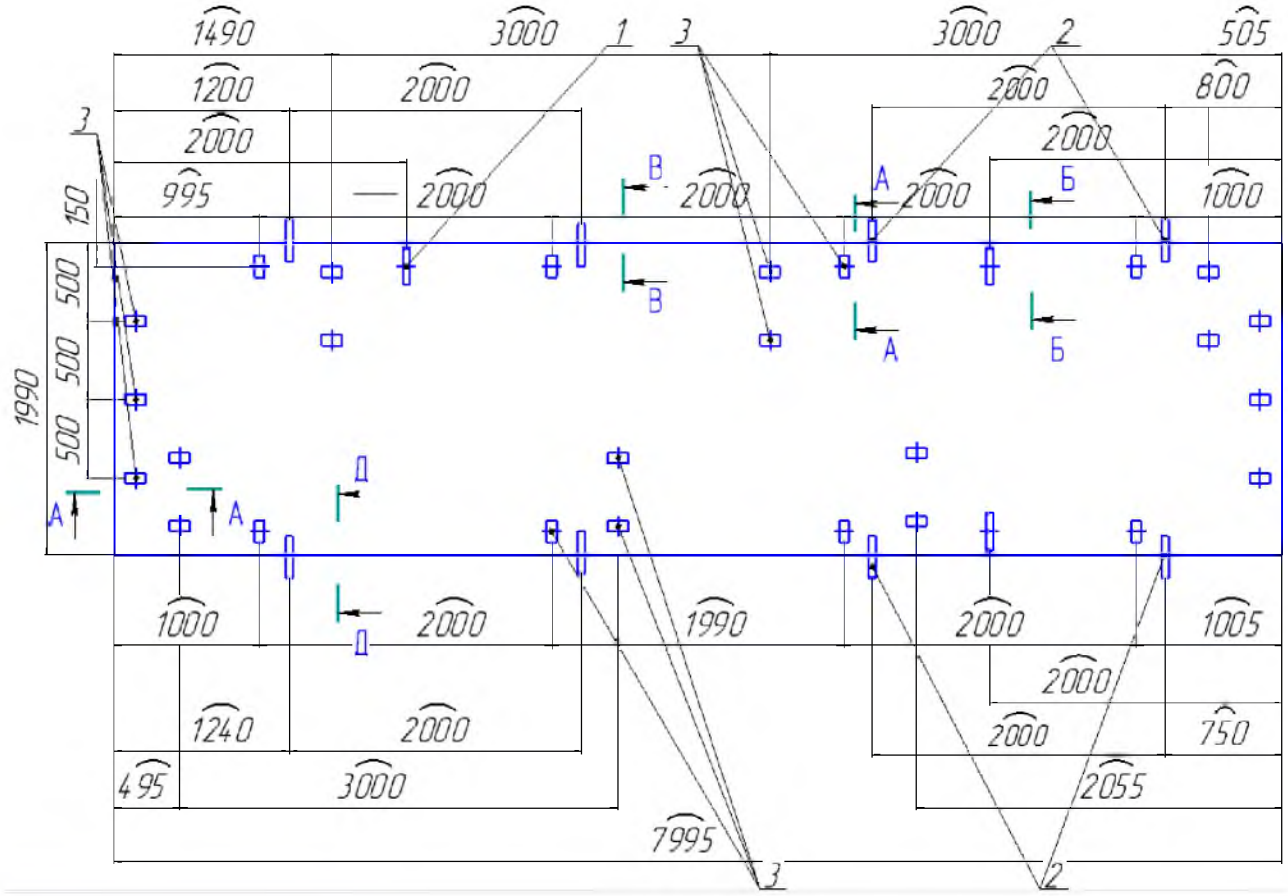


Рисунок 58 – Схема размещения на листах II-VIII-го пояса стенки: 1 – строповочная скоба; 2 – ловители; 3 – шайбы сборочных приспособлений (вид снаружи, горизонтальные размеры по наружному радиусу)

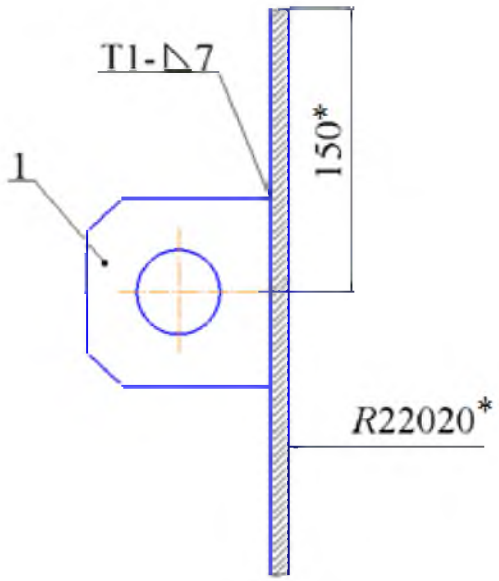


Рисунок 59 – Разрез Б-Б: 1 – строповочная скоба

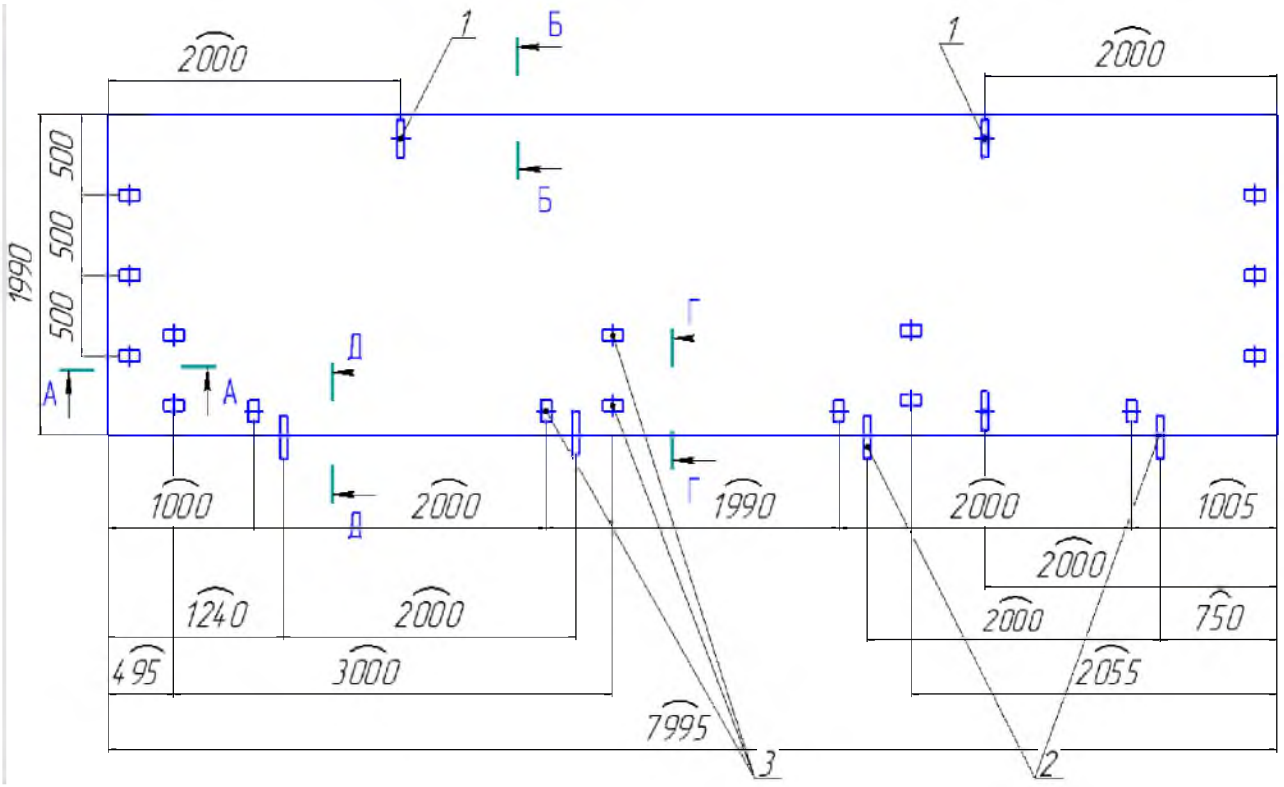


Рисунок 60 – Схема размещение на листах IX-го пояса: 1 – строповочная скоба; 2 – ловители; 3 – шайбы сборочных приспособлений (вид снаружи, горизонтальные размеры по наружному радиусу)

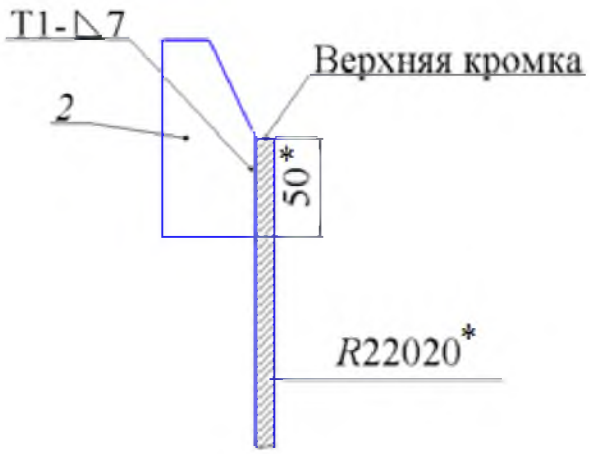


Рисунок 61 – Разрез В-В, схема 15: 2 – ловители

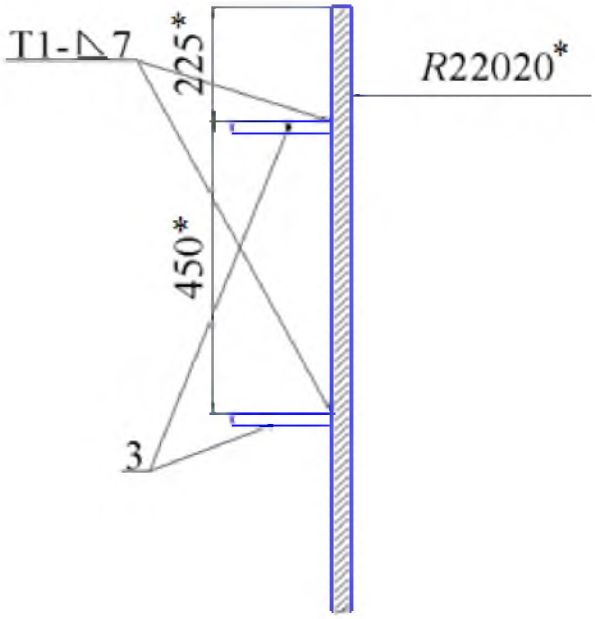


Рисунок 62 – Разрез Г-Г: 3 – шайбы сборочных приспособлений

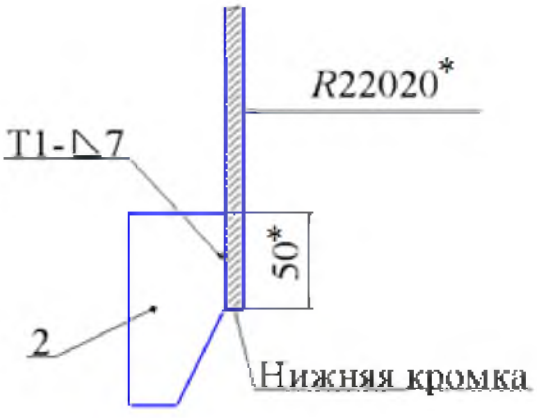


Рисунок 63 – Разрез Д-Д: 2 – ловители

б) К листу II-VIII-го поясов стенки приварить с наружной стороны, рисунок 58:

б1) шайбы для сборочных швеллеров на верхней и нижней кромке, рисунок 62, поз.3;

б2) шайбы сборочных приспособлений, на вертикальных и горизонтальных кромках, рисунок 57 поз.3;

б3) разметить места приварки ловителей на верхней кромке и приварить ловители на нижней кромке, рисунок 61 и 63 поз.2.

в) К листу IX-го поясов стенки приварить с наружной стороны, рисунок 60:

в1) шайбы, для сборочных швеллеров на верхней и нижней кромке, рисунок 62 поз.3;

в2) шайбы сборочных приспособлений на вертикальных и горизонтальных кромках, рисунок 57 поз.3;

в3) ловители, на нижней кромке, рисунок 63 поз.2.

– Перед началом монтажа проверить размеры листов по толщине, ширине, радиусу кривизны, а также правильность приварки на листах монтажных шайб для сборочных приспособлений и их расположение на вертикальных и горизонтальных кромках.

– Все кромки листов зачистить механическим способом до металлического блеска и покрыть защитным покрытием.

Указания:

– Листы стенки должны быть промаркированы в порядке их сборки по поясам.

– Разметку приварки ловителей на верхних кромках листов и маркировку листов производить яркой несмываемой краской.

– Допускается приварка монтажных приспособлений рисунок 59 и 57 поз. 1, 3 к листам на заводе-изготовителе металлоконструкций резервуара. Ловители, рисунок 61 и 63 поз.2, приваривать к листам на монтаже.

4.4.5 Монтаж I-го пояса стенки

Монтаж первого пояса стенки осуществляется в следующей последовательности:

– Подготовить листы I-го пояса стенки к монтажу.

– Приварить на окрайках днища по кольцевой риске R=22041 мм ловители, уголки рисунок 64, 66 и 73 поз. 3, поз. 4.

– Застропить на кран, при помощи траверсы, 1-ый лист I-го пояса стенки, рисунок 67 и 68 поз.1, поз.2, и установить его в проектное положение в ловители, приваренные к днищу, рисунок 73 и 74,. Ослабить натяжение канатов на траверсе.

– Навесить на лист кронштейны, с отвесами, по 2-е штуки на лист, рисунок 72 поз.5, поз.6. Установить подкосы, с талрепами рисунок 66, 69…71 поз.7, поз.8. При этом подкос и талреп, сварить между собой до установки, рисунок 69…71.

– Выставить лист стенки в вертикальное положение при помощи талрепов подкосов, (2-е штуки на лист),рисунок 66 и 69, поз. 7, 8. Контроль производить по отвесам. Освободить монтируемый лист от траверсы.

– По мере прижима с помощью домкрата, нижней кромки листа к уголкам, рисунок 65, поз.9, поз. 1, устанавливать и приваривать к окрайкам и листу пластины, предварительно срезав, внутренние ловители, рисунок 73 и 74 поз.10, поз. 3.

– Застропить на кран 2-й лист I-го пояса стенки и установить его в проектное положение аналогично 1-му листу I-го пояса стенки.

– Собрать вертикальный стык установленных листов стенки на сборочных приспособлениях, сборочных швеллерах, и гребенках, рисунок 80 поз.11, поз.12, поз.13. Стык собрать с проектным зазором. Смещение кромок в стыке не должно превышать 0,1 толщины листа по всей длине стыка.

– Собрать 5-ть листов I-го пояса аналогично.

Начиная с 6-го листа, талрепы и подкосы, использовать повторно, т.е. через один снимать подкосы с талрепами с первых пяти листов стенки.

– Собрать весть I-ый пояс стенки. Проверить вертикальность листов по отвесам. Отвесы оставить на каждом листе по 1 штуке до замыкания пояса. Допускаемое отклонение от вертикали на высоте пояса полюс – минус 5 мм.

– После установки гребенок, рисунок 80 и 83 поз.13, на вертикальных стыках удалить сборочные приспособления, рисунок 80 и 84 поз. 11.

– Выполнить сварку вертикальных швов I-го пояса стенки, за исключением замыкающего листа, который собрать на сборочных приспособлениях без гребенок. После сварки вертикальных стыков I-го пояса талрепы с подкосами, рисунок 69 поз. 7, 8, удалить, кроме талрепов с подкосами на замыкающем листе.

– Выполнить контроль сварных швов I-го пояса стенки.

– Навесить на листы I-го пояса стенки снаружи блоки кольцевых подмостей.

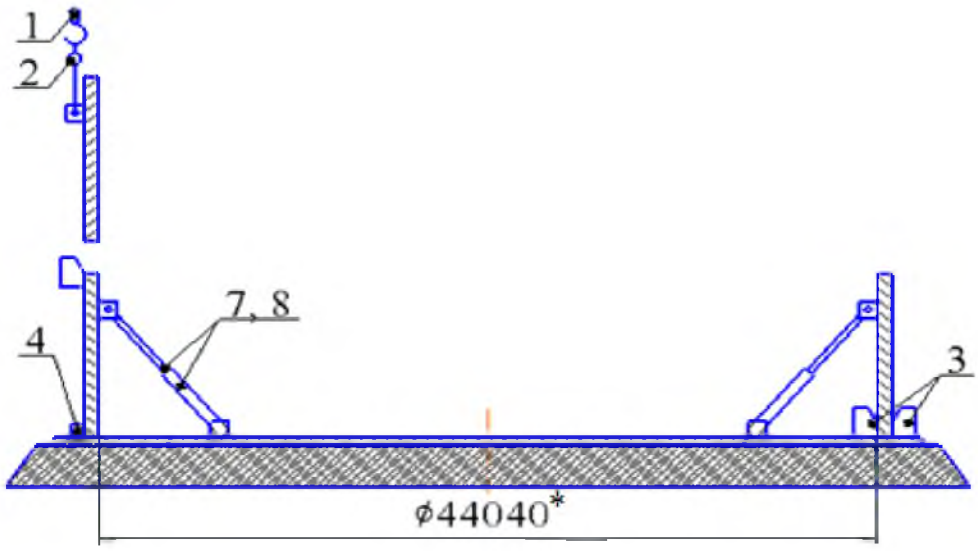


Рисунок 64 – Схема 17, монтаж первого пояса: 1 – стропа автокрана; 2 – траверс; 3 – ловители; 4 – ограничительный уголок; 7 – подкосы; 8 - талреп

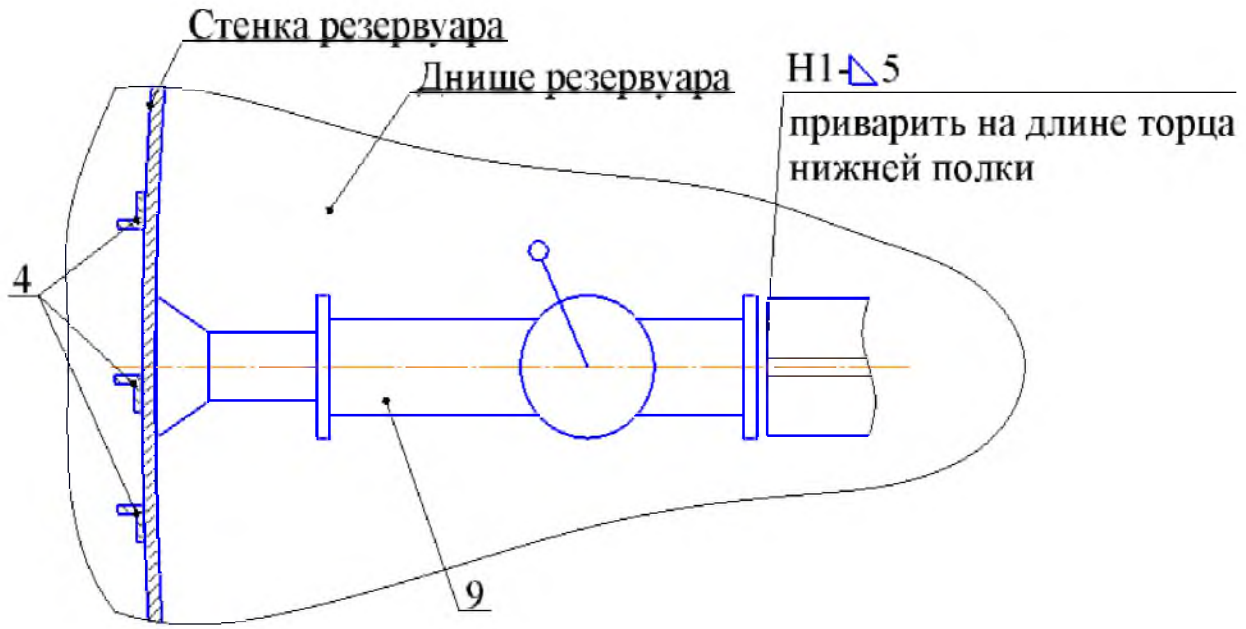


Рисунок 65 – Схема 18, прижатие листов стенки к уголкам:4 – упорный уголок; 9 – домкрат

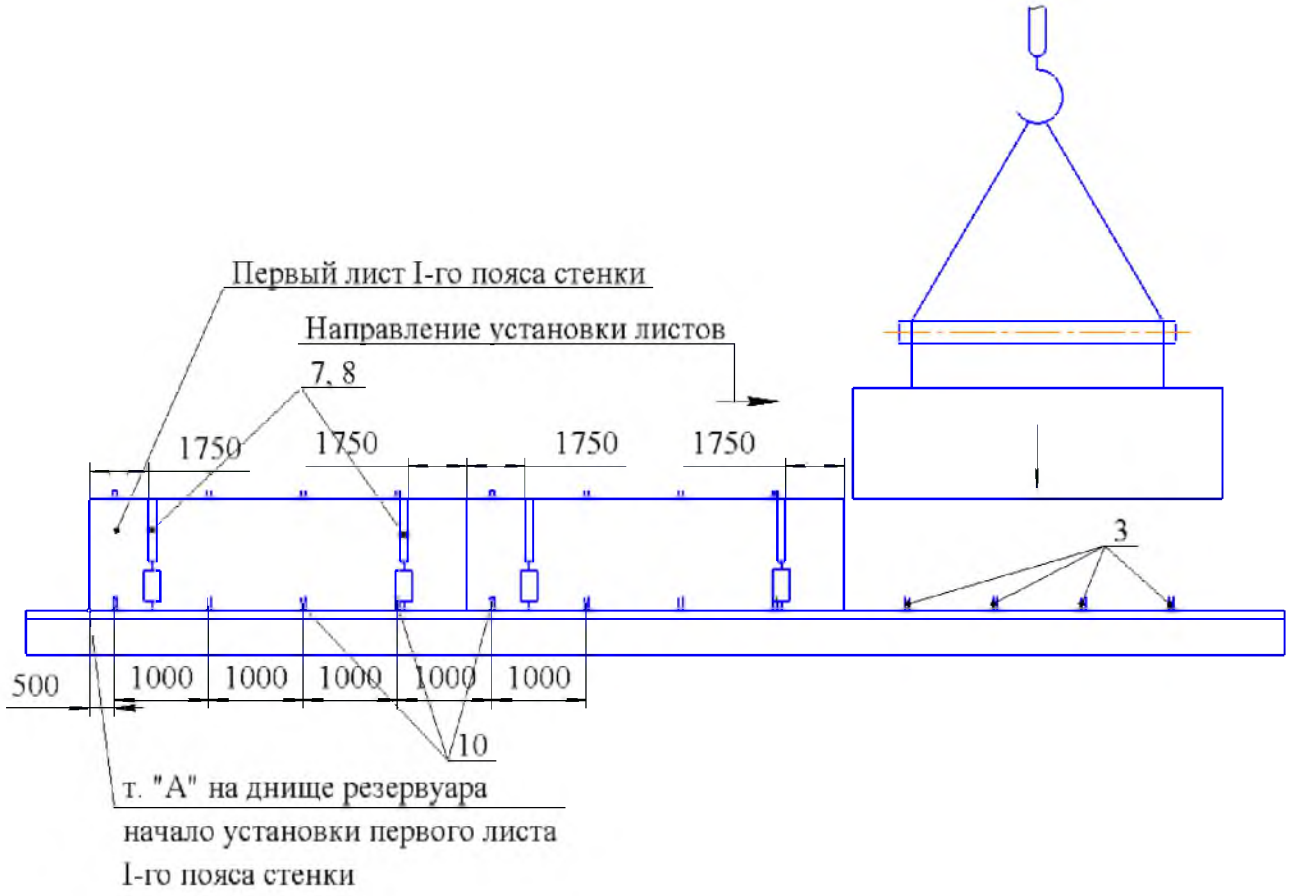


Рисунок 66 – Схема 19, монтаж I-го пояса стенки: 3 – ограничительные уголки; 7 – подкосы; 8 – талрепы; 10 – ограничительные пластины (вид из внутри резервуара)

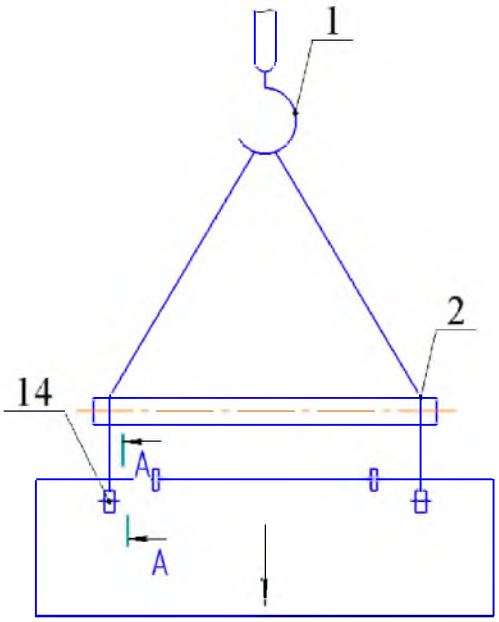


Рисунок 67 – Схема 20, Строповка листа стенки: 1 – автокран; 2 – траверс;

14 – строповочная скоба

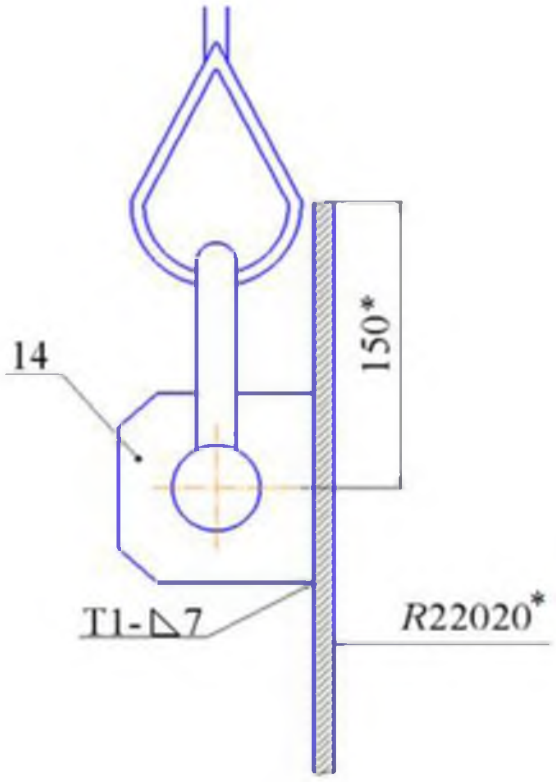


Рисунок 68 – Разрез А-А, на схеме 20: 14 – строповочная скоба

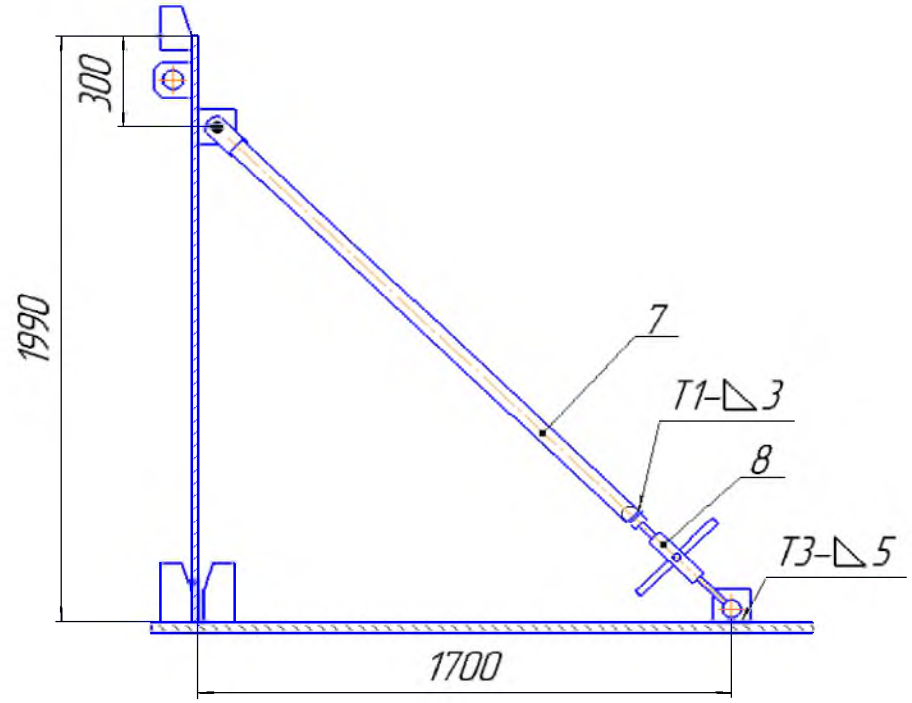


Рисунок 69 – Схема 21, крепление листов I-го пояса стенки: 7 – подкосы; 8 – талреп

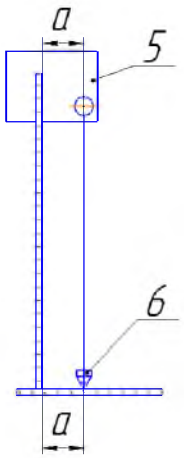


Рисунок 70 – Схема 22, проверка вертикальности листа I-го пояса стенки: 5 – кронштейн; 6 – отвес

Разрез Б-Б на рисунке 71 представлен на рисунке 72. Разрез В-В на рисунке 71 представлен на рисунке 73.

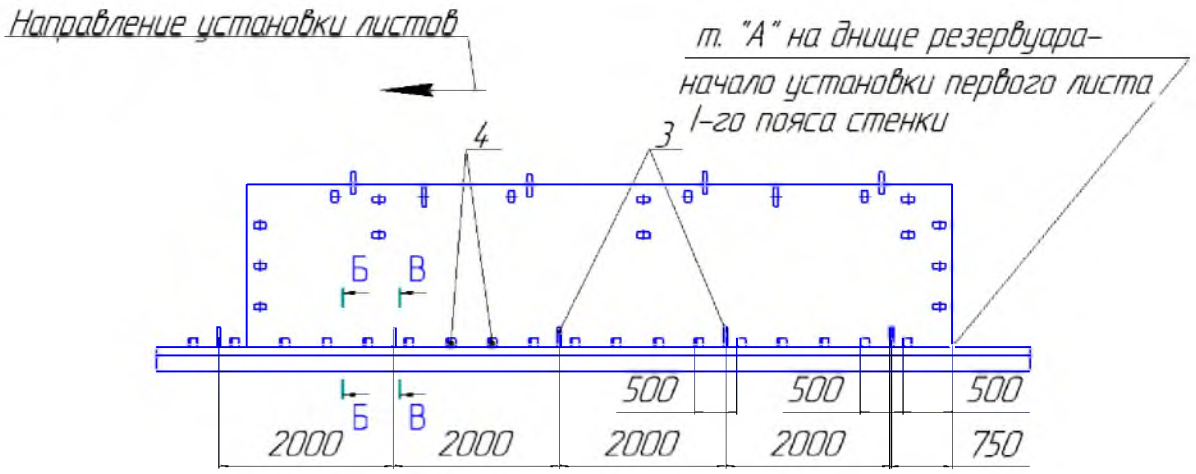


Рисунок 71 – Схема 23, установка 1-го листа I-го пояса стенки (вид снаружи): 3 – ловители; 4 – ограничительные уголки

Разрез Б-Б на рисунке 71 представлен на рисунке 72. Разрез В-В на рисунке 71 представлен на рисунке 73.

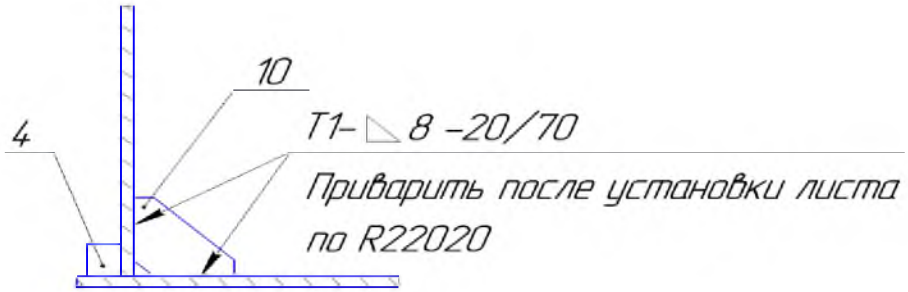


Рисунок 72 – Разрез Б-Б; 4 – ограничительный уголок; 10 – пластина

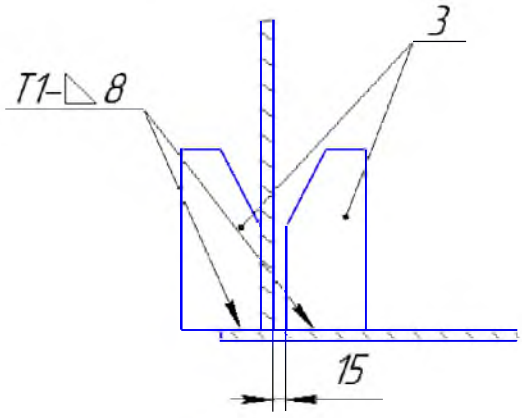


Рисунок 73 – Разрез В-В: 3 – ловители

4.4.6 Монтаж II-VIII-го поясов стенки

Монтаж второго – восьмого пояса стенки осуществляется в следующей последовательности:

– Выполнить разметку и установку якорей, для установки внешних расчалок, рисунок 74 и 75 поз. 8, 19, 21…23.

– Выполнить разметку и установку узлов крепления внутренних расчалок, рисунок 74 поз.8, 18, 21, 22. Приварив подкладной лист, поз. 20, к днищу резервуара, а к подкладному листу – скобу, рисунок 74…76 поз. 24.

– Подготовить листы II-го пояса стенки к монтажу, навесить на верхнюю кромку листа 2-а кронштейна с расчалками, рисунок 74 и 75 поз 17…19, закрепить их на кромке, перекинуть расчалки на наружною и внутреннюю поверхности.

– Застропить на кран при помощи траверсы начальный лист II-го пояса стенки и установить его в проектное положение в ловители, рисунок 74 и 77.

– Зафиксировать горизонтальный стык при помощи сборных приспособлений, установленных с внешней стороны резервуара, рисунок 79 поз. 11,. На шайбы сборочных приспособлений, установленные на листах II-го пояса, подкладывать подкладки рисунок 79 и 83 поз.11.

– Выставить лист стенки вертикально при помощи 2-х пар расчалок, рисунок 74…76 поз.18,19. Контроль производить по отвесам, опущенным до лесов на I поясе, по первому отвесу на каждый лист оставить до замыкания пояса. Допускаемые отклонение от вертикали на высоте пояса плюс – минус 5 мм. Наружные расчалки, поз.19, крепить к якорю, рисунок 76 поз.23, а внутренние расчалки, поз.18, к скобам, поз.20, 24, приваренным к днищу резервуара, рисунок 74…76.

– Собрать горизонтальный стык при помощи сборочных швеллеров, поз.12, сборочных приспособлений, поз.11, клиньев, поз.15, Н-образных скоб, поз.16, рисунок 79…81 ,83 и 84, установить гребенки, поз.13, рисунок 80,81 и 84.

– Закрепить на верхней кромке 2-го листа II-го пояса 2-а кронштейна с расчалками, застропить на кран 2-й лист II-го пояса стенки и установить его в проектное положение аналогично 1-му листу II-го пояса стенки.

– Собрать вертикальный стык листов стенки на сборочных приспособлениях, гребенках, рисунок 78 поз.11, 13. Сборку производить с площадки навесной, рисунок 75 поз.25, навешанной неверхнюю кромку установленных листов рисунок 74, горизонтальный стык и нижняя часть вертикального стыка при этом должны быть собраны на сборочных приспособлениях. Стык собрать с проектным зазором. Смещение кромок в стыке не должно превышать 0,1 толщины листа по всей длине стыка.

– Собрать весь II-й пояс аналогично. Первую расчалку на первом листе пояса оставить до окончания монтажа всего пояса. Другие две пары расчалок переставлять по мере монтажа листов пояса.

– После установки гребенок, рисунок 82 поз.13, на вертикальные и горизонтальные стыки, удалить сборочные приспособления, рисунок 83 и 84 поз.11 и сборочные швеллера, рисунок 79 поз.12.

– Сварить все вертикальные стыки II-го пояса стенки. Работы производить с кольцевых подмостей, рисунок 75 поз.25 и люльки катучей.

– Сварить горизонтальный шов между I и II поясом стенки.

Горизонтальный шов замыкающего листа I-го пояса стенки не варить, оставить на сборочных приспособлениях.

– Выполнить контроль сварных швов пояса стенки.

– Навесить на листы II-го пояса стенки блоки подмостей, рисунок 75, поз.25.

– Аналогично собрать III-й пояс стенки, сварить вертикальные швы, а затем горизонтальный шов между II и III поясом, выполнить контроль сварных швов.

– Сварить уторный шов стенка-днище. Перед сваркой удалить уголки, поз.4, ловители, поз.3, рисунок 72 и 73. Пластины, рисунок 72 поз.10, удалить

после сварки уторного шва снаружи. На участке замыкающего листа I-го пояса уторный шов не варить. Выполнить контроль уторного сварного шва.

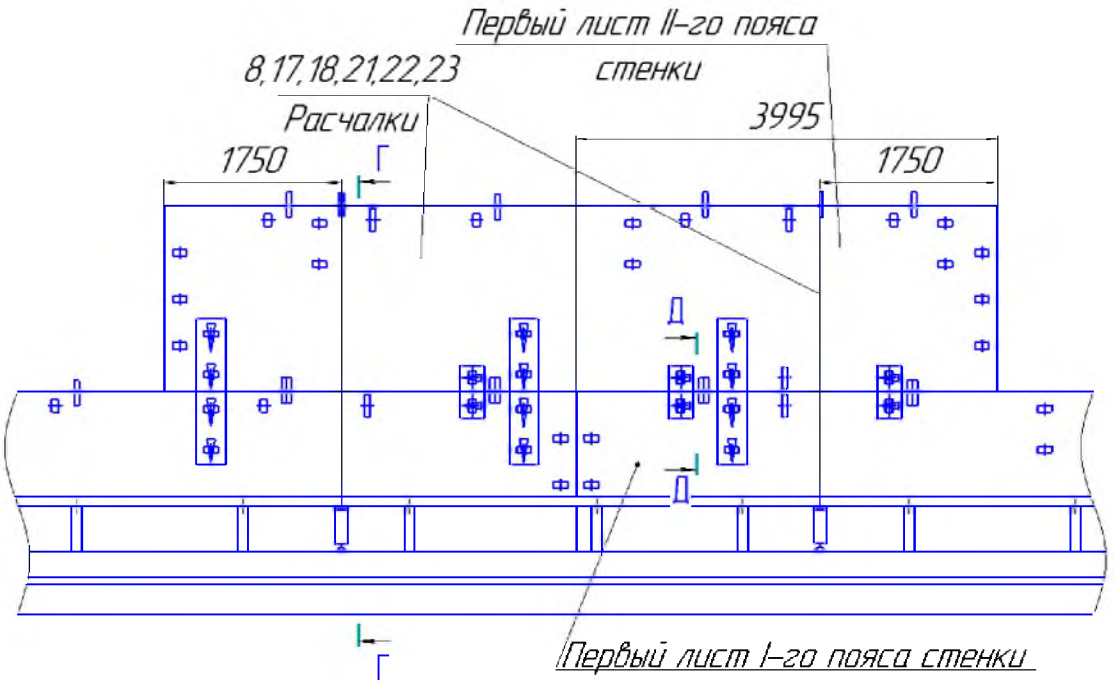


Рисунок 74 – Схема монтажа II-го пояса стенки (вид снаружи): 8 – талреп; 17 – кронштейн; 18…23 внешние и внутренние расчалки и их элементы

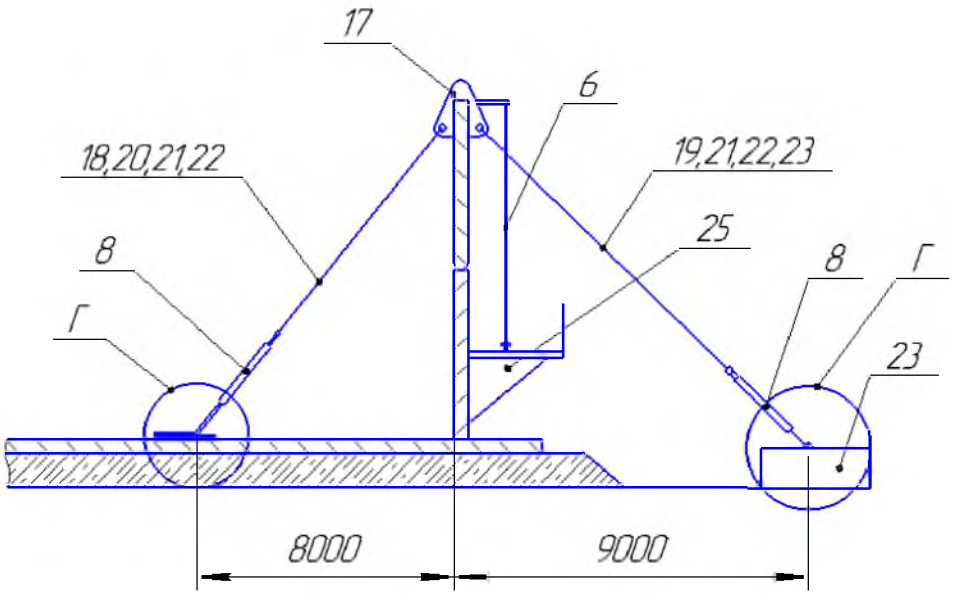


Рисунок 75 – Разрез Г-Г, на рисунке 74: 6 – отвес; 8 – талреп; 17 – кронштейн; 18…23 внешние и внутренние расчалки и их элементы; 25 – подвесные подмости

– После сборки и сварки III-го пояса стенки в местах расположения замыкающего листа I-го пояса стенки сдвинуть замыкающий лист, используя отверстие как монтажный проем. После полной сборки и сварки стенки, установить и заварить замыкающий лист I-го пояса стенки в проектном положении.

– В той же последовательности собрать и сварить IV и VIII пояса стенки.

– После сварки каждого пояса стенки перед перевешиванием кольцевых подмостей на следующий пояс срезать все приспособления.

Выноска Г, на рисунке 75, представлена на рисунке 76.

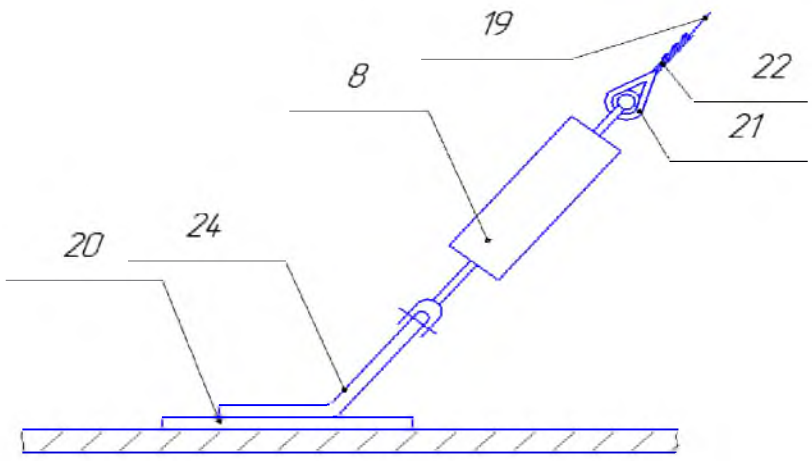


Рисунок 76 – Выноска Г: 8 – талреп; 19 – внутренняя и внешняя расчалка; 20 – подкладная пластина; 24 – скоба

Разрез Д-Д, на рисунок 74, представлен на рисунке 77.

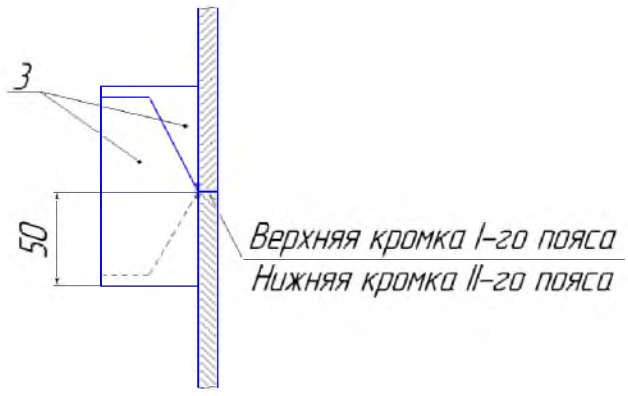


Рисунок 77 – Разрез Д-Д, на рисунке 74: 3 – ловители

4.4.7 Монтаж IX- го пояса стенки

Монтаж девятого пояса стенки осуществляется в следующей последовательности:

– Подготовить листы IX- го пояса стенки к монтажу.

– Навесить на верхнюю кромку начального листа 2-а кронштейна с расчалками, застропить на кран при помощи траверсы начальный лист пояса стенки и установить его в проектное положение.

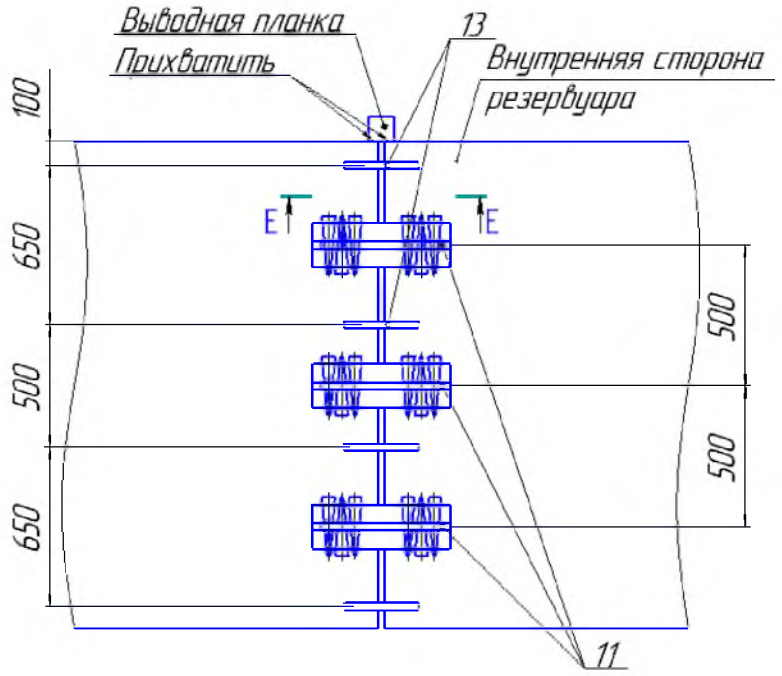


Рисунок 78 – Схема 25, сборка вертикальных стыков (вид снаружи): 11 – сборочно-сварочное приспособление; 13 – гребенки

– Выставить лист стенки вертикально при помощи 2-х пар расчалок, рисунок 75 поз. 18, 19.

Контроль производить по отвесам, опущенным до лесов, навешанных на предыдущий пояс, рисунок 74 и 75, каждый лист оставить допустимые отклонения на высоте I-го пояса плюс - минус 5 мм. По 1-му отвесу на каждый лист оставить до замыкания пояса. Наружные расчалки крепить к якорям, поз.

23, а внутренние расчалки к скобам поз.24, приваренным к днищу резервуара, рисунок 75 и 76.

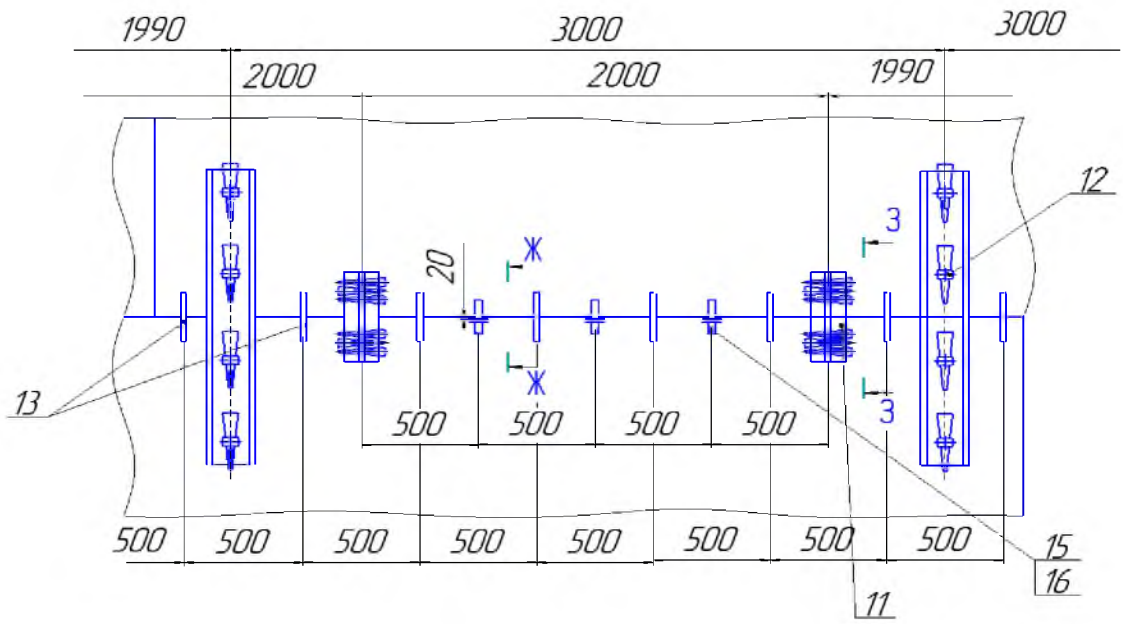


Рисунок 79 – Схема 26, сборка горизонтальных стыков (вид снаружи): 11 – сборочно-сварочное приспособление; 12 – сборочный швеллер; 13 – гребенки; 15 – клин; 16 – скоба

Разрез Ж-Ж, на рисунке 79, представлен на рисунке 80, 81.

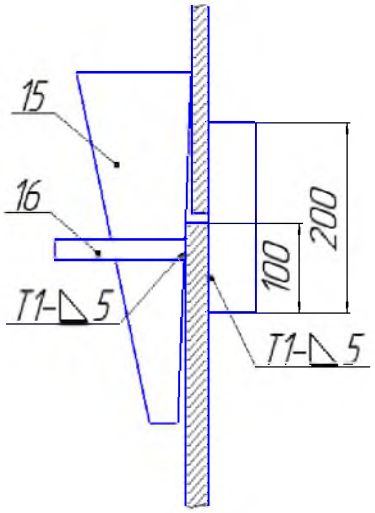


Рисунок 80 – Разрез Ж-Ж (для I-II, II-III, III- IV, IV- V и V VI поясов стенки): 15 – клин; 16 – скоба

– Зафиксировать горизонтальный стык при помощи сборочных приспособлений, установленных с внешней стороны резервуара, рисунок 74 поз.11.

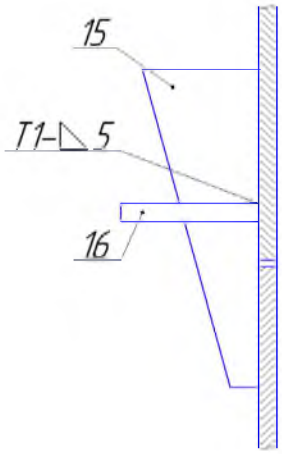


Рисунок 81 – Разрез Ж-Ж (для VI-VII, VII-VIII и VIII IX поясов стенки): 15 – клин; 16 – скоба

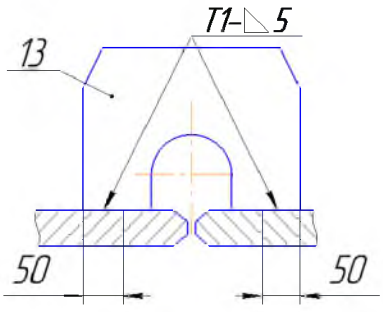


Рисунок 82 – Разрез Е-Е, на рисунке 78: 13 – гребенка

– Зафиксировать горизонтальный стык при помощи сборочных приспособлений, установленных с внешней стороны резервуара, рисунок 78 поз. 11.

– Застропить на кран 2-й лист IX-го пояса стенки и установить его в проектное положение аналогично 1-му листу IX-го пояса стенки.

– Собрать вертикальный стык листов пояса стенки на сборочных приспособлениях, гребенках, рисунок 78 поз.11, поз. 13. Сборку производить с площадки, рисунок 75 поз.25,навешенной на верхнюю кромку установленного листа. Стык собрать с проектным зазором. Смещение кромок в стыке не должно превышать 0,1 толщины листа по всей длине стыка.

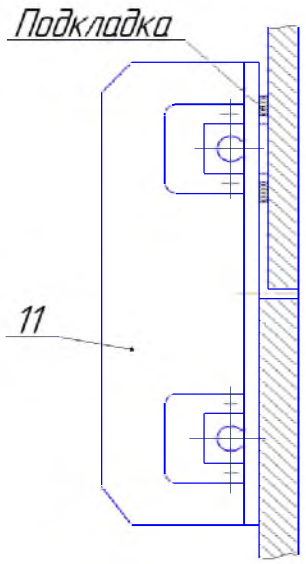


Рисунок 83 – Разрез 3-3 (для I-II, II-III, III- IV, IV- V и V VI поясов стенки):

11 – сборочно-сварочное приспособление

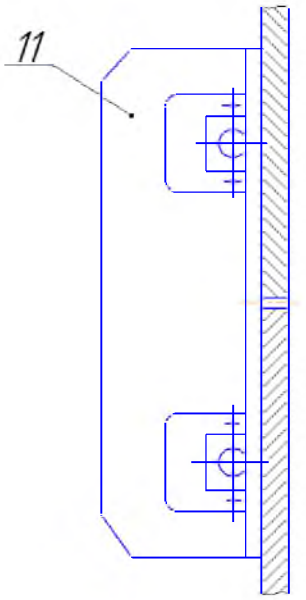


Рисунок 84 – Разрез 3-3 (для VI-VII, VII-VIII и VIII IX поясов стенки):

11 – сборочно-сварочное приспособление

– Собрать весь IX-й пояс аналогично. Первую расчалку на 1-м листе пояса оставить до окончания монтажа пояса. Каждый лист устанавливать с 2-мя парами расчалок. В дальнейшем оставлять по 1-й расчалке на каждом листе после соединения его с предыдущим до сборки всего пояса.

– Выполнить сварку вертикальных стыков IX-го пояса стенки, по мере сварки срезать шайбы сборочных приспособлений и гребенки.

– Выполнить сварку горизонтальную стыка между VIII и IX поясами, по мере сварки срезать шайбы сварочных приспособлений и гребенки.

– Выполнить контроль сварных швов пояса стенки.

– Демонтировать леса наружные, опустить отвесы до днища резервуара.

Предельные допустимые отклонения стенки резервуара по СТО-СА-03-022-09[3]:

– Стенку собрать так, чтобы внутренние стороны всех листов составляли единую (без уступов) базовую поверхность.

Смещение кромок по внутренней поверхности резервуара не должно превышать 1 мм.

– Отклонения внутреннего диаметра на уровне 300 мм от днища не более плюс-минус 33,03 мм. Измерение в четырех диаметрах под углом 45°.

– Отклонение высоты стенки от номинальной должна составлять не более плюс-минус 30 мм. Восемь измерений с угловыми координатами через 45°.

4.4.8 Последовательность выполнения сварки резервуара

Сварка резервуара осуществляется в следующей последовательности:

– Сварку вертикальных и горизонтальных стыков стенки производить согласно технологии монтажа.

– Произвести сборку I-го пояса стенки с обеспечением зазора в вертикальных стыках.

– Смещение кромок сварных соединений по внутренней поверхности не должно превышать 0,1 S, где S- наименьшая толщина свариваемых листов.

– Перед сваркой вертикальных швов каждого пояса устанавливать и прихватывать выводные пластины, в зоне монтажных стыков.

– Произвести сварку вертикальных швов 2-17 I-го пояса.

– В местах размещения монтажного проема (швы 1, 18) сварку не производить, сохранив стык на сборочных приспособлениях.

– Сварку каждого вертикального шва выполнять полностью в последовательности указанной в приложение А.

– Заполнение разделки производить согласно технологии с послойным визуальным контролем каждого слоя. После сварки корневого шва удалить сварочные приспособления. При наличии дефектных мест в слое произвести их удаление вышлифовкой до чистого металла. Места остановок процесса зашлифовать с целью получения плавного перехода.

– После сварки вертикальных швов каждого пояса удалить выводные пластины, торцы сваренных стыков зашлифовать и выполнить визуальный контроль швов.

– Произвести сборку II-го пояса стенки с обеспечением зазора в вертикальных и в горизонтальных стыках. Смещение кромок сварных соединений по внутренней поверхности не должно превышать 0,1 S, где S – наименьшая толщина свариваемых листов.

– Произвести сварку вертикальных швов 19…36 II-го пояса аналогично пунктам выше.

– произвести сварку горизонтального стыка между I-м и II-м поясами (шов 37).

– В месте размещения монтажного проема шов 37 не доваривать по 100 мм до пересечения со швами 1 и 12, сохранив стык на сборочных приспособлениях.

– Сварку горизонтального шва выполнить технологическими участками обратноступенчатым способом. Горизонтальный стык разбить на участки приблизительно длиной 20 м. После сварки и визуального контроля корневого слоя выполняются заполняющие слои.

– При наличии дефектных мест в слое произвести их удаление вышлифовкой до чистого металла. Места остановок процесса сварки зашлифовать с целью получения плавного перехода.

– Произвести сборку и сварку вертикальных швов 38…55 III-го пояса стенки аналогично предыдущим.

– Произвести сварку горизонтального стыка между II-м и III-м поясами (шов 56), сварку выполнять аналогично пункту выше.

– Произвести сварку уторного шва 57 с наружной стороны до проектного катета.

В местах размещения монтажного проема шов 57 не доваривать 100 мм до пересечения со швами 1 и 18 ,сохранив стык на сборочных приспособлениях.

– Произвести окончательную сварку днища резервуара.

а) Перед сваркой недоваренных участков окраек удалить прихватки соединяющие окрайки с центральной частью днища.

б) Произвести окончательную сварку участков швов №1 от [1] до [12]. Окончательную сварку выполнять участками длиной приблизительно 200мм согласно рисунку 85.

в) После окончательной сварки окраек, натянуть централью часть днища на окрайки стяжными приспособлениями, рисунок 87 и 88, установленными по всему периметру. Прихватить центральную часть днища к окрайкам Н1-катет 4, длиной 50 мм, через каждые 400мм (нахлесточное соединение №2 [13], [14]), при этом обеспечивая точное прилегание листов и требуемые по проекту размеры нахлестки между полотнищами (50 мм), полотнищами и окрайками (100 min 60 мм.) Не устанавливать прихватки в зоне стыка центральной части днища с окрайками на участках по 400 мм в каждую сторону.

г) Произвести сварку кольцевых швов №2 [13], [14] окраек с днищем, при этом на участках пересечения кольцевых швов №2 [13], [14]с продольными швами №3[17], [18] центральной части днища по 400 мм в каждую сторону не варить швы №2 [19], [20], рисунок 85.

д) Произвести сварку центрального шва полотнищ днища между собой – шов №3 [15], [16] рисунок 85.

е) Произвести сварку ЗУМПФА с днищем шов №4 [21] рисунок 85.

ж) Произвести окончательную сварку продольных участков длиной 2000мм швы №3 [17], [18].

з) Произвести доварку кольцевых швов №2 [19], [20] рисунок 85.

и) Произвести контроль качества всех сварных швов.

Перед выполнением прихваток и сваркой швов с целью уменьшения деформаций устанавливать рядом со стыком прижимной швеллер, рисунок 89, поз.2 и рисунок 90.

Прихватки производить механизированной сваркой в защитном газе сварочной проволокой Св-08Г2С. Сварку производить механизированной сваркой в защитных газах и автоматической сваркой под слоем флюса АН 348 А проволокой Св-08Г2С.

Сварку механизированной сваркой в защитных газах выполнять обратноступенчатым способом.

– Сварку уторного шва с внутренней стороны 58 до проектного катета произвести после выполнения всех сварных швов на днище резервуара в следующей последовательности.

а) Разбить внутренний уторный шов на зоны длиной по 1000 мм.

б) установить пластины (поз.10, рисунок 72).

в) в центре каждой зоны сваривать участок длиной 800 мм.

г) удалить пластины (поз.10, рисунок 72).

д) заварить оставшиеся участки длиной 200 мм шва 58 в районе удаленных пластин.

В месте размещения монтажного проема шов 58 не доваривать 100 мм до пересечения со швами 1 и 18 ,сохранив стык на сборочных приспособлениях.

Сварку выполнять двум сварщикам обратноступенчатым способом узкими валиками послойно без поперечных колебаний электрода. Концевые участки каждого предыдущего слоя должны быть смещены по отношению к предыдущему на 30-50 мм. Общее направление сварки внутреннего уторного

шва по часовой стрелке. А общее направление сварки в зонах от середины к краям.

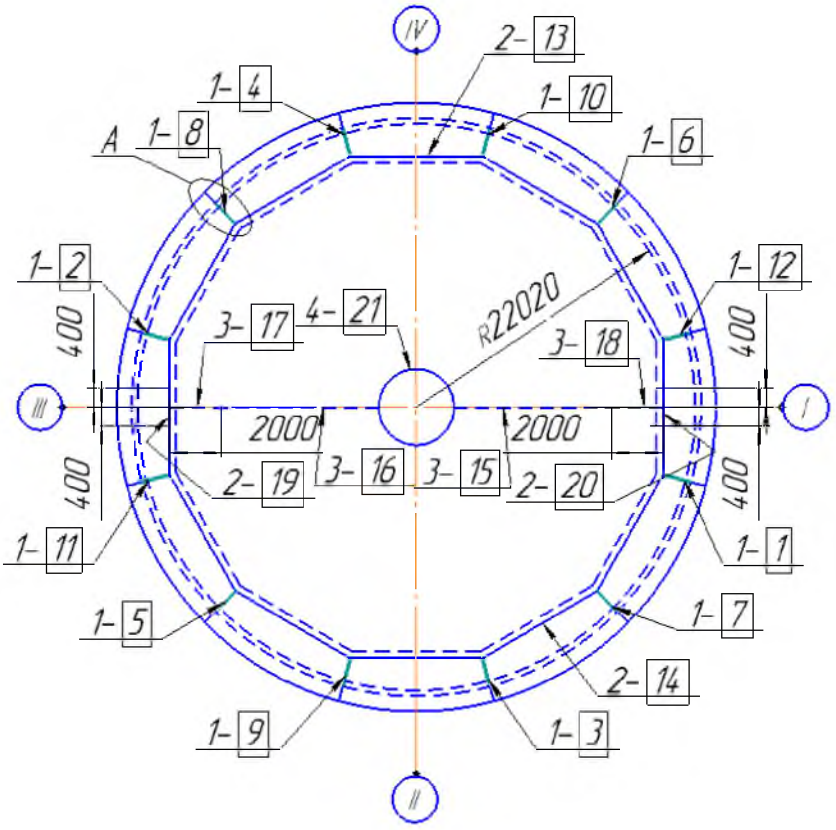


Рисунок 85 – Схема 27, монтажные сварные соединения днища: 1-4 номер швов; [1]-[21] – порядок выполнения сварных швов

Выноска А на рисунке 85, представлена на рисунке 86.

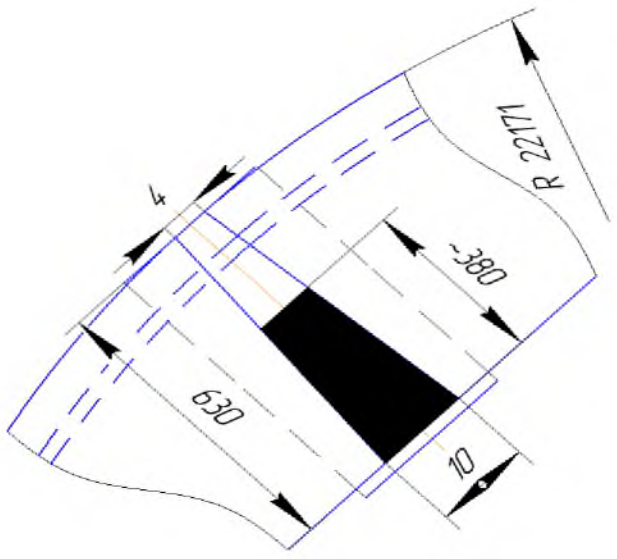


Рисунок 86 – Выноска А

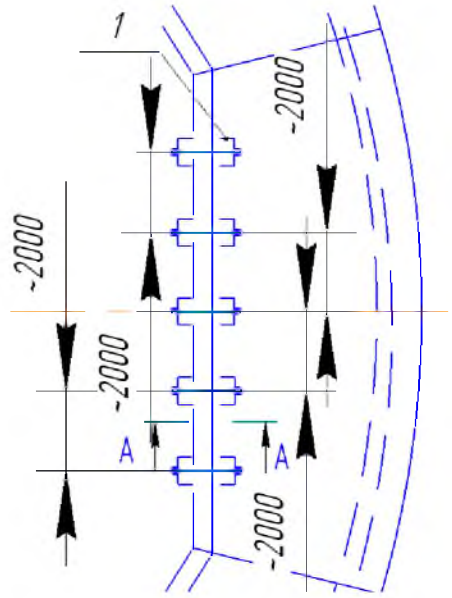


Рисунок 87 – Схема стяжного приспособление: 1 – стяжное устройство

Разрез А-А на рисунке 87, представлен на рисунке 88.

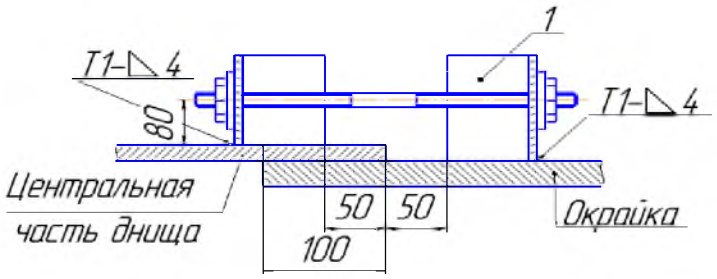


Рисунок 88 – Разрез А-А: 1 – стяжное устройство

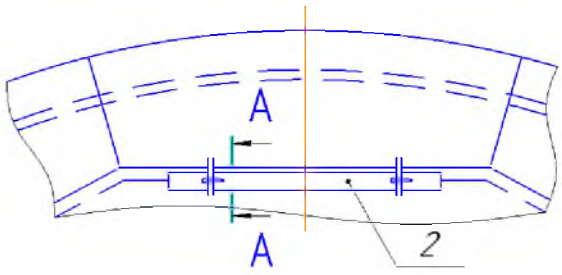


Рисунок 89 – Схема 29 – Прижимной швеллер: 2 – прижимной швеллер

Разрез А-А на рисунке 89, представлен на рисунке 90.

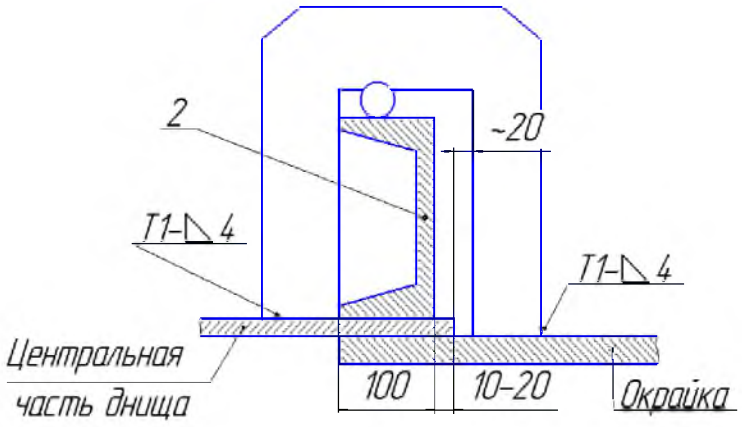


Рисунок 90 – Разрез А-А: 2 – прижимной швеллер

– Последовательно по мере установки IV-IX поясов стенки выполнять сварку и контроль швов 59-172 в порядке указанном в пунктах выше.

– Произвести сборку и сварку листа монтажного проема швы 1, 18, 37. 57, 58.

– Контроль качества сварных соединений производить по мере выполнения сварки вертикальных и горизонтальных швов, способами и в объемах предусмотренных стандартами.

4.5 Исправление дефектов сварных соединений

Исправление дефектов осуществляется в следующей последовательности:

– Недопустимые дефекты, обнаруженные в сварных швах, устраняют под наблюдением мастера по сварке.

– Выявленные неразрушающими методами контроля внутренние дефекты должны удаляться из шва при помощи шлифмашинок с последующей сваркой и повторным контролем исправленных участков сварного шва.

– Исправление одного и того же дефектного места допускается не более 2-х раз. Сведения об исправлении дефектов и количестве исправлений должны заноситься в сварочный журнал.

– Швы неполного сечения должны быть доварены до проектного размера.

– Участки швов с подрезами и наплывами зашлифовать и подварить.

– Участки шва с порами, непроварами и т.п. удалить на длину дефектного участка плюс 15 мм с каждой стороны и заварить вновь.

– В швах с трещинами начала и конец трещины засверлить, удалить на длину дефектного места плюс 15 мм с каждой стороны и заварить вновь.

– Дефекты сварных соединений следует исправлять с применением электродов меньшего диаметра и на минимальных режимах сварки, установленных технологическим процессом.

4.6 Выбор сварочных материалов

Сварочные материалы (сварочная проволока электроды, флюсы, защитные газы) должны выбираться в соответствии с требованиями технологического процесса сооружения резервуара и выбранных марок стали.

Металлургические процессы при сварке в углекислом газе.

При высокой температуре дуги молекулы углекислого газа расщепляются (диссоциируют) на СО и О по реакции CO_2-CO+O. Образующаяся СО в свою очередь диссоциирует на С и О по реакции С0-С + 0. Атомарный кислород (О) обладает высокой химической активностью и способен окислять все элементы, входящие в состав проволоки и основного металла.

При сварке в углекислом газе происходит выгорание (окисление) элементов, содержащихся в сварочной проволоке, и в меньшей степени - элементов основного металла.

Для повышения количества марганца и кремния в металле шва, уменьшающихся в результате угара, и подавления реакции окисления углерода при сварке в углекислом газе применяют сварочную проволоку с повышенным содержанием марганца и кремния

В проектированном резервуаре применяются марки стали 09Г2С и Ст3сп, для данных марок стали принимаем сварочную проволоку марки Св08Г2С по ГОСТ 2246-70 [20], химический состав сварочной проволоки представлен в таблице 19.

Таблица 19 Химический состав сварочной проволоки Св08Г2С [20]

элемент	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N
Содержание, %	0,05…0,11	0,7…0,95	1,8…2,1	до 0,25	до 0,025	до 0,03	до 0,2	до 0,01

Для сварки резервуара принимаем углекислый газ (CO^2), концентрацией выше 99,8% по ГОСТ 8050-85 [21].

Углекислый газ нетоксичен и не имеет цвета. Баллоны сжиженного углекислого газа черного цвета с желтой надписью углекислота. Рабочее давление баллонов — 60…70 кгс/см². Связи с тем, что CO^2 имеет влажность, необходимо установить осушитель.

Для автоматической сварки под слоем флюса выбираем сварочную проволоку 08Г2С и флюс АН 348 А. Химический состав флюса представлен в таблице 20.

Таблица 20 Химический состав флюса АН 348 А ГОСТ 9087-81 [22]

Параметр	Массовая доля, %				
	Кремния(IV) оксид	Марганца (II) оксид	Кальция оксид	Магния оксид	Алюминия оксид
Значение	40,0…44,0	31,0…38,0	до 12,0	до 7,0	до 6,0

Транспортировку сварочных материалов производить в вакуумных упаковках.

Хранить сварочные материалы следует в помещение, с минимальной влажностью, при температуре не менее 15°С.

4.7 Расчет параметров режимов сварки

4.7.1 Расчет режимов механизированной сварки в защите углекислого газа шва №1

Исходные данные:

– основной металл – сталь 09Г2С;

– толщина металла – S=13 мм, S_1=11,5мм;

– зазор в стыке – 1мм;

– защитный газ – углекислый газ по ГОСТ 8050-85 [21];

– сварочная проволока – Св-08ГА по ГОСТ 2246-70 [20];

– способ сварки – механизированная сварка в защите углекислого газа;

– тип соединения – стыковое;

– тип шва – стыковой;

– положение шва – горизонтальное;

– тип шва по количеству проходов – многопроходный, двухсторонний.

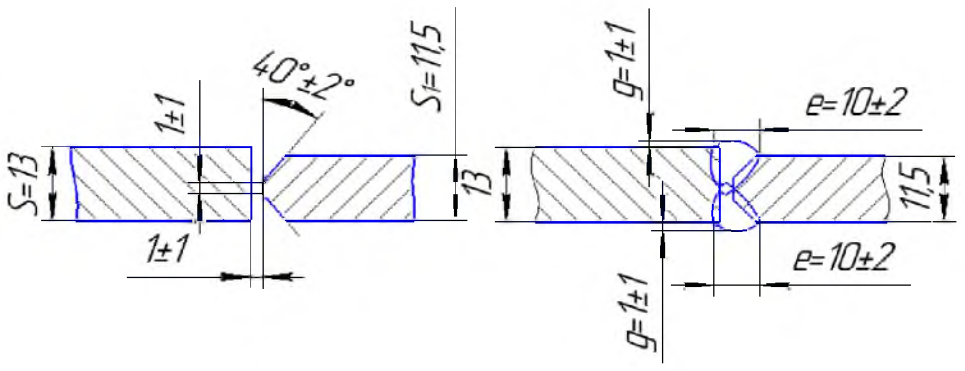
Формы и размеры подготовки кромок по ГОСТ 14771-76 представлены на рисунке 91.

Расчет режима сварки корневого шва:

Определяем величину сварочного тока $I_{св}$ по таблице 21.

Таблица 21 Допускаемая величина сварочного тока при сварке в среде углекислого газа в зависимости от диаметра электрода [23]

Параметр	Значение			
Диаметр электрода$d_{эл}$, мм	1,0	1,2	1,6	2,0
Сила сварочного тока $I_{св}$, А	70,0…180,0	100,0…2400	150,0…400,0	200,0…500,0
Расстояние от изделия, мм	6,0…18,0	8,0…18,0	15,0…25,0	15,0…25,0



а) б)

Рисунок 91 – Форма поперечного сечения сварного соединения С15: а) поперечного сечения подготовленных кромок; б) поперечного сечения сварного шва

Для расчетов принимаем $I_{св}$= 190 А.

Определение скорости сварки.

Для проволоки $d_{эл}$= 1,6 мм скорость сварки $V_{св}$ определяется по формуле [23]:

$$V_{\text{св}} = \frac{(5...8)\cdot 10^3}{I_{\text{св}}}, \quad (4.3)$$

где $V_{св}$ – скорость сварки, м/ч;

$I_{\text{св}}$ – сила тока, А.

$$V_{\text{св}} = \frac{(5...8)\cdot 10^3}{190} = (26...42)\ \text{м/ч}$$

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

Определение оптимального напряжения дуги.

Оптимальное напряжение дуги $U_{\text{д}}$ может быть определено по формуле [23]:

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50\cdot 10^{-3}}{d_{\text{эл}}^{0,5}}\cdot I_{\text{св}} \pm 1, \quad (4.4)$$

где $U_{\text{д}}$ – напряжение дуги, В;

$I_{\text{св}}$ – сила тока, А.

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50\cdot 10^{-3}}{1,6^{0,5}}\cdot 190 \pm 1 = 28\ \text{В}$$

Принимаем $U_{\text{д}}$=28 В.

Определение коэффициента формы провара.

Коэффициент формы провара $\Psi_{\text{пр}}$ в зависимости от основных параметров режима сварки может быть определен по формуле [23]:

$$\psi_{\text{пр}} = K^{'}\cdot(19 - 0,01\cdot I_{\text{св}})\frac{d_{\text{эл}}\cdot U_{\text{д}}}{I_{\text{св}}}, \quad (4.5)$$

где $\Psi_{\text{пр}}$– коэффициент формы провара;

$I_{\text{св}}$ – сила тока, А;

$U_{\text{д}}$ – напряжение дуги, В.

Значение коэффициента $K^{'}$ определяется по таблице 22 [23] исходя из условий по [23]:

– род тока постоянный;

– полярность тока обратная;

– плотность тока j< 120 А/мм^2.

Таблица 22 - Значение коэффициента $K^{'}$

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

Рассчитаем коэффициента $K^{'}$ по формуле [23]:

$$K^{'} = 0{,}367 \cdot j^{0{,}1925} = 0{,}367 \cdot \left(\frac{I_{\text{св}} \cdot 4}{\pi \cdot d_{\text{эл}}} \right)^{0{,}1925}, \qquad (4.6)$$

где $K^{'}$ – коэффициент;

$I_{\text{св}}$ – сила тока, А;

$U_{\text{д}}$ – напряжение дуги, В;

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

Рассчитаем коэффициента $K^{'}$ по ранее принятым параметрам.

$$K^{'} = 0{,}367 \cdot \left(\frac{190 \cdot 4}{3{,}14 \cdot 1{,}6^2} \right)^{0{,}1925} = 0{,}9$$

Рассчитаем коэффициент формы провара ранее принятых параметров по формуле 4.5

$$\psi_{\text{пр}} = 0{,}9 \cdot (19 - 0{,}01 \cdot 190) \frac{1{,}6 \cdot 28}{190} = 3{,}6$$

Определение величины погонной энергии.

Величина погонной энергии $q_{\text{п}}$ рассчитывается по формуле [23]:

$$q_n = \frac{I_{\text{св}} \cdot U_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{д}}}{V_{\text{св}}}, \quad (4.7)$$

где $q_{\text{п}}$ – величина погонной энергии, Дж/см;

$\eta_{\text{д}}$ – эффективный КПД дуги.

Принимаем $\eta_{\text{д}} = 0{,}9$.

Рассчитаем величину погонной энергии из ранее принятых параметров по формуле 4.7.

$$q_n = \frac{190 \cdot 28 \cdot 0{,}9}{0{,}83} = 5768{,}67 \text{ Дж/см}$$

Определение основных размеров шва.

Определение глубины проплавления.

Определяем глубину проплавления $h_{\text{ф}}$ по формуле [23]:

$$h_ф = 8{,}1 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{q_n}{\psi_{\text{пр}}}}, \quad (4.8)$$

где $h_{\text{ф}}$ – глубина проплавление, см;

Рассчитаем величину погонной энергии из ранее принятых параметров по формуле 4.8.

$$h_ф = 8{,}1 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{5768{,}67}{3{,}6}} = 0{,}32 \text{ см} = 3{,}2 \text{ мм}$$

Определение ширины шва.

Определяем ширину шва b по формуле [23]:

$$b = \Psi_{\text{пр}} \cdot h_{\text{ф}}, \quad (4.9)$$

где b – ширина шва, мм;

$h_{\text{ф}}$ – глубина проплавление, см;

$\Psi_{пр}$ – коэффициент формы провара.

Рассчитаем ширину шва из ранее рассчитанных параметров по формуле 4.9.

$$b=3,4\cdot3,7 = 11,52 \text{ мм}$$

Определение высоты валика.

Определяем высоту валика с по формуле [17]:

$$c = \frac{F_{н}}{0,75 \cdot b}, \quad (4.10)$$

где c – высота валика, см;

$F_{н}$ – площадь поперечного сечения наплавленного металла за данный проход, мм^2;

0,75 – коэффициент полноты валика при механизированной сварке;

b – ширина шва, мм.

$\alpha_{н}$ – коэффициент наплавки, определяемый по формуле [23]:

$$\alpha_{н} = \alpha_{р} \cdot \left(1 - \frac{\psi}{100}\right), \quad (4.11)$$

где $\alpha_{н}$ – коэффициент наплавки, г/А·с;

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

Ψ – потери электродного металла, %.

Принимаем Ψ =10%.

$\alpha_{р}$ – коэффициент расплавления электродной проволоки, определяется по формуле [23]:

$$\alpha_{р} = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{I_{св}}{d_{эл}}\right) \cdot 10^{-4}, \quad (4.12)$$

Рассчитаем коэффициент расплавленного металла из ранее принятых параметров по формуле 4.12.

$$\alpha_{р} = \left(8{,}3 + 0{,}22 \cdot \frac{190}{1{,}6}\right) \cdot 10^{-4} = 0{,}0034425 \text{ г/А·с}$$

Рассчитаем коэффициент наплавки из ранее принятых параметров по формуле 4.11.

$$\alpha_{н} = 0{,}0034425 \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 11{,}15 \text{ г/А·ч}$$

$$F_{н} = \frac{\alpha_{н} \cdot I_{св}}{3600 \cdot \gamma \cdot V_{св}}, \qquad (4.13)$$

где $F_{н}$ – площадь поперечного сечения наплавленного металла за данный проход, мм^2;

$\alpha_{н}$ – коэффициент наплавки, г/А·с;

$I_{св}$ – сила тока, А;

$d_{эл}$ – диаметр электрода, мм;

γ – удельный вес, г/см^3

$V_{св}$ – скорость сварки, м/ч.

Рассчитаем площадь поперечного сечения из ранее рассчитанных параметров по формуле 4.13.

$$F_{н} = \frac{11{,}15 \cdot 190}{3600 \cdot 7{,}8 \cdot 0{,}83} = 0{,}09 \text{ мм}^2$$

Рассчитаем высоту валика из ранее рассчитанных параметров по формуле 4.10.

$$c = \frac{9}{0{,}73 \cdot 11{,}52} = 1{,}07 \text{ см}$$

Принимаем c= 1 мм.

Определение высоты шва.

Определяем высоту шва (H) по формуле [23]:

$$H = h_{ф} + \text{с , мм}, \qquad (4.14)$$

Рассчитаем высоту шва из ранее принятых параметров по формуле 4.14

$$H = 3{,}2 + 1 = 4{,}2 \text{ мм}$$

Определение высоты заполнения разделки с учетом зазора в стыке.

Определяем высоту заполнения разделки f по формуле [23]:

$$f = \sqrt{\frac{F_{\text{н}} - H \cdot a}{tg\alpha}}, \tag{4.15}$$

где f – высота заполнения разделки, мм;

a – зазор в стыке, мм;

$F_н$ –площадь поперечного сечения наплавленного металла за данный проход при установленной скорости перемещения дуги, мм^2.

Рассчитаем высоту заполнение из ранее рассчитанных параметров по формуле 4.15.

$$f = \sqrt{\frac{9 - 4{,}2 \cdot 1}{tg40}} = 2{,}39 \text{ мм}$$

Определение глубины провара притупления.

Рассчитываем глубину провара притупления h_0 по формуле [23]:

$$h_0 = H - f, \tag{4.16}$$

где h_0 – глубина провара, мм;

Рассчитаем глубина провара из ранее рассчитанных параметров по формуле 4.16.

$$h_0 = 4{,}3 - 2{,}39 = 1{,}91 \text{ мм}$$

Определение скорости подачи проволоки.

Определяем скорость подачи проволоки по формуле [23]:

$$V_{\text{п пр}} = \frac{4 \cdot \alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{св}}}{\pi \cdot d_{эл}^2 \cdot \gamma}, \tag{4.17}$$

где $V_{\text{п пр}}$ - скорость подачи проволоки, м/ч.

Рассчитаем скорость подачи проволоки из ранее рассчитанных параметров по формуле 4.17.

$$V_{\text{п пр}} = \frac{4 \cdot 11{,}15 \cdot 190}{3{,}14 \cdot 1{,}6^2 \cdot 7{,}8} = 135{,}15\,\text{м/ч}$$

Принимаем $V_{\text{п пр}}$ = 135,15 м/ч.

Расчет режима сварки последующих проходов со стороны разделки.

Для заполняющих проходов площадь наплавленного металла можно принять $F_{\text{нз}}$, до 100 мм^2.

Для расчетов принимаем $F_{\text{нз}}$=30мм^2, $d_{\text{эл}}$= 1,6 мм, $I_{\text{св}}$=300 А.

Определение скорости сварки последующих проходов.

Определяем скорость сварки $V_{\text{св}}$ последующих проходов по формуле [23]:

$$V_{\text{св}} = \frac{\alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{св}}}{F_{\text{нз}} \cdot \gamma \cdot 100}, \qquad (4.18)$$

Коэффициент наплавки, определяемый по формуле 4.11.

$$\alpha_{\text{н}} = 0{,}004955 \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 16{,}05\,\text{г/А·ч}$$

$\alpha_{\text{р}}$ – коэффициент расплавления электродной проволоки, определяется по формуле 4.12.

$$\alpha_{\text{р}} = \left(8{,}3 + 0{,}22 \cdot \frac{300}{1{,}6}\right) \cdot 10^{-4}, = 0{,}004955\text{г/А·с}$$

Рассчитаем скорость сварки из ранее рассчитанных параметров по формуле 4.18.

$$V_{\text{св}} = \frac{16{,}05 \cdot 300}{0{,}3 \cdot 7{,}8 \cdot 100} = 20{,}58,\ \text{м/ч}$$

Принимаем $V_{\text{св}}$=20,58 м/ч.

Определение скорости подачи проволоки.

Определяем скорость подачи электродной проволоки $V_{\text{п пр}}$ по формуле 4.17.

$$V_{\text{п пр}} = \frac{4 \cdot 16{,}05 \cdot 300}{3{,}14 \cdot 1{,}6^2 \cdot 7{,}8} = 307{,}17,\ \text{м/ч}$$

Принимаем $V_{\text{п пр}} = 307{,}17$ м/ч.

Определение оптимального напряжения дуги.

Определяем оптимальное напряжение $U_{\text{д}}$ дуги по формуле 4.4.

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1{,}6^2} \cdot 300 \pm 1 = 32\ \text{В}$$

Принимаем $U_{\text{д}} = 32$ В.

Определение количества проходов.

Число проходов $n_{\text{р}}$ стыковых соединений определяется по [23]:

$$n_{\text{р}} = \frac{F_{\text{нм}} - F_{\text{н}}}{F_{\text{нз}}} + 1, \qquad (4.19)$$

где $n_{\text{р}}$ – число проходов;

$F_{\text{н}}$ – площадь наплавленного метала корневого прохода, мм^2;

$F_{\text{нз}}$ – площадь наплавленного метала для заполняющих проходов, мм^2;

$F_{\text{нм}}$ – площадь наплавленного металла, мм^2.

Площадь наплавленного металла определяется по [23]:

$$F_{\text{нм}} = 2 \cdot F_1 + 2 \cdot F_2 + F_3 = 26{,}07 + 15{,}89 + 13 = 54{,}96, \text{мм}^2 \qquad (4.20)$$

$$n_{\text{р}} = \frac{54{,}96 - 9}{30} + 1 = 2{,}5$$

Принимаем: $n_{\text{р}}$=3.

Принимаем те же режимы и для сварки шва с другой стороны. Для того чтобы принять режимы сварки за первый проход для сварки с другой стороны проведем проверочный расчет исходя из условий обеспечения сплошности провара притупления по формуле [23]:

$$h_0 + h_1 = p + e, \qquad (4.21)$$

где: e – перекрытие, равен 2..3 мм.

$$h_1=p+e-h_0,$$

$$h_1=2+2-1{,}91=2{,}09 \text{ мм}$$

Определяем основное машинное время.

Основное машинное время, т.е. время горения дуги при механизированной сварке в среде углекислого газа определяется по формуле [23]:

$$t_{осн}=\frac{3600\cdot F_{нм}\cdot l\cdot\gamma}{\alpha_н\cdot I_{св}}, \quad (4.22)$$

где $t_{осн}$ – основное время сварки 1 м шва, с;

$F_{нм}$ – площадь поперечного сечения наплавленного металла ,см^2;

γ – удельный вес, г/см^3;

l – длина шва, см;

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

$I_{св}$ – сварочный ток, А.

Принимаем l = 800 мм.

Тогда время горения дуги будет равно:

$$t_{осн}=\frac{3600\cdot 0{,}5496\cdot 800\cdot 7{,}8}{16{,}05\cdot 300}=2564{,}11 \text{ с}$$

Расчет количества электродов.

Вес электродной проволоки по формуле [17]:

$$\omega_э=(1{,}7\ldots 1{,}9)\cdot\omega_{нм}, \quad (4.23)$$

где $\omega_э$ – вес электродной проволоки, г;

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

Вес наплавленного металла рассчитывается по [17]:

$$\omega_{нм}=F_н\cdot l\cdot\gamma, \quad (4.24)$$

где $F_н$ – площадь поперечного сечения наплавленного металла, см^2;

γ – удельный вес, г/см^3;

l – длина шва, см.

Вес наплавленного металла равен,

$$\omega_{нм} = 0{,}5496 \cdot 800 \cdot 7{,}8 = 3429{,}50\,г$$

Зная вес наплавленного металла, определяем вес электродов,

$$\omega_{э} = (1{,}7 \ldots 1{,}9) \cdot 3429{,}50 = 5830{,}16 \ldots 6516{,}06\,г$$

В ходе расчета режима механизированной сварки в защите углекислого газа шва №1, соединения С15 были рассчитаны следующие показатели:

– Корневой шов. $d_{эл}$=1,6 мм, $I_{св}$= 190 А, $U_д$=28 В, $V_{св}$=30м/ч, $V_{п\,пр}$ = 135,15 м/ч. 2.

– Последующие проходы.$d_{эл}$=1,6 мм, $I_{св}$= 300 А, $U_д$=32 В, $V_{св}$=20,58м/ч, $V_{п\,пр}$ = 307,17 м/ч.

Так как сварное соединение С15 двухстороннее, то принимаем режимы сварки для другой стороны те же самые.

4.7.2 Расчет режимов механизированной сварки в защите углекислого газа шва №2

Исходные данные:

– основной металл– сталь 09Г2С;

– толщина металла– S=13 мм, S_1=13мм;

– Зазор в стыке – 1мм;

– защитный газ – углекислый газ по ГОСТ 8050-85;

– сварочная проволока – Св-08Г2С по ГОСТ 2246-70;

– способ сварки–_механизированная сварка в защите углекислого газа;

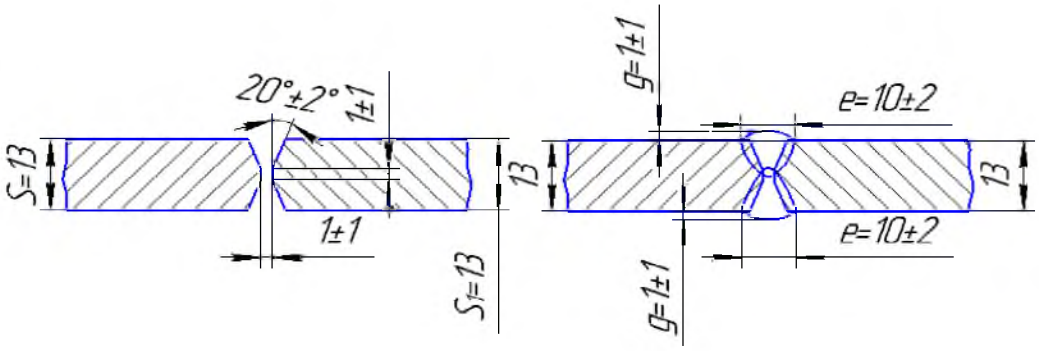
– тип соединения– стыковое;

– тип шва– стыковой;

– положение шва – вертикальное;

– тип шва по количеству проходов – многопроходный, двухсторонний.

Формы и размеры подготовки кромок по ГОСТ 14771-76. Конструктивные элементы и размеры представлены на рисунке 93.



а) б)

Рисунок 93 – Форма поперечного сечения сварного соединения С25:

а) поперечного сечения подготовленных кромок, б) поперечного сечения сварного шва

Расчет режима сварки корневого шва.

Определение величины сварочного тока.

Определяем величину сварочного тока $I_{св}$ по таблице 21.

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

Определение скорости сварки.

Для проволоки $d_{эл}$= 1,6 мм скорость сварки $V_{св}$ определяется по формуле 4.3.

$$V_{\text{св}} = \frac{(5...8)\cdot 10^3}{180} = (28...44)\text{, м/ч}$$

Принимаем $V_{св}$=28 м/ч = 0,77 см/с

Определение оптимального напряжения дуги.

Оптимальное напряжение дуги $U_д$ может быть определено по формуле 4.4.

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50\cdot 10^{-3}}{1{,}6^{0{,}5}}\cdot 180 \pm 1 = 26\text{ В}$$

Принимаем $U_д$=26 В.

Определение коэффициента формы провара.

Коэффициент формы провара ($\Psi_{пр}$) в зависимости от основных параметров режима сварки может быть определен по формуле 4.5.

Значение коэффициента K' определяется по таблице 22, исходя из условий по формуле 4.6.

$$K' = 0{,}367 \cdot \left(\frac{190 \cdot 4}{3{,}14 \cdot 1{,}6^2} \right)^{0{,}1925} = 0{,}9$$

$$\psi_{\text{пр}} = 0{,}9 \cdot (19 - 0{,}01 \cdot 180) \frac{1{,}6 \cdot 26}{180} = 3{,}56$$

Определение величины погонной энергии.

Величина погонной энергии $q_{\text{п}}$ рассчитывается по формуле 4.7.

$$q_n = \frac{180 \cdot 26 \cdot 0{,}9}{0{,}77} = 5470{,}12 \text{ Дж/см}$$

Определение основных размеров шва

Определение глубины проплавления;

Определяем глубину проплавления $h_{\text{ф}}$ по формуле 4.8.

$$h_ф = 8{,}1 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{5470{,}12}{3{,}56}} = 0{,}31 \text{ см} = 3{,}1 \text{ мм}$$

Определение ширины шва.

Определяем ширину шва b по формуле 4.9.

$$b = 3{,}56 \cdot 3{,}1 = 11{,}03 \text{ мм}$$

Определение высоты валика;

Определяем высоту валика (с) по формуле 4.10.

$\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент наплавки, определяемый по формуле 4.11.

$\alpha_{\text{р}}$ – коэффициент расплавления электродной проволоки, определяется по формуле 4.12.

$$\alpha_{\text{р}} = \left(8{,}3 + 0{,}22 \cdot \frac{180}{1{,}6} \right) \cdot 10^{-4} = 0{,}003305 \text{ г/А·с}$$

$$\alpha_{\text{н}} = 0{,}003305 \cdot \left(1 - \frac{10}{100} \right) = 10{,}7 \text{ г/А·ч}$$

$$F_{\text{н}} = \frac{\alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{св}}}{3600 \cdot \gamma \cdot V_{\text{св}}} = \frac{10{,}7 \cdot 180}{3600 \cdot 7{,}8 \cdot 0{,}77} = 0{,}09 \text{ см}$$

$$c = \frac{9}{0{,}73 \cdot 11{,}03} = 1{,}11 \text{ см}$$

Принимаем c= 2 мм.

Определение высоты шва.

Определяем высоту шва (*H)* по формуле 4.13.

$$H = 3,1 + 2 = 5,1 \text{ мм}$$

Определение высоты заполнения разделки с учетом зазора в стыке.

Определяем высоту заполнения разделки *f* по формуле 4.14.

$$f = \sqrt{\frac{9 - 5,1 \cdot 1}{tg22}} = 3,1 \text{ мм}$$

Определение глубины провара притупления.

Рассчитываем глубину провара притупления h_0 по формуле 4.15.

$$h_0 = 5,1 - 3,1 = 2 \text{ мм}$$

Определение скорости подачи проволоки.

Определяем скорость подачи проволоки по формуле 4.16.

$$V_{\text{п пр}} = \frac{4 \cdot 10,7 \cdot 180}{3,14 \cdot 1,6^2 \cdot 7,8} = 122,87 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{\text{п пр}} = 123$ м/ч.

Расчет режима сварки последующих проходов со стороны разделки.

Для заполняющих проходов площадь наплавленного металла можно принять $F_{\text{нз}}$, до 100 мм^2.

Для расчетов принимаем $F_{\text{нз}}$=60мм^2, $d_{\text{эл}}$= 1,6 мм, $I_{\text{св}}$=300 А.

Определение скорости сварки последующих проходов.

$\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент наплавки, определяемый по формуле 4.11.

$\alpha_{\text{р}}$ – коэффициент расплавления электродной проволоки, определяется по формуле 4.12.

$$\alpha_{\text{р}} = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{300}{1,6}\right) \cdot 10^{-4}, = 0,004955 \text{г/А·с}$$

$$\alpha_{\text{н}} = 0,004955 \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 16,05 \text{ г/А·ч}$$

$$V_{\text{св}} = \frac{16,05 \cdot 300}{0,6 \cdot 7,8 \cdot 100} = 10,28, \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{св}$=10,28 м/ч.

Определение скорости подачи проволоки.

Определяем скорость подачи электродной проволоки $V_{п\,пр}$ по формуле 4.16.

$$V_{п\,пр} = \frac{4 \cdot 16{,}05 \cdot 300}{3{,}14 \cdot 1{,}6^2 \cdot 7{,}8} = 307{,}17,\ \text{м/ч}$$

Принимаем $V_{п\,пр}$ = 307,17 м/ч.

Определение оптимального напряжения дуги.

Определяем оптимальное напряжение ($U_д$) дуги по формуле 4.4.

$$U_д = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1{,}6^2} \cdot 300 \pm 1 = 32\ \text{В}$$

Принимаем $U_д$ = 32 В.

Определение количества проходов.

Число проходов ($n_р$) стыковых соединений определяется по формуле 4.18.

$F_{нм}$ – площадь наплавленного металла, мм^2 определяется по формуле 4.19.

$$F_{нм} = 4 \cdot F_1 + 2 \cdot F_2 + F_3 = 2 \cdot f^2 \cdot tg\frac{\alpha}{2} + a \cdot S + \frac{4}{3} \cdot c\left[2 \cdot f \cdot tg\frac{\alpha}{2} + a + (4\ldots6)\right], \text{мм}^2$$

$$F_{нм} = 2 \cdot 5{,}5^2 \cdot 0.40040 + 1 \cdot 13 + \frac{4}{3} \cdot 2[2 \cdot 5.5 \cdot 0.4040 + 1 + 4] = 62.66\ \text{мм}^2$$

$$n_р = \frac{62{,}66 - 9}{60} + 1 = 1{,}89$$

Принимаем: $n_р$=2.

Принимаем те же режимы и для сварки шва с другой стороны. Для того чтобы принять режимы сварки за первый проход для сварки с другой стороны проведем проверочный расчет исходя из условий обеспечения сплошности провара притупления по формуле 4.20.

$$h_1$=2+2-2=2мм

Определяем основное машинное время.

Основное машинное время, т.е. время горения дуги при механизированной сварке в среде углекислого газа определяется по формуле 4.21.

Тогда время горения дуги будет равно.

$$t_{осн} = \frac{3600 \cdot 0{,}6266 \cdot 199 \cdot 7{,}8}{16{,}05 \cdot 300} = 727{,}18 \text{ с}$$

Расчет количества электродов.

Вес электродной проволоки по формуле 4.23.

Вес наплавленного металла рассчитывается по формуле 4.24.

Вес наплавленного металла равен.

$$\omega_{нм} = 0{,}6266 \cdot 199 \cdot 7{,}8 = 972{,}60 \text{ г}$$

Зная вес наплавленного металла, определяем вес электродов по формуле 4.22.

$$\omega_{э} = (1{,}7 \ldots 1{,}9) \cdot 972{,}60 = 1653{,}43 \ldots 1847{,}96 \text{ г}$$

В ходе расчета режима механизированной сварки в защите углекислого газа шва №2, соединения С25 были рассчитаны следующие показатели:

– Корневой шов.$d_{эл}$=1,6 мм, $I_{св}$= 180 А, $U_д$=26 В, $V_{св}$=28м/ч, $V_{п\,пр}$ = 123 м/ч.

– Последующие проходы.$d_{эл}$=1,6 мм, $I_{св}$= 300 А, $U_д$=32 В, $V_{св}$=10,28м/ч, $V_{п\,пр}$ = 307,17 м/ч.

Так как сварное соединение С25 двухстороннее, то принимаем режимы сварки для другой стороны те же самые.

4.7.3 Расчет режимов механизированной сварки в защите углекислого газа шва №3

Исходные данные:

– основной металл – сталь 09Г2С;

– толщина металла – S=21 мм, S_1=14мм;

– зазор в стыке – 1;

– защитный газ – углекислый газ по ГОСТ 8050-85 [21];

– сварочная проволока – Св-08ГА по ГОСТ 2246-70 [20];

– способ сварки – механизированная сварка в защите углекислого газа;

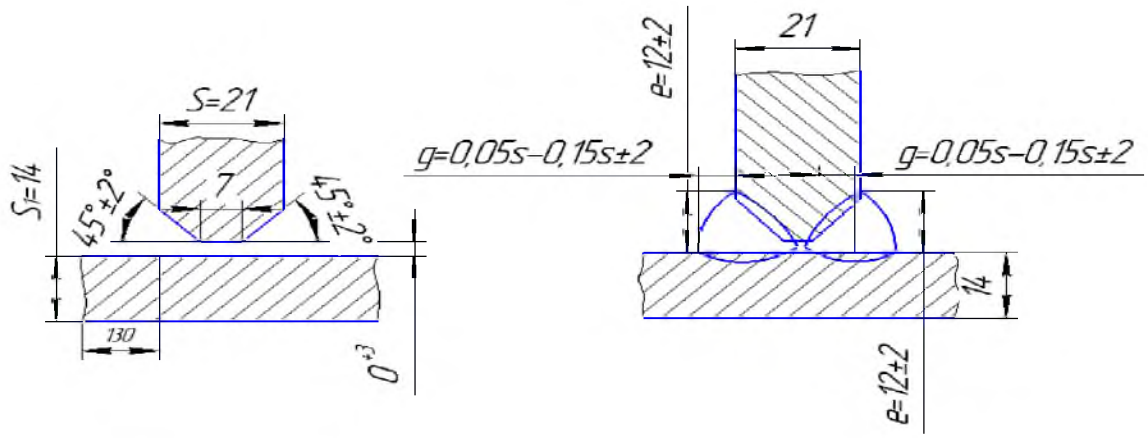
– тип соединения – тавровое;

– тип шва – угловой;

– положение шва – нижнее;

– тип шва по количеству проходов – многопроходный, двухсторонний.

Формы и размеры подготовки кромок по ГОСТ 14771-76. Конструктивные элементы и размеры представлены на рисунке 93.



а) б)

Рисунок 93 – Форма поперечного сечения сварного соединения Т9: а) поперечного сечения подготовленных кромок, б) поперечного сечения сварного шва

Расчет режима сварки корневого шва.

Определение величины сварочного тока.

Определяем величину сварочного тока $I_{св}$ по таблице 21.

Для расчетов принимаем $I_{св}$= 200 А.

Определение скорости сварки.

Для проволоки $d_{эл}$= 1,6 мм скорость сварки $V_{св}$ определяется по формуле 4.3.

$$V_{св} = \frac{(5...8)\cdot 10^3}{200} = (25...40), м/ч$$

Принимаем $V_{св}$=25 м/ч = 0,69 см/с.

Определение оптимального напряжения дуги.

Оптимальное напряжение дуги $U_д$ может быть определено по формуле 4.4.

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

Принимаем $U_д$=28 В.

Определение коэффициента формы провара.

Коэффициент формы провара ($\Psi_{пр}$) в зависимости от основных параметров режима сварки может быть определен по формуле 4.5.

Значение коэффициента K' определяется по таблице 22 исходя из условий по формуле 4.6.

$$K' = 0,367 \cdot \left(\frac{200 \cdot 4}{3,14 \cdot 1,6^2} \right)^{0,1925} = 0,9$$

$$\psi_{пр} = 0,9 \cdot (19 - 0,01 \cdot 200) \frac{1,6 \cdot 28}{200} = 3,4$$

Определение величины погонной энергии.

Величина погонной энергии $q_п$ рассчитывается по формуле 4.7.

$$q_n = \frac{200 \cdot 28 \cdot 0,9}{0,69} = 7304,35 \text{ Дж/см}$$

Определение основных размеров шва.

Определение глубины проплавления.

Определяем глубину проплавления ($h_ф$) по формуле 4.8.

$$h_ф = 8,1 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{7304,35}{3,4}} = 0,37 \text{ см} = 3,7 \text{ мм}$$

Определение ширины шва.

Принимаем ширину шва b=13.

Определение высоты валика.

Определяем высоту валика c по формуле 4.10.

$\alpha_н$ – коэффициент наплавки, определяемый по формуле 4.11.

$\alpha_р$ – коэффициент расплавления электродной проволоки, определяется по формуле 4.12.

$$\alpha_р = \left(8{,}3 + 0{,}22 \cdot \frac{200}{1{,}6}\right) \cdot 10^{-4} = 0{,}00358 \text{г/А·с}$$

$$\alpha_н = 0{,}00358 \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 11{,}59 \text{ г/А·ч}$$

$$F_н = \frac{\alpha_н \cdot I_{св}}{3600 \cdot \gamma \cdot V_{св}} = \frac{11{,}59 \cdot 200}{3600 \cdot 7{,}8 \cdot 0{,}63} = 0{,}13 \text{ см}$$

$$c = \frac{13}{0{,}73 \cdot 11{,}59} = 1{,}54 \text{ см}$$

Принимаем c = 1,54мм.

Определение высоты шва.

Определяем высоту шва (H) по формуле 4.13.

$$H = 3{,}7 + 1{,}54 = 5{,}24 \text{ мм}$$

Определение высоты заполнения разделки с учетом зазора в стыке.

Определяем высоту заполнения разделки f по формуле 4.14.

$$f = \sqrt{\frac{13 - 5{,}24 \cdot 1}{tg45}} = 2{,}79 \text{ мм}$$

Определение глубины провара притупления.

Рассчитываем глубину провара притупления h_0 по формуле 4.15.

$$h_0 = 5{,}24 - 2{,}79 = 2{,}45 \text{ мм}$$

Определение скорости подачи проволоки.

Определяем скорость подачи проволоки по формуле 4.16.

$$V_{п\,пр} = \frac{4 \cdot 11{,}59 \cdot 200}{3{,}14 \cdot 1{,}6^2 \cdot 7{,}8} = 147{,}87 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{п\,пр}$ = 148 м/ч.

Расчет режима сварки последующих проходов со стороны разделки.

Для заполняющих проходов площадь наплавленного металла можно принять $F_{нз}$, до 100 мм^2.

Для расчетов принимаем $F_{нз}$=30мм^2, $d_{эл}$= 1,6 мм, $I_{св}$=300 А.

Определение скорости сварки последующих проходов.

Определяем скорость сварки $V_{св}$ последующих проходов по формуле 4.17.

$\alpha_н$ – коэффициент наплавки, определяемый по формуле 4.11.

$\alpha_р$ – коэффициент расплавления электродной проволоки, определяется по формуле 4.12.

$$\alpha_р = \left(8{,}3 + 0{,}22 \cdot \frac{300}{1{,}6}\right) \cdot 10^{-4}, = 0{,}004955 \text{г/А·с}$$

$$\alpha_н = 0{,}004955 \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 16{,}05 \text{ г/А·ч}$$

$$V_{св} = \frac{16{,}05 \cdot 300}{0{,}3 \cdot 7{,}8 \cdot 100} = 20{,}58, \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{св}$=10,58 м/ч.

Определение скорости подачи проволоки.

Определяем скорость подачи электродной проволоки $V_{п\ пр}$ по формуле 4.16.

$$V_{п\ пр} = \frac{4 \cdot 16{,}05 \cdot 300}{3{,}14 \cdot 1{,}6^2 \cdot 7{,}8} = 307{,}17, \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{п\ пр}$ = 307,17 м/ч.

Определение оптимального напряжения дуги.

Определяем оптимальное напряжение $U_д$ дуги по формуле 4.4.

$$U_д = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1{,}6^2} \cdot 300 \pm 1 = 32 \text{ В}$$

Принимаем $U_д$ = 32 В.

Определение количества проходов.

Число проходов $n_р$ стыковых соединений определяется по формуле 4.18.

$F_{нм}$ – площадь наплавленного металла, мм^2 определяется по формуле 4.19.

$$F_{\text{нм}} = \frac{f^2 \cdot tg45}{2} + \frac{2}{3} \cdot c \cdot \left[f \cdot tg\frac{\alpha}{2} + a \right] + a \cdot S, \text{мм}^2$$

$$F_{\text{нм}} = \frac{7^2 \cdot tg45}{2} + \frac{2}{3} \cdot 3{,}08 \cdot [7 \cdot tg45° + 1] + 1 \cdot 10 = 51{,}0088 \text{ мм}^2$$

$$n_{\text{р}} = \frac{51{,}0088 - 13}{30} + 1 = 2{,}26$$

Принимаем: $n_{\text{р}}$=3.

Принимаем те же режимы и для сварки шва с другой стороны.

Определяем основное машинное время.

Основное машинное время, т.е. время горения дуги при механизированной сварке в среде углекислого газа определяется по формуле 4.21:

Тогда время горения дуги будет равно.

$$t_{осн} = \frac{3600 \cdot 0{,}510088 \cdot 800 \cdot 7{,}8}{16{,}0{,}5 \cdot 300} = 2379{,}77 \text{ с}$$

Расчет количества электродов.

Вес электродной проволоки по формуле 4.22.

Вес наплавленного металла рассчитывается по формуле 4.23.

Вес наплавленного металла равен.

$$\omega_{нм} = 0{,}510088 \cdot 800 \cdot 7{,}8 = 3182{,}95 \text{ г}$$

Зная вес наплавленного металла, определяем вес электродов.

$$\omega_{э} = (1{,}7 \ldots 1{,}9) \cdot 3182{,}95 = 5411{,}01 \ldots 6047{,}60 \text{ г}$$

Входе расчета режима механизированной сварки в защите углекислого газа соединения Т9 были рассчитаны следующие показатели:

– Корневой шов.$d_{эл}$=1,6 мм, $I_{св}$= 200 А, $U_д$=28 В, $V_{св}$=25м/ч, $V_{п\,пр}$ = 148 м/ч.

– Последующие проходы.$d_{эл}$=1,6 мм, $I_{св}$= 300 А, $U_д$=32 В, $V_{св}$=10,58м/ч, $V_{п\,пр}$ = 307,17 м/ч.

Так как сварное соединение Т9 двухстороннее, то принимаем режимы сварки для другой стороны те же самые.

4.7.4 Расчет режимов автоматической сварки под слоем флюса шва №4

Исходные данные:

– основной металл – сталь 09Г2С по ГОСТ5520-79;

– толщина металла – S=9 мм;

– зазор в стыке – 4мм;

– сварочный флюс – АН-348А по ГОСТ 9087-81[22];

– сварочная проволока – Св-08Г2С по ГОСТ 2246-70[20].;

– способ сварки–автоматическая сварка под слоем флюса;

– тип соединения – стыковое;

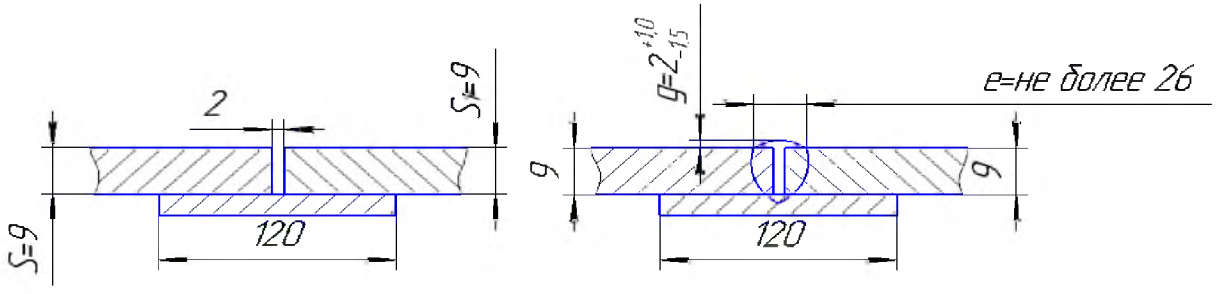
– тип шва – стыковой;

– положение шва – нижнее;

– тип шва по количеству проходов – однопроходный односторонний;

– формы и размеры подготовки кромок по ГОСТ 8713-79.

Конструктивные элементы и размеры соединение С5 представлены на рисунке 94.



а) б)

Рисунок 94 – Форма поперечного сечения сварного соединения С5: а) поперечного сечения подготовленных кромок, б) поперечного сечения сварного шва

Расчет режимов сварки за один проход.

Расчет режима сварки ведется в следующей последовательности:

Требуемая глубина проплавления.

Принимаем h_1=9 мм.

Ориентировочная величина тока определяется по формуле [23]:

$$I_{\text{св}} = (80...100) \cdot h_1, \text{ А}, \quad (4.24)$$

$$I_{\text{св}} = (80...100) \cdot 9 = 720...900 \text{ А}$$

Принимаем $I_{\text{св}} = 750$ А.

Определим диаметр сварочной проволоки по формуле [23]:

$$d_{\text{эл}} = 1{,}13 \cdot \sqrt{\frac{I_{\text{св}}}{j}} \text{ мм} \quad (4.25)$$

Допускаемая плотность тока (j) принимается равной 40 А/мм^2.

$$d_{\text{эл}} = 1{,}13 \cdot \sqrt{\frac{750}{40}} = 4{,}89 \text{ мм}$$

Принимаем $d_{\text{эл}}$=5мм.

Определим скорость сварки при использовании электродной проволоки диаметром 5 мм по формуле [23]:

$$V_{\text{св}} = \frac{(20...25) \cdot 10^3}{I_{\text{св}}}, \quad (4.26)$$

$$V_{\text{св}} = \frac{(20...25) \cdot 10^3}{750} = (27...33) \text{ м/ч}$$

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

Определим коэффициент формы провара

Коэффициент формы провара $\Psi_{\text{пр}}$ в зависимости от основных параметров режима сварки может быть определен по формуле 4.5.

Значение коэффициента K' определяется по таблице 22, исходя из условий по формуле 4.5.

$$K' = 0{,}367 \cdot \left(\frac{750 \cdot 4}{3{,}14 \cdot 5^2} \right)^{0{,}1925} = 0{,}74$$

Оптимальное напряжение дуги $U_{\text{д}}$ может быть определено по формуле 4.4.

$$U_{д} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{5^{0,5}} \cdot 750 \pm 1 = 39 \text{ В}$$

$$\psi_{пр} = 0,74 \cdot (19 - 0,01 \cdot 750) \frac{1,6 \cdot 39}{750} = 2,21$$

Определение величины погонной энергии.

Величина погонной энергии q_n рассчитывается по формуле 4.7.

$$q_n = \frac{750 \cdot 39 \cdot 0,9}{0,75} = 35100 \text{ Дж/см}$$

Определение основных размеров шва.

Определение фактическую глубины проплавления.

Определяем глубину проплавления $h_ф$ по формуле 4.8.

$$h_ф = 7,6 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{35100}{2,21}} = 0,95 \text{ см} = 9,5 \text{ мм}$$

Определение ширины шва.

Определяем ширину шва (b) по формуле 4.9.

$$b = 2,21 \cdot 9,5 = 20,995 \text{ мм}$$

Принимаем b=21 мм.

Определение высоты валика.

Определяем высоту валика c по формуле 4.10.

$\alpha_н$ – коэффициент наплавки, определяемый по формуле 4.11.

$\alpha_р$ – коэффициент расплавления электродной проволоки, определяется по формуле 4.12.

$$\alpha_р = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{750}{5}\right) \cdot 10^{-4} = 0,00413 \text{ г/А·с}$$

$$\alpha_н = 0,00413 \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 13,38 \text{ г/А·ч}$$

$$F_н = \frac{\alpha_н \cdot I_{св}}{3600 \cdot \gamma \cdot V_{св}} = \frac{13,38 \cdot 750}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,75} = 0,47 \text{ см}$$

$$c = \frac{47}{0,73 \cdot 21} = 3,06 \text{ см}$$

Принимаем с= 3 мм.

Определение высоты шва.

Определяем высоту шва (*H)* по формуле 4.13.

$$H= 9,5+ 3=12,5 \text{ мм}$$

Определение скорости подачи проволоки.

Определяем скорость подачи проволоки по формуле 4.16.

$$V_{\text{п пр}} = \frac{4 \cdot 13,38 \cdot 750}{3,14 \cdot 5^2 \cdot 7,8} = 65,55 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{\text{п пр}}$ = 123 м/ч.

В ходе расчета режима автоматической сварки под флюсом соединения С5 были рассчитаны следующие показатели: $d_{эл}$=5 мм, $I_{св}$= 750 А, $U_д$=39 В, $V_{св}$=27м/ч, $V_{п\,пр}$ = 65,55 м/ч.

Технологические карты представлены в приложение Б.

4.8 Выбор сварочного оборудования

Для сварки резервуара и его элементов выбираем сварочный аппарат компании *Kemppi – FastMig Pulse* 450, данный аппарат можно использовать не только как *MIG/MAG*, но и как ручную дуговую сварку, что положительно сказывается экономическим отношением. Главное преимущества данного аппарата в том, что в него входит устройство дистанционного управления *R*30 которое обеспечивает управление мощностью, отображение сварочных данных или выбор каналов на расстоянии до 10 метров от механизма подачи проволоки.

Области применения:

– Судостроение и морская нефтедобыча;

– изготовление металлоконструкций;

– химическая и обрабатывающая промышленность;

– автомобилестроение, производственная сварка.

Аппарат *Kemppi – FastMig Pulse* 450 представлен на рисунке 95.

Рисунок 95 – Аппарат *Kemppi* - *FastMig Pulse* 450

Для сварки днища резервуара выбираем Автомат сварочный *КА* 1-*UP*.

Сварочный автомат для сварки под слоем флюса стыковых и угловых соединений. Оборудование для автоматической сварки комплектуется сварочным выпрямителем марки *GTH* 1402, мощностью 1400А и обеспечивает высококачественную автоматическую дуговую сварку под флюсом одной проволокой диаметрами до 6 мм. При необходимости может комплектоваться направляющим рельсом, если это требует специфика конструкции. Традиционно дуговая сварка под флюсом применяется для стыковой автоматической сварки листов, а также тавровых и двутавровых балок.

Технические характеристики аппарата *Kemppi* - *FastMig Pulse* 450 представлены в таблице 25.

Таблица 25 – Технические характеристики аппарата *Kemppi* - *FastMig Pulse* 450

Параметр	Значение	
1	2	
FastMig Pulse		*FastMig Pulse* 450
Напряжение сети	3~, 50/60 Гц	400 В (-15…+20 %)
Номинальная мощность	ПВ 60 %	22,1 кВА
	ПВ 80 %	
	ПВ 100 %	16,0 кВА

Продолжение таблицы 25

1	2	
Нагрузка при 40 °С	ПВ 60 %	450 А
	ПВ 80 %	
	ПВ 100 %	350 А
Диапазон сварочного тока и напряжения	ММА	10…450 А
	MIG	8…50 В
Макс. напряжение при сварке ММА		53 В
Напряжение холостого хода при сварке ММА		50 В
Напряжение холостого хода при сварке *MIG/MAG/Pulse*		80 В
Мощность холостого хода		100 Вт
КПД		88 %
Диапазон температуры хранения		-40…+60 °С
Диапазон рабочей температуры		-20…+40 °С
Габаритные размеры	Д х Ш х В	590 х 230 х 430 мм
Масса		36 кг

Автомат сварочный *КА* 1-*UP* представлен на рисунке 96.

Рисунок 96 – Автомат сварочный *КА* 1-*UP*

Технические характеристики сварочного аппарата *КА* 1-*UP* представлены в таблице 26.

Таблица 26 – Технические характеристики аппарата *КА* 1-*UP*

Параметр	Значение	
Технология		Сварка под слоем флюса
Максимальный сварочный ток	А	1400
Напряжение сети	В/Гц	42(переменный ток)/50
Ширина колеи	мм	265/опцион 330 или 395
Диаметр проволоки	мм	2,5-5,0
Скорость подачи проволоки	м/мин	0,1-6,1
Скорость перемещения	м/мин	0,1-2,0
Продольные и поперечные перемещения	мм	100/100
Угол поворота сварочной головки	град.	360
Угол наклона сварочной головки	град.	45 (в каждую сторону)
Сварка труб изнутри диаметрами (от)	мм	От 1500
Масса	кг	61
Масса кассеты с проволокой	кг	30
Габаритные размеры ДхШхВ	мм	1050х600х900

5. Контроль качества сварных соединений

При монтаже резервуара применяются следующие виды контроля сварных соединений:

а) механические испытания сварочных соединений пробных образцов;

б) визуальный контроль всех сварных соединений резервуара;

в) измерительный с помощью шаблонов, линеек, отвесов, геодезических приборов и т.д.;

г) контроль герметичности (непроницаемости) сварных швов с пользованием проб «мел-керосин», вакуумных камер, избыточного давления воздуха или цветной дефектоскопии;

д) физические методы - для выявления наличия внутренних дефектов: радиография или ультразвуковая дефектоскопия;

г) гидравлические и пневматические прочностные испытания конструкции резервуара.

5.1 Механические испытания

Механические испытания должны соответствовать ГОСТ 31385-2016[8].

Сварщики, допущенные к механизированной электродуговой сварке, должны сварить по два контрольных образца из стали 09Г2С ГОСТ 19281-2014 [13] и из стали Ст3сп ГОСТ 380-2005 [15]. со скосами кромок, тождественными тем, на которых будет выполняться сварка стенки на монтаже. Образцы свариваются механизированной электродуговой сваркой в среде защитного газа с присадочной проволокой Св08Г2С ГОСТ 2246-70 [20]. диаметром 1,6 мм в вертикальном и горизонтальном положениях на вертикальной плоскости. Механические свойства сварных соединений должны быть не ниже механических свойств свариваемого металла. В случае необходимости выполнения сварки при температуре воздуха ниже минус 30° С сварщики должны предварительно сварить пробные образцы при температуре

не выше, чем температура, при которой будет выполняться сварка на монтаже. При удовлетворительных результатах механических испытаний пробных образцов сварщик может быть допущен к работе при температуре воздуха на 10° С ниже температуры сварки пробных образцов.

Из сваренных контрольных пластин после просвечивания изготовить и испытать образцы для механических испытаний по ГОСТ 6996-66 [24]:

а) для испытания на статическое растяжение при температуре 20° С – три образца типа XIII;

б) для испытания на статический изгиб (загиб) при температуре 20° С – шесть образцов толщиной основного материала до 12 мм и 6 образцов толщиной основного металла свыше 12 мм типа XXVII;

в) для испытания на ударный изгиб не менее трех образцов типа IX с V – образным надрезом по оси шва и трех образцов с V – образным надрезом по линии сплавления, при температуре 0°С для образцов из стали Ст3сп и при температуре минус 20°С для образцов из стали 09Г2С.

Механические свойства металла шва должны быть не ниже свойств, обеспечиваемых применением сварочных материалов, предусмотренных проектом, и должны соответствовать требованиям СНиП II-23-81*[17]. Временное сопротивление разрыву сварных соединений должно быть не ниже временного сопротивления разрыву основного металла, указанного в сопроводительной документации на основной материал. Ударная вязкость при температуре испытания должна быть не ниже 35 Дж/см^2 (3,5 кгсм/см^2), минимальное значение угла загиба 80 для стали 09Г2С и 100 для стали Ст3сп.

5.2 Визуально измерительный контроль

Визуальный контроль по ГОСТ 3242-79 [25].

Оценка контроля качества осуществляется по ГОСТ 31358-2016 [8] и СТО - СА-03-002-2009 [9].

По внешнему виду сварные швы должны удовлетворять следующим требованием:

а) по форме и размерам швы должны удовлетворять проекту;

б) иметь гладкую или равномерно чешуйчатую поверхность (высота или глубина впадин не должна превышать 1 мм);

в) металл шва должен иметь плавное сопряжение с основным металлом;

г) швы не должны иметь недопустимых внешних дефектов.

К недопустимым внешним дефектом относятся трещины любых видов и размеров, несплавления, наплывы, грубая чешуйчатость, наружные поры и цепочки пор, прожоги и свищи.

Подрезы основного металла допустимы.

Подрезы основного металла для резервуара II-го класса резервуара допускаются не более:

а) вертикальные поясные швы и соединения стенки с днищем не более 0,3 мм;

б) горизонтальные швы между поясами стенки, 5% толщины, но не более 0,5 мм;

в) прочие соединения, 5% толщины, но не более 0,6 мм.

Длина подреза не должна превышать 10 % длины шва в пределах листа.

Выпуклость швов стыковых соединений не должна превышать:

а) при толщине листов до 12мм, вертикальных соединений – 1,5мм;

б) для прочих соединений при толщине до 12 мм – 2,0 мм;

в) при толщине листов свыше 12мм, вертикальных соединений – 2,0мм;

г) для прочих соединений при толщине свыше 12 мм – 3,0 мм.

Смещение кромок в стыковых соединениях деталей одной толщины допускаются:

а) Толщиной до 10 мм – 1,0мм;

б) смещение кромок в стыковых соединениях деталей различной толщины допускается не более 10% наименьшей толщины в соединениях.

Выпуклость или вогнутость углового шва не должна превышать более чем на 20 % величину катета шва.

Уменьшение катета углового шва допускается не более 1мм.

Увеличения катета допускается не более:

а) для катетов до 5мм – 1,0мм;

б) для катетов свыше 5мм – 2,0мм.

Визуальному контролю должны подвергаться все 100% длины сварных соединений резервуара.

5.3 Радиографический контроль

Радиографический контроль проводится по ГОСТ 7512-82 [26].

Оценка контроля качества осуществляется по ГОСТ 31385-2016 [8] и СТО - СА-03-002-2009 [9].

Радиографический контроль выполняется только после приемки сварных соединений по визуальному.

Радиографический контроль применяется для контроля:

а) Швы днища на расстоянии 250 мм от наружной кромки;

б) вертикальные швы I-го и II-го поясов 100%;

в) швы перекрестий вертикального и горизонтального шва на длине не менее 240 мм подлежат 100 % контролю.

При радиографическом контроле стыковых сварных швов стенки и стыковых швов окраек днищ количество и размещение рентгенограмм устанавливается следующим образом:

а) Все радиальные швы кольцевых окраек днищ должны контролироваться в зоне примыкания нижнего пояса стенки (один снимок на каждый радиальный шов);

б) участки вертикальных сварных соединений стенки в зонах примыкания к днищу на длине не менее 240 мм подлежат 100 % контролю;

в) при выборе зон контроля преимущественное внимание следует уделять местам пересечения швов.

5.4 Ультразвуковой контроль

Оценка контроля качества проводится по ГОСТ 31385-2016 [8], СТО - СА-03-002-2009 [9] и РД 19.100.00-КТН-545-06 [27].

Ультразвуковой контроль проводится по ГОСТ Р 55724-2013[28].

Для выявления внутренних и поверхностных дефектов в сварных швах и околошовной зоне основного металла применяют Ультразвуковой контроль (УЗК).

Оценку качества сварных швов по результатам УЗК следует выполнять в соответствие с действующими нормативными документациями.

Ультразвуковой контроль применяется для контроля:

а) Вертикальные швы, III-IX-го поясов 100%;

б) горизонтальные швы поясов 100%.

Сварные швы горизонтальные и вертикальные, в том числе места ремонта подвергают контролю все сварные швы по всей их длине с обеих сторон выпуклости 100 %.

5.5 Капиллярный метод контроля

Капиллярный метод контроля проводится по ГОСТ 3242-79 [25].

Оценка контроля качества осуществляется по ГОСТ 31358-2016 [8], СТО - СА-03-002-2009 [9].

Контролю на герметичность подлежат все сварные швы, обеспечивающие герметичность резервуара.

Контроль герметичности сварных швов с использованием капиллярной дефектоскопии следует производить после зачистки сварного шва с зашлифовкой чешуек до 4 класса чистоты.

Применяют два вида капиллярного контроля:

а) цветной;

б) проба «мел - керосин».

Капиллярный метод контроля применяют:

а) Места удаления сборочных приспособлений, сварные соединения элементов конструкции после их термической обработки (капиллярный цветной);

б) шов стенки с днищем с наружной стороны (Проба «мел - керосин»).

Проба «мел - керосин» проводится до сварки шва с внутренней стороны.

Контроль Проба «мел - керосин» проводится не менее 8 часов.

5.6 Вакуумный метод контроля

Оценка контроля качества проводится по ГОСТ 31358-2016 [8], СТО - СА-03-002-2009[9].

При вакуумном способе контроля герметичности сварных швов по ГОСТ 3242-79 [25] вакуум-камера должна создавать не менее 2,5 кПа.

Не плотность сварного шва обнаруживается по образованию пузырьков в нанесенном на сварное соединение мыльным или другом пенообразующим растворе.

Вакуумный метод контроля применяют:

а) Швы днища, швы накладок с днищем;

б) Швы днища на расстоянии 250 мм от наружной кромки;

в) Шов стенки с днищем (с внутренней стороны).

5.7 Гидравлические испытания

Оценка контроля качества проводится по ГОСТ 31358-2016 [8], СТО - СА-03-002-2009[9].

Гидравлическое испытание проводятся наливом воды на расчетный уровень налива. Налив воды осуществляется последовательно, по поясам с промежутками времени, необходимыми для выдержки и проведения контрольных осмотров.

Осмотр резервуара осуществляется не ранее, чем через 10 минут после достижения установленных испытательных нагрузок.

Испытания проводятся при температуре окружающего воздуха не ниже плюс 5°С. При испытаниях резервуаров при температуре ниже плюс 5°С должна быть разработана система по предотвращению замерзания воды в трубах, задвижках, а также обмерзания стенки резервуара.

По мере заполнения резервуара водой необходимо наблюдать за состоянием конструкций и сварных швов.

При обнаружении течи из-под края днища или появления мокрых пятен на поверхности отмостки необходимо прекратить испытание, слить воду, установить и устранить причину течи. Если в процессе испытания будут обнаружены свищи, течи или трещины в стенке резервуара (независимо от величины дефекта), испытание должно быть прекращено и вода слита до уровня:

а) при обнаружении дефекта в I поясе - полностью;

б) при обнаружении дефекта в II - VI поясах - на один пояс ниже расположения дефекта;

в) при обнаружении дефекта в VII поясе и выше - до V пояса.

Резервуар, объемом свыше 20000 $м^3$залитый водой до верхнего проектного уровня, выдерживается под этой нагрузкой не менее 72 часов.

Резервуар считается выдержавшим гидравлическое испытание, если в течение указанного времени на поверхности стенки или по краям днища не появляются течи и если уровень воды не снижается [9].

6. Выбор и модернизация средств технологического оснащения

Разметка днища осуществляется с помощью замерного устройства, которое состоит из рамы, рулетки и чертилки. С помощью этого устройства размечается основание (фундамент) под монтаж окраек и окрайки для последующего монтажа стенки резервуара. Замерное устройство представлено на рисунке 97.

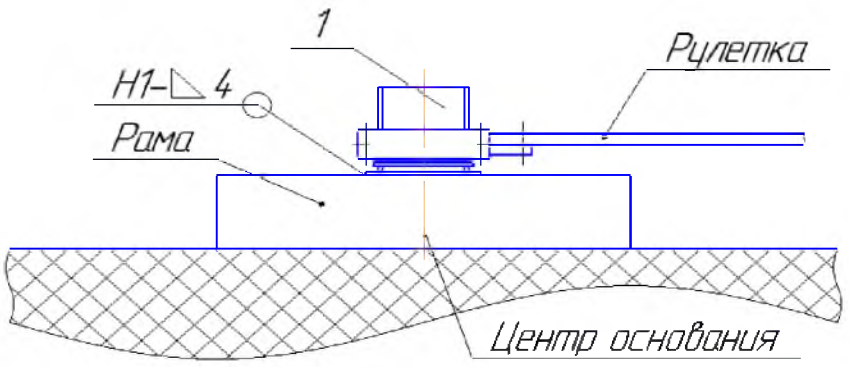


Рисунок 97 – Замерное устройство: 1 – замерное устройства

При монтаже окраек днища прижим окраек осуществляется за счет скобы позиция 2 и клина позиция 3 рисунок 98.

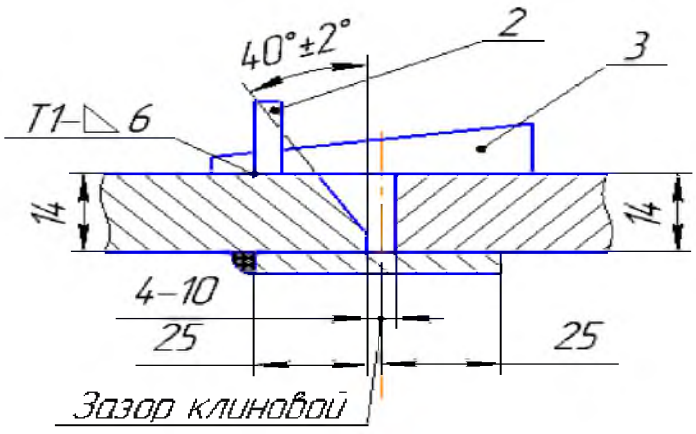


Рисунок 98 – Прижим окраек: 2 – скоба; 3 – клин

Фиксация зазора между окраек днища осуществляется с помощью гребенок, рисунок 99, позиция 4.

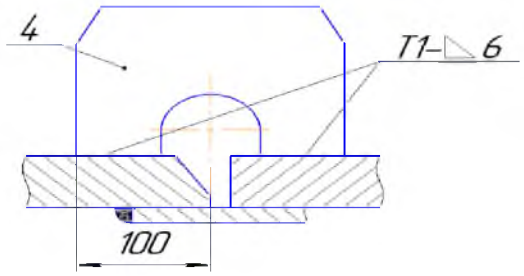


Рисунок 99 – Гребенка: 4 – гребенка

Прижим центральной части днища также осуществляется за счет скобы и клина. Прижим центральной части днища представлен на рисунке 100.

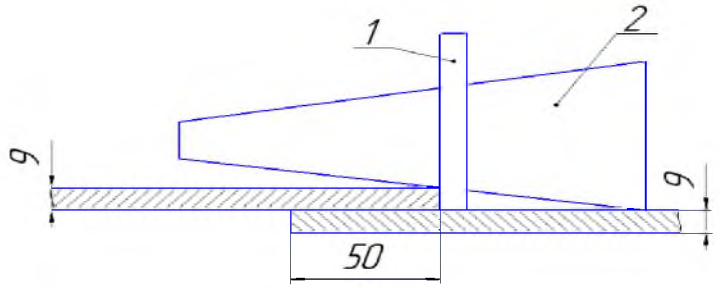


Рисунок 100 – Прижим центральной части днища: 1 – скоба; 2 – клин

Для уменьшения деформации и образования «хлопунов» при сварки днища резервуара применяется прижимной швеллер. Прижимной швеллер представлен на рисунке 101.

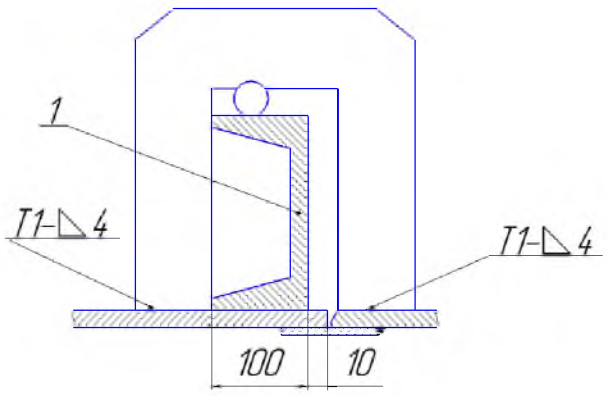


Рисунок 101 – Прижимной швеллер: 1 – швеллер

Для того чтобы не возникло проблем с установкой листа первого пояса строго по ограничительной линии к днищу привариваются ловители. Ловители представлены на рисунке 102.

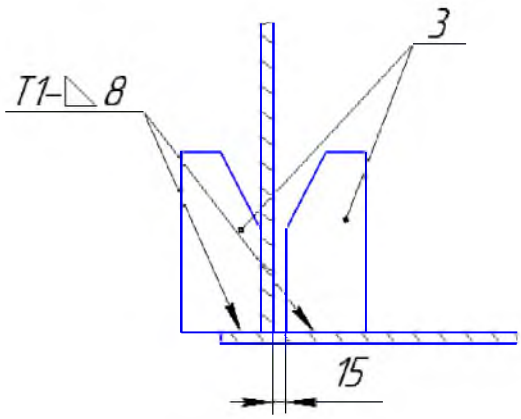


Рисунок 102 – Ловители: 3 – ловители

Для избежание деформаций и отклонений от вертикали листа первого пояса стенки при сварке используются пластины, которые привариваются с внутренней стороны стенки резервуара. Пластина для избежание деформаций представлена на рисунке 103.

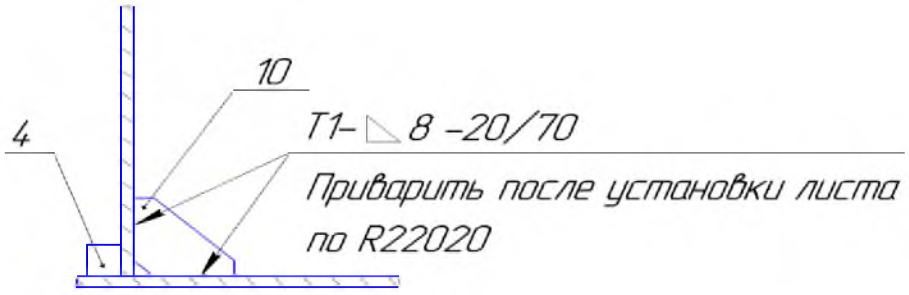


Рисунок 103 – Пластина: 4 – ограничительный уголок; 10 – пластина

Прижим листов к ловителям и ограничительным уголкам (поз.4) осуществляется за счет домкрата, позиция 9. Прижимной домкрат представлен на рисунке 104.

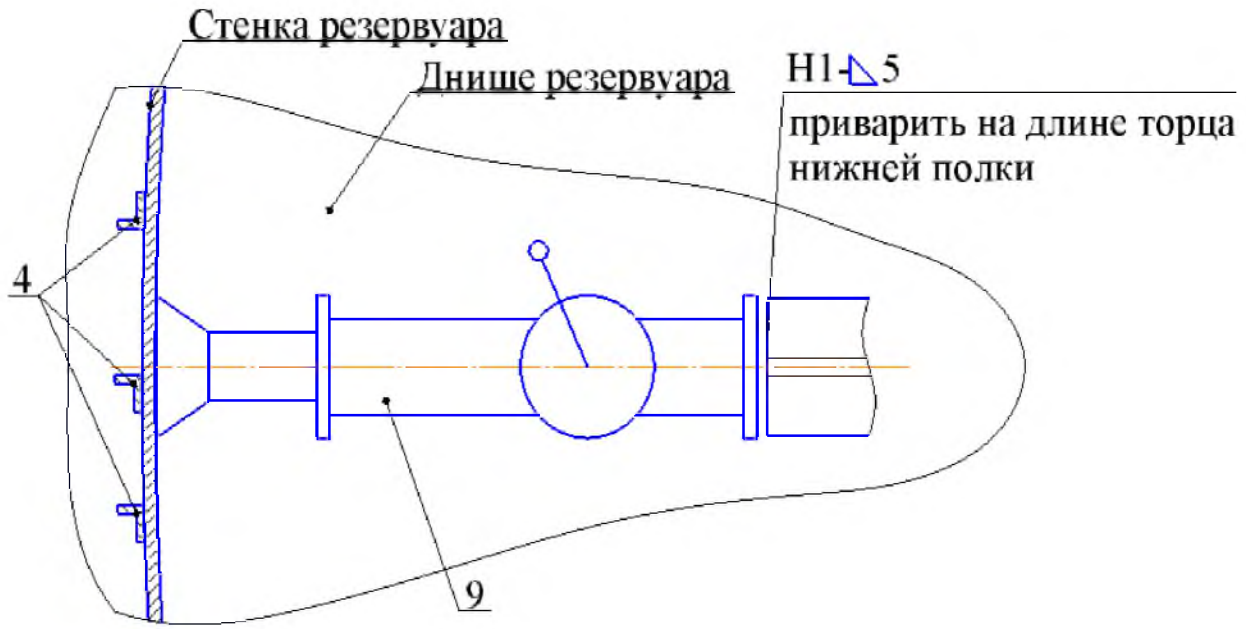


Рисунок 104 – Домкрат для прижатия листов стенки к уголкам: 4 – ограничительные уголки; 9 – прижимной швеллер

Отклонения листов от вертикали контролируется с помощью отвесов позиция 6 и кронштейна позиция 5. Отвес представлен на рисунке 105.

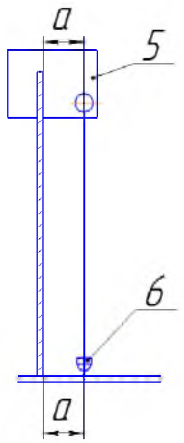


Рисунок 105 –Проверка вертикальности поясов стенки

Точное и жесткое выставления листов первого пояса по вертикали осуществляется за счет подкосов (поз.7) и талреп (поз.8) рисунок 106.

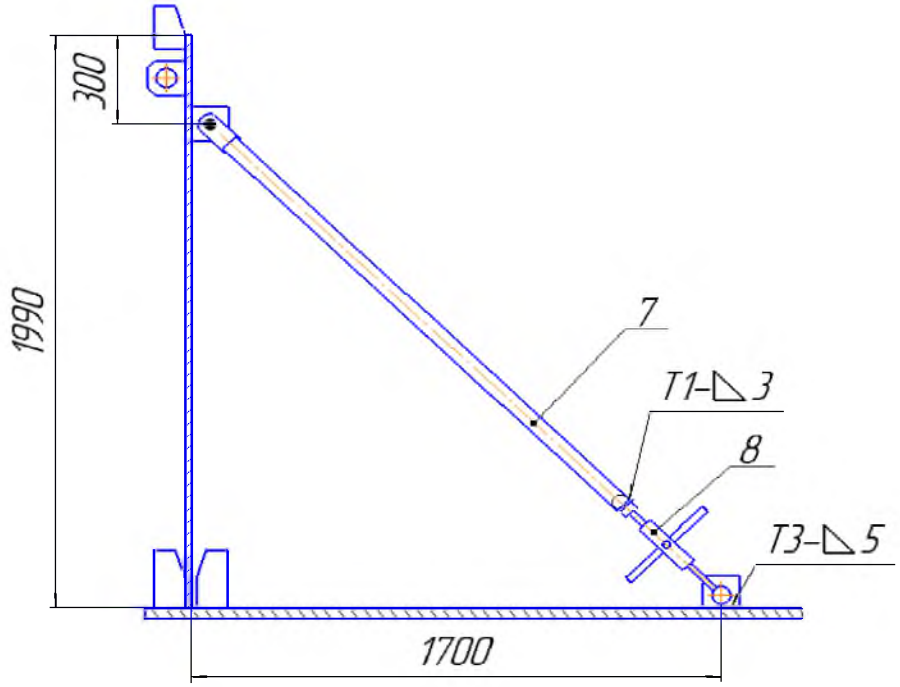


Рисунок 106 – Сборочное приспособление для ориентации в вертикальное положение первого пояса резервуара: 7 – подкосы; 8 – талреп

Выставления листов второго и последующих поясов стенки в вертикальное положение осуществляется за счет кронштейна и расчалок. Расчалки представлены на рисунке 107.

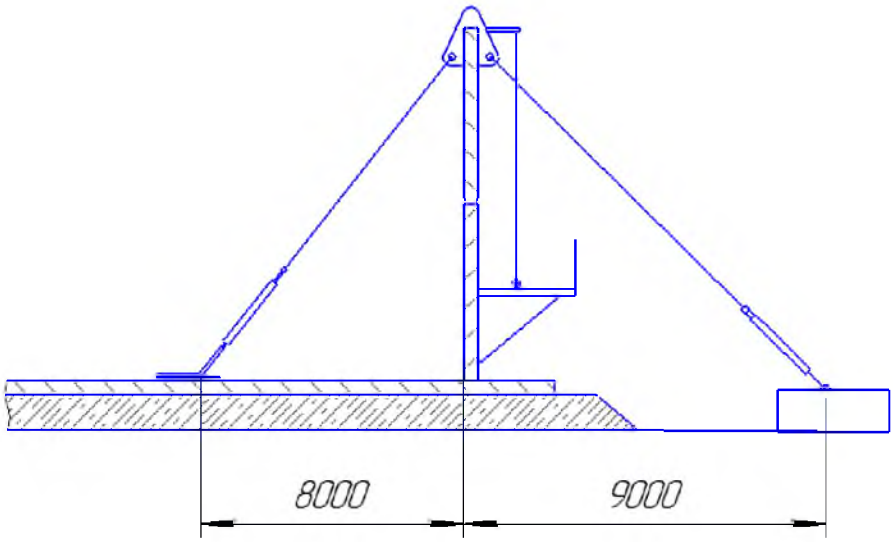


Рисунок 107 –Расчалки

Для сборки вертикальных и горизонтальных стыков применяется сборочное приспособление. Сборочное приспособление представлено на рисунке 108.

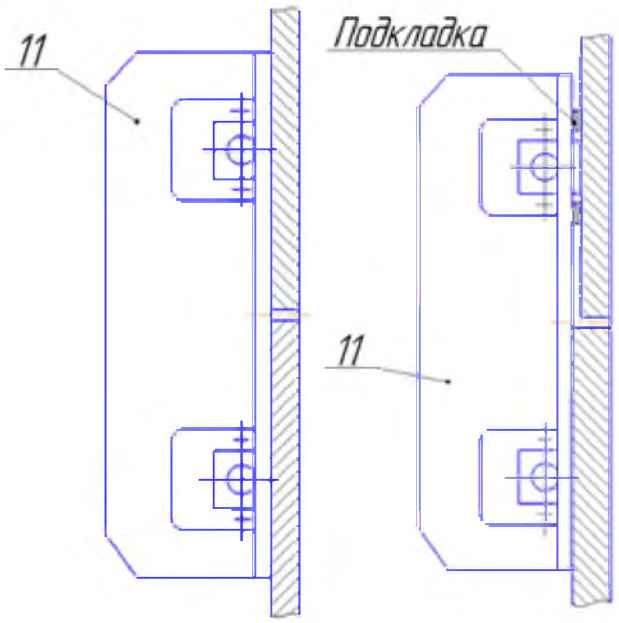


Рисунок 108 – Сборочное приспособление: 11 – сборочное приспособление

6.1 Расчет технологической оснастки в программе SolidWorks

6.1.1 Расчет сборочного приспособление для ориентации в вертикальное положение первого пояса резервуара

Расчет сборочного приспособления проводится в программе *SolidWorks* в приложение *simulation*.

Сборочное приспособление смотри рисунок 106.

Исходные данные:

а) Нагрузка 25000 Н, статическая;

б) Прокат – труба диаметром 57, толщина стенки 3 мм, длина 2000мм;

в) Материал Ст3сп (аналог Евросоюз 1.0114);

Результат расчета представлен на рисунке 109 и в приложение В.

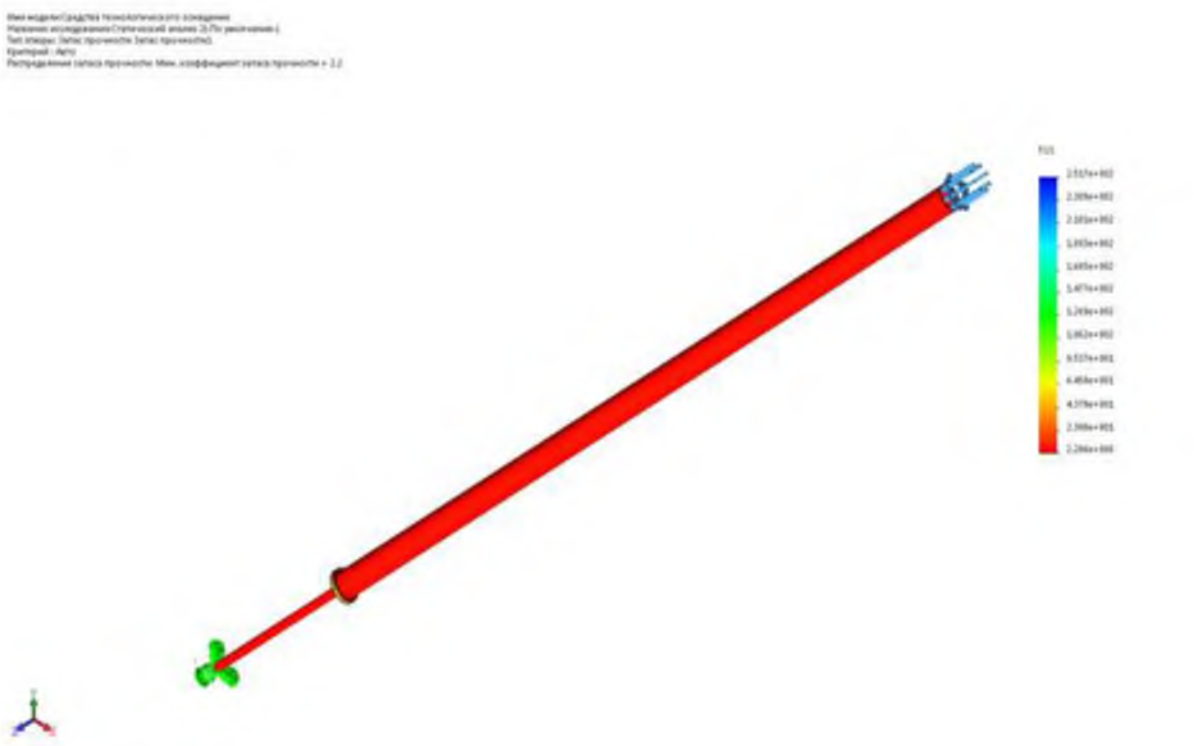


Рисунок 109 – Результат расчета

Вывод: Результат расчета показал, что минимальный коэффициент запас прочности составляет 2.2 и полностью удовлетворяет всем требованиям предъявляемым данной технологической оснастки.

Заключение

В результате проделанной работы нам удалось рассчитать и спроектировать резервуар вертикальный цилиндрический 27 тыс. $м^3$ (РВС-27000). Расчет производился с учетом оптимальности параметров резервуара, с точки зрения эффективности метало затрат.

По расчетным параметрам резервуара был произведен расчет на прочность и устойчивость, который показал соответствие резервуара предъявляемым требованиям.

Была подробно рассмотрена технология сборки, и сварки изделия в которой рассмотрены заготовительные операции и оценка качества изделия.

Был произведен выбор и обоснования способов сборки и сварки изделия и ее основных частей, а именно сборка и сварка окраек днища, центральной части днища и стенки резервуара состоящая из 9-ти поясов.

Выбор сварочных материалов производился на основе основных материалов и в соответствие рекомендациям нормативно технической документации.

Сварочное оборудование было выбрано на основании режимов сварки и продолжительности нагрузки при максимальных режимах сварки.

Контроль качества сварных швов полностью выполняется на основе нормативно технической документации.

В ходе разработки технологии сборки и сварки корпуса резервуара и для расчета технологической оснастки применялась современная программа *SolidWorks* с помощью, которой проектировалось, и рассчитывались элементы конструкции вертикального цилиндрического резервуара.

Список использованных источников

1. **Патентные исследования. Содержание и порядок проведения.** [Текст]: ГОСТ Р 15.011-96. - Введ. 30-06-1996. - М.: Госстандарт России, 1996. - 13 с.: ил.

2. **Федеративный институт Промышленной Собственности** [Электронный ресурс] / Реестр изобретений Рос. федерации: [Сайт]. *URL*: *http://www1.fips.ru* (дата обращения: 07.02.2018).

3. **Цилиндрическая рулонируемая обечайка** [Текст]: пат. 1481361 СССР: МПК Е 04 Н 7/06/ Дидковскова О.В.; заявитель и патентообладатель Моска, науч. - ислед. и констр. - технол. ин-т «вниктисталькострукция». - № 4148585; заявл. 20.11.86; опубл. 23.05.89, Бюл. № 19. – 4 с: ил.

4. **Устройство для монтажа рулонных резервуаров со ступенчатыми монтажными стыками стенки** [Текст]: пат.2553808 Рос. Федерация: МПК Е 04 Н 7/04/ Курышева А.Е.; заявитель и патентообладатель Моска, ОАО Транснефть и ин-т. по прокт. магистр. трубо-дов. - №2013151629/03; заявл. 20.11.2013; опубл. 20.06.2015, Бюл. № 17. – 3 с: ил.

5. **Способ возведения металлических емкостей из рулонных заготовок** [Текст]: пат.2250331 Рос. Федерация: МПК Е 04 Н 7/06/ Денисова А.П, Ращепкина С.А, Ращепкина А.А.; заявитель и патентообладатель Балаково, гос. тех. ин-т. - № 2003126082/03; заявл. 25.08.2003; опубл. 20.04.2005, Бюл. № 11. – 2 с: ил.

6. **Устройство для ремонта резервуара** [Текст]: пат.2196210 Рос. Федерация: МПК Е 04 Н 7/06/ Кулибаева Т.А, Мамонова Ф.А, Аймурзаева Е.А; заявитель и патентообладатель Уфа, ин-т. транспорта энергоресурсов. - № 2000101635/03; заявл. 20.01.2000; опубл. 10.01.2003, Бюл. № 1. – 2 с: ил.

7. **Способ ремонта вертикальной стенки вертикального стального резервуара**[Текст]: пат.2559987 Рос. Федерация: МПК Е 04 Н 7/06/ Курышева А.Е.; заявитель и патентообладатель Моска, ОАО Транснефть и ин-т. по прокт.

магистр. трубо-дов. - № 2013152067/03; заявл. 22.11.2013; опубл. 10.06.2015, Бюл. № 16. – 4 с: ил.

8. **Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия.** [Текст]: ГОСТ 31385-2016. - Введ. 03-01-2016. - М.: Изд-во стандартов, 2016. - 88 с.: ил.

9. **Правила проектирования, изготовления и монтажа вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов** [Текст]: СТО-СА 03-002-2009. - Введ. 01-07-2009. - М.: Изд-во ООО НПК Изотермик, 2009. - 203 с.: ил.

10. **Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры** [Текст]: ГОСТ 14771-76. - Введ. 30.06.1977. - М.: Изд-во стандартинформ, 2007. – III, 37 с.: ил.

11. **Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры** [Текст]: ГОСТ 8713-79. - Введ. 01.01.1981. - М.: Изд-во стандартинформ, 2007. - IV, 40 с.: ил.

12. **Прокат листовой горячекатаный. Сортамент** [Текст]: ГОСТ 19903-2015. - Введ. 01.09.2015. - М.: Изд-во стандартинформ, 2016. - 9 с.

13. **Прокат повышенной прочности. Общие технические условия.** [Текст]: ГОСТ 19281-2014. - Введ. 01.01.2015. - М.: Изд-во стандартинформ, 2015. - IV, 16 с.

14. **Прокат листовой из углеродистой, низколегированной и легированной стали для котлов и сосудов, работающих под давлением. Технические условия** [Текст]: ГОСТ 5520-79. - Введ. 01.01.1980. - М.: Изд-во стандартов, 2003. - 46 с.

15. **Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки** [Текст]: ГОСТ 380-2005. - Введ. 01.07.2005. - М.: Изд-во стандартинформ, 2009. - I, 8 с.

16. **Нормы проектирования стальных вертикальных резервуаров для хранения нефти объемом 1000-50000 м^3** [Текст]: РД 16.01-60.30.00-КТН-026-1-04. - Введ. 21.04.2004. - М.: Изд-во ОАО "АК "Транснефть", 2004. - II, 193 с.: ил.

17. **Стальные конструкции. Нормы проектирования** [Текст]: СНиП II-23-81*. - Введ. 01.01.1982. - М.: Изд-во Госстрой России, 2011. - I, 166 с.

18. **Инструкция по диагностике и оценке остаточного ресурса вертикальных стальных резервуаров** [Текст]: РД 153-112-017-97. - Введ. 01.07.1997. - М.: Изд-во ОАО "АК «Транснефтепродукт», 1997. - 71 с.: ил.

19. **Строительные нормы и правила нагрузки и воздействия** [Текст]: СНиП 2.01.07-85*. - Введ. 01.01.1987. - М.: Изд-во ОАО «ЦПП», 2005. - I, 44 с.

20. **Проволока стальная сварочная. Технические условия** [Текст]: ГОСТ 2246-70. - Введ. 01.01.1973. - М.: Изд-во стандартинформ, 2008. - V, 17 с.

21. **Государственный стандарт союза ССР. Двуокись углерода газообразная и жидкая. Технические условия.** [Текст]: ГОСТ 8050-85. - Введ. 01.01.1987. - М.: Изд-во стандартов, 1995. - II, 22 с.

22. **Флюсы сварочные плавленые. Технические условия** [Текст]: ГОСТ 9087-81. - Введ. 01.01.1982. - М.: Изд-во стандартов, 2002. - II, 10 с.

23. **Инженерно-технологические основы подготовки сварочного производства**: учеб. пособие / А.Е. Гордиевский, А. Е. Розен, С.Г. Усатый [и др.]. - Пенза: Изд-во ПГУ, 2010. -276 с.: ил.

24. **Межгосударственный стандарт. Сварные соединения. Методы определения механических свойств** [Текст]: ГОСТ 6996-66. - Введ. 01.01.1967. - М.: Изд-во стандартинформ, 2005. - IV, 64 с.: ил.

25. **Межгосударственный стандарт. Сварные соединения. Методы контроля качества** [Текст]: ГОСТ 3242-79. - Введ. 01.01.1981. - М.: Изд-во стандартов, 2002. - I, 7 с.

26. **Межгосударственный стандарт. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод** [Текст]: ГОСТ 7512-82. - Введ. 01.01.1984. - М.: Изд-во стандартинформ, 2008. - I, 18 с.: ил.

27. **Ультразвуковой контроль стенки и сварных соединений при эксплуатации и ремонте вертикальных стальных резервуаров** [Текст]:

РД 19.100.00-КТН-545-06. - Введ. 21.01.2006. - М.: Изд-во ОАО «АК «Транснефть», 2006. - 55 с.: ил.

28. **Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые** [Текст]: ГОСТ Р 55724-2013. - Введ. 01.07.2015. - М.: Изд-во стандартинформ, 2014. - 24 с.: ил.