

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование)

15.04.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Производство и ремонт сварных конструкций газонефтехимического  
оборудования

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему: Технология приварки штуцера к корпусу аппарата ГЭЭ-1 с  
минимальными деформациями

Обучающийся

М.А. Фуфаев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный  
руководитель

к.т.н., доцент, Г.М. Короткова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2024

## Содержание

Введение.....	3
1 Анализ исходных данных .....	5
1.1 Описание конструкции емкостного аппарата для сбора конденсата вакуум создающей системы ГЭЭ-1.....	5
1.2 Свойства материала емкостного аппарата ГЭЭ-1.....	24
1.3 Дефекты сварки корпуса емкостного аппарата.....	28
1.4 Влияния нагрева околошовной зоны на деформацию кромок при сварке.....	31
1.5 Анализ способов снижения коробления корпуса из ст.12Х18Н9Т толщиной (8-12) мм.....	40
2 Методика проведения экспериментальных работ по снижению деформаций при сварке штуцера к корпусу аппарата ГЭЭ-1.....	48
2.1 Материал обечайки и штуцера, тип соединения.....	48
2.2 Способ сварки и оборудование.....	49
2.3 Средства контроля.....	53
3 Исследование влияния параметров режима и технологических приемов на деформации после приварки штуцера к корпусу.....	55
3.1 Влияние параметров режимов механизированной сварки плавящимся электродом на деформации после приварки штуцера.....	55
3.2 Влияние технологических приемов на деформации кромок.....	58
4 Проектирование технологии приварки штуцера к корпусу аппарата ГЭЭ-1 с охлаждением шва .....	61
Заключение.....	67
Список используемых источников .....	71

## Введение

В ООО «ПТИМАШ» разработана конструкция аппарата для сбора конденсата вакуум создающей системы типа ГЭЭ-1 горизонтального и вертикального исполнения.

Аппараты типа ГЭЭ-1- это сложная сварная емкостная конструкция. Корпус аппарата выполнен из высоколегированной стали 12Х18Н9Т с внутренним диаметром  $d = 3000$ мм, длиной 11715 мм. Сварка аппарата осуществляется в соответствие с руководящей документацией РД 26-18-8-89 на изготовление аппаратов типа ГЭЭ-1 [17].

Известно, что при сварке емкостных аппаратов из ст. 12Х18Н9Т с толщиной стенок до 12 мм возникают деформации, которые необходимо снизить.

Устранение деформаций при сварке емкостного оборудования из ст. 12Х18Н9Т является актуальной проблемой для ООО «ПТИМАШ», ведущей организации по изготовлению емкостных аппаратов в России.

Целью работы является, изучив особенности конструкции аппарата ГЭЭ-1, снизить деформации кромок при сварке емкостного аппарата.

Поэтому работа по снижению деформации кромок при сварке емкостного аппарата аппарата ГЭЭ-1 весьма актуальна.

Конструкция аппарата для сбора конденсата вакуум создающей системы типа ГЭЭ-1 – это сложная сварная конструкция. Корпус аппарата выполнен из 3-х отдельно сваренных обечаяк шириной  $l_1=1500$  мм и 3-х обечаяк шириной  $l_2=2000$  мм с внутренним диаметром  $d = 3000$ мм; 2-х днищ, 38 штуцеров различных диаметров.

Рассмотрев стыковые и угловые швы конструкции, сосредоточим внимание на приварку штуцера диаметром 600 мм из стали 12Х18Н10Т толщиной 10 мм к корпусу аппарата типа ГЭЭ-1 также из стали 12Х18Н10

толщиной корпуса 10 мм угловым швом, где возникает наибольшие деформации кромок после сварки. Величина в некоторых случаях достигает 15 мм, что не допускается конструкторской документацией на из изготовления аппарата ГЭЭ-1.

Исследования сварки штуцера к корпусу аппарата ГЭЭ-1 проводилось не посредственно в условия производства емкостного оборудования завода ООО «ПТИМАШ» город Димитровград.

Работа заключается в определении влияния рабочих параметров режима механизированной сварки плавящимся электродом сплошного сечения в среде смеси защитных газов и методов охлаждения многослойного шва при сварки стали 12Х18Н10Т.

Проведен анализ конструкции емкостного аппарата для сбора конденсата вакуум создающей системы ГЭЭ-1(рисунок 4), изучены свойства материала емкостного аппарата ГЭЭ-1 из стали 12Х18Н10Т, изучены дефекты сварки корпуса емкостного аппарата и влияния нагрева околошовной зоны на деформацию кромок при сварке.

Проведен анализ способов сварки, снижающих коробления корпуса из ст.12Х18Н9Т толщиной (8-12) мм. Однако при большой номенклатуре диаметров штуцеров вварку целесообразно производить механизированной сваркой.

Разработана методика проведения экспериментальных работ по снижению деформаций при сварке штуцера к корпусу аппарата ГЭЭ-1 с учетом материала обечайки и штуцера при угловом соединении механизированной сварки плавящимся электродом сплошного сечения в среде смеси защитных газов. В процессе контроля использованы амперметр, вольтметр, расходомер защитного газа, набор измерительного инструмента для визуально-измерительного контроля.

## **1 Анализ исходных данных**

### **1.1 Описание конструкции емкостного аппарата для сбора конденсата вакуум создающей системы ГЭЭ-1**

#### **1.1.1 Назначение аппарата**

**1.1.1.2** Аппарат предназначен для сбора конденсата вакуум создающей системы.

**1.1.1.3** «Аппарат может эксплуатироваться в условиях макроклиматических районов с умеренным, холодным и тропическим климатом. Климатическое исполнение «УХЛ», категории размещения изделия 1 по ГОСТ 15150-69» [33].

**1.1.1.4** Аппарат может применяться в географических районах с сейсмичностью не более 5 баллов по 12-ти балльной шкале MSK-64.

#### **1.1.2 Техническая характеристика**

**1.1.2.1** Техническая характеристика приведена в таблице 1.

**1.1.2.2** Требованиям к средам.

«Рабочие среды, используемые при работе аппарата, должны отвечать требованиям нормативно-технической документации, утвержденной в установленном порядке» [33].

«Использование аппарата при средах, отличающихся от установленных в настоящем руководстве, допускается по отдельному согласованию с разработчиком (изготовителем) аппарата» [33].

**1.1.2.3** Материальное исполнение аппарата.

Материалы для изготовления аппарата выбраны в соответствии с параметрами, приведенными в технической характеристике (таблица 2), и соответствуют требованиям ГОСТ 34347-2017.

**1.1.3** Состав, устройство и работа

**1.1.3.1** Схема аппарата приведена в рисунке 1.

«Аппарат представляет собой горизонтальный цилиндрический сосуд с внутренним диаметром 3000 мм с эллиптическими днищами на седловых опорах. Аппарат снабжен технологическими штуцерами, согласно таблице 3» [33].

«На корпусе аппарата предусмотрены строповые устройства для проведения погрузо-разгрузочных работ, подъема и установки аппарата в проектное положение» [33].

**1.1.3.2** При проектировании аппарата учтены требования к его конструкции в соответствии с разделом IV ГОСТ 34347-2017.

**1.1.3.3** Аппарат устанавливается горизонтально на существующий фундамент.

**1.1.3.4** Выбор толщин элементов корпуса подтвержден расчетами на прочность, выполненным в соответствии с ГОСТ 34233.1-2017, ГОСТ 34233.4-2017.

**1.1.3.5** Аппарат является статическим оборудованием.

**1.1.3.6** «Эксплуатацию аппарата проводить в соответствии с инструкцией по режиму работы и безопасному обслуживанию сосуда, технологическим регламентом» [33].

**1.1.4** Средства измерения, инструмент и принадлежности.

**1.1.4.1** «Для контроля технологического процесса должны использоваться стандартные средства измерения (контрольно-измерительные приборы и средства автоматики), предусмотренные проектом на технологическую установку» [33].

**1.1.4.2** Контроль за технологическим режимом проводить по приборам на щите с дублированием показателей (в период пуска - наладочных работ) по приборам, установленным по месту.

**1.1.4.3** Выбор средств измерения осуществляется при разработке детального проекта установки в зависимости от рабочих параметров среды и условий эксплуатации.

Таблица 1 - Техническая характеристика аппарата для сбора конденсата вакуум создающей системы

<b>Технические характеристики</b>				
Назначение	Аппарат предназначен для сбора конденсата вакуум создающей системы			
<b>Параметры</b>		<b>Значение</b>		
		Емкость	Подогреватель	
Вместимость, м <sup>3</sup>		80	0,065	
Внутренний диаметр, мм		3000	-	
Группа аппарата по ГОСТ 34.34.7-2017		1	3	
Категория аппарата по ТР ТС 032/2013		2		
Давление, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	Рабочее (изд.)	0,07 (0,7)	до 10 (10,0)	
	Расчетное (изд.)	0,4 (4,0)	16 (16,0)	
	Пробное	в вертикальном положении	-	-
		в горизонтальном положении	0,6 (6,0)	2,5 (25,0)
Пар для пропарки**	Рабочее (изд.)	1,7**	-	
	Расчетное (изд.)	2,13**	-	
Температура, °С	Рабочая среды	60	70-120	
	Расчетная стенки	200	200	
	Минимальная допустимая температура стенки сосуда, находящегося под расчетным давлением, °С		минус 40	минус 40
	Пар для пропарки**	Рабочая	267	-
Расчетная		350	-	
Наименование рабочей среды		Кислая вода, нефтепродукт, следы H <sub>2</sub> S	Вода теплофикационная	
Характеристика рабочей среды	Класс опасности по ГОСТ 12.1.007-76	4	-	
	категория и группа взрывоопасной смеси по ГОСТ 316.10.20-1-2020	ИВ-Т3	-	
	Взрывоопасность	да	нет	
	Пожараопасность	да	нет	
	Группа рабочей среды по ТР ТС 032/2013	1	2	
	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1000	1000	
Прибавка для компенсации коррозии, мм		нет	2,0	
Назначенный срок службы, лет		20		
Необходимость термообработки		нет		
Объем контроля сварных швов радиографическим или ультразвуковым методом		100 %		
Число циклов нагружения за весь срок службы, не более		1000		
Межремонтный пробег, лет		6		
Условия хранения и эксплуатации	Климатическое исполнение по ГОСТ 15150-69		УХЛ1	
	Сейсмичность по СП 14.133.30.2014		не более 5	
	Ветровой район по СП 20.133.30.2016		II	
	Средняя температура воздуха наиболее холодных суток района установки аппарата с обеспеченностью Q,92		минус 40	
Абсолютная минимальная окружающего воздуха		минус 49		
Масса сосуда, кг	пустого	15500		
	при гидростытании	95500		
**Пропарку аппарата осуществлять с открытыми воздушниками.				

1.1.4.4 Средства измерения должны быть опломбированы и иметь клеймо, удостоверяющее их пригодность к использованию.

Таблица 2 – Материальное исполнение аппарата ГЭЭ-1

<i>Наименование элементов</i>		<i>ГОСТ, ТУ</i>
<i>Обечайка корпуса, днища, опорные листы, обечайки люков, крышки люков, заглушки фланцевые, крепление внутренних устройств</i>		<i>Лист 12Х18Н10Т по ГОСТ 7350-77 зр. М28</i>
<i>Приварные и ответные фланцы штуцеров и люков</i>		<i>Поковка Гр. IV ГОСТ 25054-81 Сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-2014</i>
<i>Заглушки штуцеров Н1,Н2,ЛЕ1-ЛЕ12,РЕ1,РЕ2</i>		<i>Сталь 20 ГОСТ 1577-93</i>
<i>Патрубки штуцеров</i>		<i>Труба 12Х18Н10Т по ГОСТ 9941-81</i>
<i>Теплообменное устройство</i>		<i>Труба 09Г2С ГОСТ 32528-2013</i>
<i>Опоры, строповые устройства</i>		<i>Лист 09Г2С-15 ГОСТ 5520-2017/ ГОСТ 19281-2014</i>
<i>Прокладки</i>	<i>штуцеров</i>	<i>ПУТГ ТУ 5728-006-93978201-2008</i>
	<i>люков</i>	<i>ПУТГм ТУ 5728-013-93978201-2008</i>
<i>Крепежные изделия</i>	<i>шпильки/гайки</i>	<i>штуцеров</i> <i>Сталь 09Г2С ГОСТ 19281-2014</i>
		<i>люков</i> <i>Сталь 40Х ГОСТ 4543-2016/Сталь 09Г2С ГОСТ 19281-2014</i>
	<i>Наружный крепеж фланцевых соединений с цинковым хромированным покрытием (код 019) ГОСТ 1759.0-87 Твердость гаек должна быть ниже твердости шпилек не менее чем на 15НВ.</i>	

1.1.4.5 «Для выполнения работ по техническому обслуживанию необходимо иметь:

- для проведения цветной дефектоскопии набор дефектоскопических материалов, инструмента и принадлежностей согласно ОСТ 26-5-99,
- для проведения толщинометрии ультразвуковой толщиномер с точностью измерений  $\pm 0,1$  мм,
- поршневой насос, обеспечивающий создание необходимого пробного давления при гидроиспытании,
- для замера давления при гидроиспытании два манометра, класс точности 2,5,
- набор искробезопасного инструмента» [33].

### **1.1.5 Использование сосуда**

**1.1.5.1** Порядок действия обслуживающего персонала при выполнении задач применения сосуда.

«Обслуживающий персонал должен в своих действиях руководствоваться требованиями технологического регламента и инструкции по режиму работы и безопасному обслуживанию сосуда» [33].

#### **1.1.5.2 Режимы работы сосуда.**

##### **1.1.5.2.1 Ввод сосуда в эксплуатацию (пуск).**

Пуск сосуда производить в соответствии с инструкцией по режиму работы и безопасному обслуживанию сосуда, технологическим регламентом.

Перед пуском провести удаление воздуха из аппарата продувкой инертным газом (азотом).

##### **1.1.5.2.2 Рабочий режим.**

«Режим работы оборудования должен поддерживаться в соответствии с требованиями технологического процесса в пределах параметров, приведенных в технической характеристике на аппарат. Параметры работы оборудования должны регистрироваться в сменном журнале» [33].

Контроль работоспособности сосуда осуществляется в соответствии с требованиями.

### 1.1.5.2.3 Плановая остановка.

«Остановку сосуда производить в соответствии с инструкцией по режиму работы и безопасному обслуживанию сосуда, утверждённой в установленном порядке и технологическим регламентом» [33].

### 1.1.5.3 Порядок контроля работоспособности сосуда.

Правильность работы аппарата определяется по показаниям термометров и манометров, контролирующих параметры сред.

Таблица 3 – Таблица штуцеров

<i>Обозн</i>	<i>Назначение</i>	<i>Кол-во шт</i>	<i>Условный проход Ду, мм</i>	<i>Условное давление Ру, МПа</i>
<i>Н1,Н2</i>	<i>Вход теплоносителя</i>	<i>2</i>	<i>25</i>	<i>16</i>
<i>НО1,НО2</i>	<i>Выход теплоносителя</i>	<i>2</i>	<i>25</i>	<i>16</i>
<i>11</i>	<i>Вход конденсата</i>	<i>1</i>	<i>150</i>	<i>16</i>
<i>12</i>	<i>Вход конденсата</i>	<i>1</i>	<i>150</i>	<i>16</i>
<i>13</i>	<i>Вход конденсата</i>	<i>1</i>	<i>100</i>	<i>16</i>
<i>14</i>	<i>Вход конденсата</i>	<i>1</i>	<i>80</i>	<i>16</i>
<i>15</i>	<i>Вход конденсата</i>	<i>1</i>	<i>80</i>	<i>16</i>
<i>16</i>	<i>Вход конденсата</i>	<i>1</i>	<i>150</i>	<i>16</i>
<i>17</i>	<i>Вход конденсата</i>	<i>1</i>	<i>150</i>	<i>16</i>
<i>LE1-LE12</i>	<i>Для камеры уровня</i>	<i>12</i>	<i>50</i>	<i>4,0</i>
<i>01</i>	<i>Дренаж</i>	<i>1</i>	<i>50</i>	<i>16</i>
<i>02,03</i>	<i>Дренаж</i>	<i>2</i>	<i>50</i>	<i>16</i>
<i>04</i>	<i>Выход к насосу</i>	<i>1</i>	<i>100</i>	<i>16</i>
<i>05</i>	<i>Выход нефтепродукта</i>	<i>1</i>	<i>80</i>	<i>16</i>
<i>06</i>	<i>Аварийный перелив</i>	<i>1</i>	<i>200</i>	<i>16</i>
<i>МН1,МН2</i>	<i>Люк-лаз</i>	<i>2</i>	<i>600</i>	<i>16</i>
<i>PE1</i>	<i>Манометр</i>	<i>1</i>	<i>50</i>	<i>4,0</i>
<i>PE2</i>	<i>Для датчика давления</i>	<i>1</i>	<i>50</i>	<i>4,0</i>
<i>TE</i>	<i>Для датчика температуры</i>	<i>1</i>	<i>50</i>	<i>4,0</i>
<i>V</i>	<i>Воздушник</i>	<i>1</i>	<i>100</i>	<i>16</i>
<i>UC1</i>	<i>Для пропарки</i>	<i>1</i>	<i>50</i>	<i>16</i>
<i>UC2</i>	<i>Для пропарки</i>	<i>1</i>	<i>50</i>	<i>16</i>

#### **1.1.5.4 «Действия в экстремальных условиях.**

При возникновении экстремальных ситуаций, таких как:

- возникновение пожара, непосредственно угрожающего сосуду,
- отказ систем, способный привести к возникновению опасных аварийных ситуаций, в том числе обнаружение в сосуде и его элементах неплотностей, выпучин, разрыва прокладок,
- попадание в аварийные условия эксплуатации (нарушение технологического режима),
- экстренная эвакуация обслуживающего персонала.

Следует немедленно остановить сосуд в соответствии с инструкцией по режиму работы и безопасному обслуживанию сосуда и инструкцией по аварийной остановке производства» [33].

#### **1.1.6 Техническое обслуживание. Общие указания**

**1.1.6.1** «Проверка технического состояния сосуда и его обслуживание должны проводиться в соответствии с требованиями инструкции по режиму работы и безопасному обслуживанию сосуда и требованиями безопасности» [33].

**1.1.6.2** «Техническое обслуживание является основным и решающим профилактическим мероприятием, необходимым для обеспечения надёжной работы сосуда между плановыми ремонтами и сокращения общего объёма ремонтных работ» [33].

#### **1.1.7 Виды технического обслуживания:**

- ежесменное техническое обслуживание,
- надзор за техническим состоянием,
- техническое освидетельствование.

#### **1.1.8 Меры безопасности при техническом обслуживании**

**1.1.8.1** Обслуживающий персонал обязан строго соблюдать правила по технике безопасности при обслуживании сосуда и иметь средства индивидуальной защиты.

**1.1.8.2** «Сосуд, подлежащий вскрытию для внутреннего осмотра, ремонта или очистки, должен быть остановлен, охлаждён (отогрет), освобождён от заполняющей его рабочей среды, отключён заглушками от трубопроводов, соединяющих сосуд с источником давления или с другими сосудами, подвергнут тщательной обработке (нейтрализации, дегазации) в соответствии с инструкцией по безопасному ведению работ, утверждённой владельцем сосуда в установленном порядке. Сосуд должен быть очищен до металла (при необходимости). Перед вскрытием следует убедиться, что давление в сосуде атмосферное, а также, что температура стенки снижена до температуры окружающего воздуха» [33].

**ВНИМАНИЕ!** Во время эксплуатации и гидроиспытаний обстукивание стенок корпуса, сварных и разъёмных соединений аппарата не допускается.

### **1.1.9** Порядок технического обслуживания сосуда

**1.1.9.1** «Ежесменное техническое обслуживание осуществляется в течение рабочей смены и в период технологических остановок оборудования.

В состав ежесменного технического обслуживания входят:

- наружный осмотр,
- визуальный контроль исправности запорных устройств, КИП,
- визуальный контроль плотности фланцевых соединений, состояния крепёжных деталей и резьбовых соединений,
- проверка исправности заземления» [33].

«В конце каждой смены все обнаруженные неисправности в работе сосуда должны быть зафиксированы обслуживающим персоналом в "Сменном журнале" и должны устраняться немедленно силами эксплуатационного и дежурного ремонтного персонала. Механик и мастера

цеха обязаны регулярно просматривать записи в сменном журнале и принимать меры по устранению указанных в них неисправностей» [33].

#### **1.1.10 Надзор за техническим состоянием сосуда**

**1.1.10.1** «Проверка технического состояния сосуда проводится инженерно-техническим персоналом службы производственного контроля предприятия-владельца сосуда согласно графикам, составленным на основе требований инструкции по режиму работы и безопасному обслуживанию данного сосуда, утверждённой в установленном порядке» [33].

##### **1.1.10.2** «Целью надзора является:

- выявление неисправностей, которые могут привести к аварийному выходу сосуда из строя,
- установление технического состояния наиболее ответственных узлов и уточнение объёма и вида предстоящего ремонта,
- проверка учёта наработки циклов нагружения,
- обнаружение при осмотре отклонения от нормального состояния сосуда, не требующие немедленной остановки для их ликвидации, должны быть занесены в "Ремонтный журнал". Дефекты узлов и деталей, которые при дальнейшей эксплуатации сосуда могут нарушить его работоспособность или безопасность условий труда, должны немедленно устраняться после остановки сосуда,
- с целью сокращения простоев оборудования его техническое обслуживание и ремонт должны максимально совмещаться по времени с выполнением освидетельствований и испытаний» [33].

##### **1.1.10.3** Во время остановок на ремонт производятся:

- замена прокладок,
- подтяжка крепёжных изделий, креплений и контактов,
- внутренний и наружный осмотры в доступных местах,

- техническое обслуживание (поверка, тарирование, регулировка), приборов КИП, запорных, предохранительных и блокировочных устройств, замена неисправных частей и приборов.

#### **1.1.11 Техническое освидетельствование**

**1.1.11.1** Техническому освидетельствованию аппарат должен подвергаться после монтажа до пуска в работу (первичное), периодически в процессе эксплуатации и в необходимых случаях – внеочередному освидетельствованию.

**1.1.11.2** Техническое освидетельствование аппарата проводится в следующей последовательности:

- проверка технической документации,
- наружный и внутренний осмотры в доступных местах,
- гидравлическое испытание.

**1.1.11.3** Периодичность технического освидетельствования аппарата должна соответствовать требованиям Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением».

**1.1.11.4** «При первичном осмотре обратить внимание на возможные дефекты, полученные при изготовлении, транспортировке, хранении и монтаже аппарата, такие как вмятины, трещины, коррозионные повреждения» [33].

«При периодическом наружном и внутреннем осмотрах убедиться в отсутствии повреждений и износа элементов сосуда за время эксплуатации. Наиболее характерными повреждениями могут быть:

- трещины, чаще всего возникающие в местах загибов, отбортовки, местах приварки опор и др.,
- коррозионные повреждения стенок сосуда» [33].

**1.1.11.5** Гидравлическое испытание оборудования на прочность проводить пробным давлением, указанным в таблице 1, при условии удовлетворительных результатов наружного и внутреннего осмотров.

**1.1.11.6** «Скорость подъема и снижения давления при гидравлическом испытании не более 5 кгс/см<sup>2</sup> в мин. Под пробным давлением аппарат должен находиться в течение 30 минут. После выдержки под пробным давлением давление снизить до обоснованного расчетом на прочность значения, но не менее рабочего давления, при котором произвести осмотр наружной поверхности оборудования, всех его разъемных и сварных соединений» [33].

**1.1.11.7** Испытания проводятся силами технического персонала предприятия-владельца в соответствии с инструкцией по проведению гидравлических испытаний, утвержденной в установленном порядке в соответствии с действующей нормативной документацией.

**1.1.11.8** Результаты технического освидетельствования должны записываться в паспорт сосуда и подписываться лицом, проводившим освидетельствование, с указанием разрешённых параметров эксплуатации аппарата и срока следующего освидетельствования.

**1.1.11.9** Перед внутренним осмотром оборудования, находящегося в эксплуатации, выполнить мероприятия.

**1.1.11.10** При обнаружении дефектов на стенках элементов аппарата по указанию лица, проводящего освидетельствование, необходимо проконтролировать толщину стенки неразрушающим методом.

**1.1.11.11** Замер толщины стенки производить с наружной стороны аппарата с помощью ультразвукового толщиномера, позволяющего производить измерения с точностью до 0,1 мм. Результаты замера оформляют протоколом, к которому прилагают эскиз развертки с нанесением на нем точек замера и заносят в паспорт оборудования.

**1.1.11.12** «Для аппарата, отработавшего расчётный срок службы, установленный проектом, или для которого продлевался расчётный (допустимый) срок службы на основании технического заключения, объём, методы и периодичность технического освидетельствования должны быть определены по результатам технического диагностирования и определения остаточного ресурса, выполненного специализированной организацией или организациями, имеющей право на проведение экспертизы промышленной безопасности технических устройств (сосудов). По истечении назначенного срока службы, указанного в Руководстве по эксплуатации, паспорте, эксплуатации и входящих в состав сборочных единиц должна быть прекращена или по результатам технического диагностирования может быть принято решение о двукратном установлении нового назначенного ресурса, срока службы на срок не более 10 лет» [33].

По истечении назначенного срока хранения (2 года) осуществляется переконсервация оборудования в соответствии с требованиями предприятия – изготовителя.

**1.1.11.13** При проведении первичного технического освидетельствования допускается не проводить гидравлическое испытание и внутренний осмотр при соблюдении сроков и условий консервации.

#### **1.1.12** Текущий ремонт

**1.1.12.1** Аппарат относится к ремонтируемым, восстанавливаемым изделиям.

**1.1.12.2** Подготовку сосуда к ремонту и его ремонт производить согласно:

- инструкции по режиму работы и безопасной эксплуатации сосуда,
- РД 09-250-98. Положение о порядке безопасного проведения ремонтных работ на химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих опасных производственных объектах,

– ОТУ 3-01. Сосуды и аппараты. Общие технические условия на ремонт корпусов.

При пользовании указанными НТД следует пользоваться актуализированными ссылками на замененные действующие нормативно-технические документы.

**1.1.12.3** «Работы по ремонту сосуда должны выполняться специализированными организациями, располагающими специальными техническими средствами, необходимыми для качественного выполнения работ» [33].

**1.1.12.4** Распоряжение о начале и конце ремонта должно быть записано в журнале распоряжений.

**1.1.12.5** На каждый ремонт сосуда должна быть составлена ремонтная документация в соответствии с РД 09-250-98 и рекомендуемым приложением 1 к ОТУ 3-01, которая должна храниться с паспортом сосуда (в паспорт не входит).

**1.1.12.6** После проведения ремонтных работ с применением сварки и контроля качества сварных соединений проводится внеочередное техническое освидетельствование сосуда.

**1.1.12.7** «Ремонтируемый сосуд должен быть надёжно отключён от находящихся в работе узлов и коммуникаций. Установленные заглушки должны иметь явно видимый хвостовик, на котором выбивается номер заглушки, её расчётное давление и диаметр» [33].

**1.1.12.8** Меры безопасности при ремонте.

**1.1.13** Транспортирование, правила хранения и переконсервация

**1.1.13.1** Условия транспортирования и хранения аппарата по ГОСТ 15150-69.

**1.1.13.2** Транспортирование и хранение: емкости без гидроизоляции - 8 (ОЖЗ); для емкостей с нанесённым гидроизоляционным слоем - 3 (ЖЗ); ЗиП

и ответные детали (фланцы, заглушки, прокладки, крепеж и т.д.) - 5 (ОЖ4); КиП, эл. обогрев, нагреватели, манометры и т. д. - 1,2 (Л), если не указано иное в руководстве по эксплуатации конкретного прибора.

**1.1.13.3** Вариант упаковки: емкость - ВУ-9; ЗиП, ответные детали и т.д. - ВУ-5.

**1.1.13.4** Способы транспортирования, разгрузки и хранения сосуда у предприятия-владельца должны обеспечивать сохранность его от механических повреждений, деформаций, загрязнения и коррозионного воздействия атмосферы.

**1.1.13.5** В ходе погрузочно-разгрузочных работ запрещается:

– стропить аппарат за штуцеры и другие выступающие части. Для целей строповки следует использовать монтажные проушины, расположенные на корпусе аппарата,

– разгрузка скатыванием.

**1.1.13.6** Хранение аппарата без опор не допускается. В качестве опор владелец аппарата может применять детали, используемые при транспортировке (брусья, опоры и т.д.).

**1.1.13.7** Сосуд без переконсервации хранить не более 24-х месяцев.

**1.1.13.8** В случае хранения сосуда свыше 24 месяцев или обнаружении дефектов временной противокоррозионной защиты при контрольных осмотрах в процессе хранения произвести переконсервацию сосуда согласно ГОСТ 9.014-78.

**1.1.13.9** Проверку состояния консервации проводить не реже 1 раза в 6 месяцев.

**1.1.13.10** Меры безопасности при хранении и транспортировании.

**1.1.14** Утилизация

**1.1.14.1** Выведенный из эксплуатации аппарат должен быть очищен от остатков рабочей среды по технологии владельца, обезврежен и передан на

утилизацию в качестве лома черных металлов и нержавеющей сталей и сплавов.

#### **1.1.14.2** Меры безопасности при утилизации.

#### **1.1.15** Маркировка

**1.1.15.1** Аппарат имеет заводскую табличку, выполненную в соответствии с требованиями ГОСТ 12969-67, ГОСТ 12971-67. Табличка прикреплена к аппарату на доступном для обзора месте. На табличку должны быть нанесены:

- наименование или товарный знак предприятия-изготовителя,
- наименование или обозначение аппарата,
- порядковый номер аппарата по системе нумерации предприятия-изготовителя,
- расчетное или номинальное давление, давление, МПа,
- пробное давление, МПа,
- расчетная температура стенки, °С,
- минимальная допустимая температура стенки, °С под расчетным давлением МПа,
- масса аппарата, кг,
- дата изготовления,
- клеймо технического контроля,
- единый знак обращения продукции на рынке государств – членов Таможенного союза для сертифицированных аппаратов.

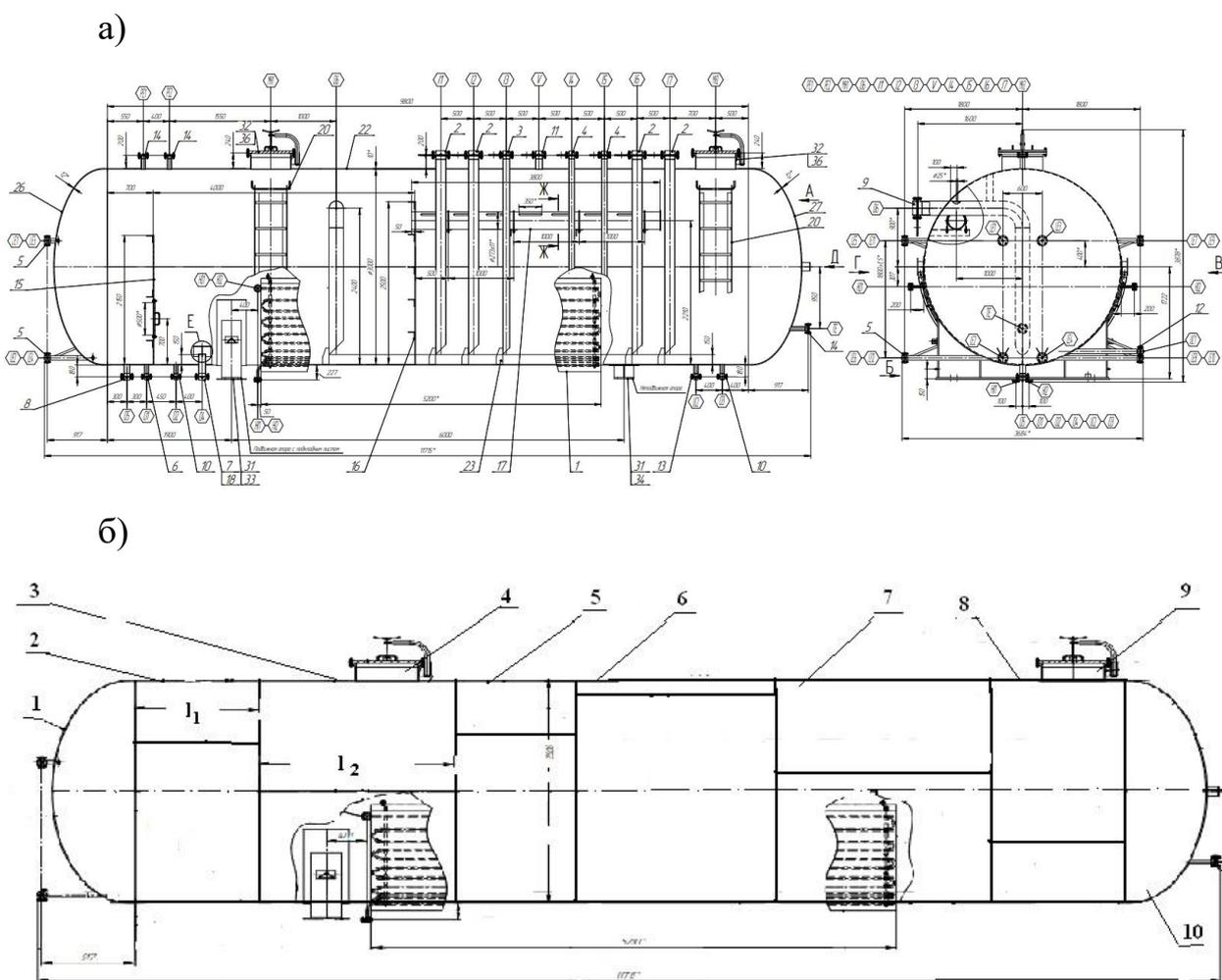
Маркировка на табличке должна быть сохранена до конца срока службы сосуда.

Заводской номер, месяц и год изготовления, клеймо отдела технического контроля наносятся ударным способом.

**1.1.15.2** Транспортная маркировка аппарата должна соответствовать ГОСТ 14192-96

Комплектность поставки аппарата должна соответствовать требованиям ГОСТ 34347-2017

Конструкция аппарата для сбора конденсата вакуум создающей системы типа ГЭЭ-1 – это сложная сварная конструкция, которая показана на рисунке 1. Корпус аппарата выполнен из 3-х отдельно сваренных обечайки (2,5,8) шириной  $l_1=1500$  мм и 3-х обечайки (3,6,7) шириной  $l_2=2000$  мм с внутренним диаметром  $d = 3000$ мм; 2-х днищ (1,2), патрубком (4) и штуцерами, которые на рисунке 1 не обозначены.



1, 10 – днище; 2,5,8 – обечайки  $l_1=1500$  мм; 3,6,7 – обечайки  $l_2= 2000$  мм; 4,9- штуцера

Рисунок 1 - Общий вид корпуса аппарата ГЭЭ-1

Техническая характеристика аппарата ГЭЭ-1 приведена в таблице 1.

Из описания конструкции видно, что корпус аппарата при указанном количестве швов не может не испытывать деформаций при сварке.

На рисунке 2 вынесены отдельно сварные швы корпуса аппарата ГЭЭ-1, а в таблицу 4 сведены данные по сварке швов и методы контроля. В таблице 5 показаны конструктивные элементы швов.

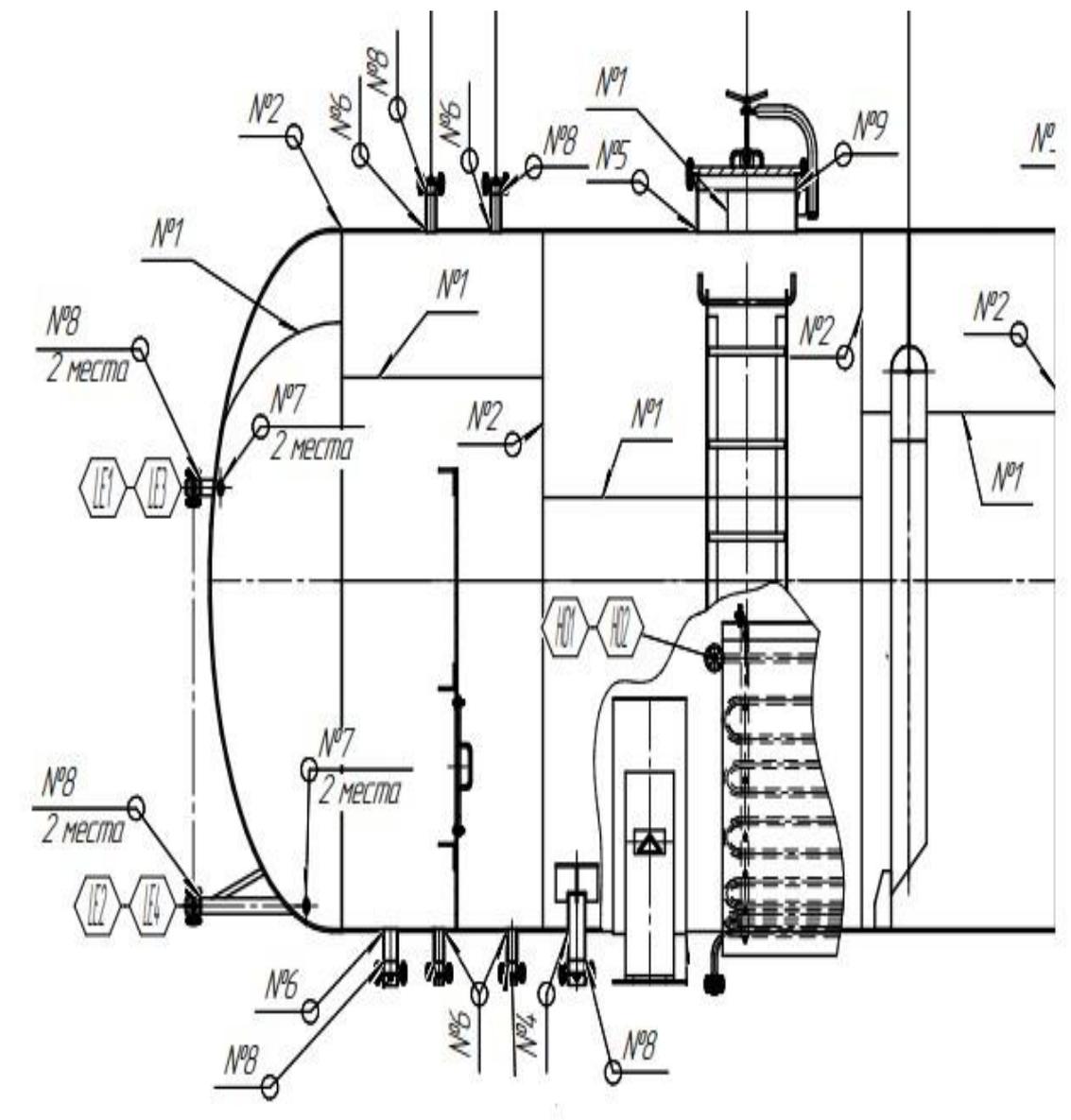


Рисунок 2 - Общий вид корпуса аппарата ГЭЭ-1 с обозначением швов

Таблица 4 - Сварка швов аппарата ГЭЭ-1 и методов контроля

№ шва	Обозначение стандарта сварного шва	Методы контроля					
		Радиографический ГОСТ 7512-82 или УЗД ГОСТ Р 55724-2013	Цв. дефектоскопия ГОСТ 18442-80	Визуальный и измерительный 100%	Мех. испытания ГОСТ 34347-2017	Гидравлический	Стойкость к МКК
1	ГОСТ 8713-79* С7-АФ	+	-	+	+	+	+
2	ГОСТ 8713-79 С7-АФ	+	-	+	-	+	-
3	РД-18-8-89 У12-1	+	-	+	-	+	-
4	РД-26-18-8-89 У12-1	-	+	+	-	+	-
5	РД-26-18-8-89 У12-2	+	-	+	-	+	-
6	РД-26-18-8-89 У12-2	-	+	+	-	+	-
7	РД-26-18-8-89 У12-2	-	+	+	-	+	-
8	ГОСТ 16037-80** С17	+	-	+	-	+	-
9	ГОСТ 16037-80 С56	+	-	+	-	+	-

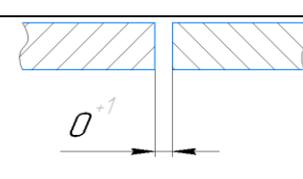
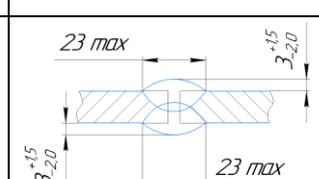
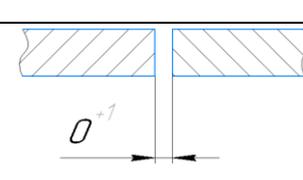
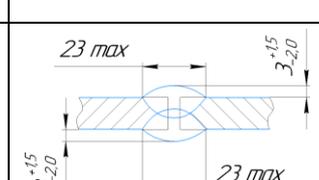
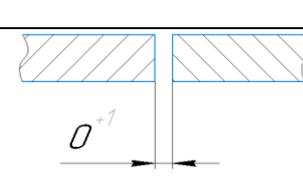
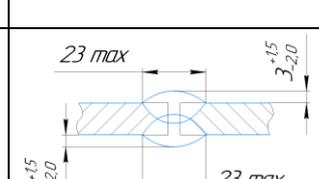
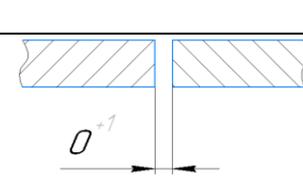
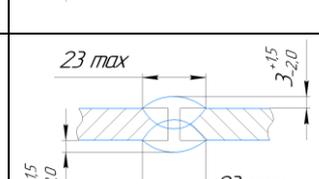
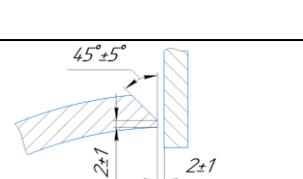
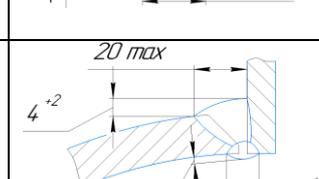
\*[5], \*\*[6]

Продольные стыковые швы обечаек С7-АФ рассматривать не будем, так как есть возможность снизить деформации при сварке продольных швов за счет способа сварки и нового сварочного оборудования [1].

В настоящее время на рынке сварочного оборудования появились источники питания фирмы EWM, позволяющие повышать скорость сварки плавящимся электродом, что позволит снизить коробление кромок.

В конструкцию аппарата ГЭЭ-1 входит штуцер (рисунок 1 поз. 4), который приваривается к корпусу угловым швом У12-2 по рекомендации РД-26-18-8-89 [17].

Таблица 5 – Конструктивные элементы швов

Номер шва	Нормат. документ	Условн. обознач.	Конструкт. элементы		Примечание
			кромки	шов	
№1*	ГОСТ 8713-79	C7			Продольный шов обечайки $l_1=1000$ мм
№1**	ГОСТ 8713-79	C7			Продольный шов обечайки $l_2=2000$ мм
№2	ГОСТ 8713-79	C7			Кольцевой шов обечайки
№2	ГОСТ 8713-79	C7			Кольцевой шов обечайки с днищем
№5	РД 26-18-8-89	У12-2			Угловой шов штуцера обечайкой
* $l_1 = 1000$ мм					
** $l_2 = 2000$ мм					

Рассмотрев стыковые и угловые швы конструкции, сосредоточим внимание на сварке углового шва, которое дает наибольшие значения коробления кромок.

## **1.2 Свойства материала емкостного аппарата ГЭЭ-1**

«Нержавеющая конструкционная коррозионно-стойкая сталь 12Х18Н10Т - это сплав, который можно использовать в самых разных условиях и средах. Сталь 12Х18Н10Т не подвержена коррозии, отлично ведет себя в агрессивных условиях в растворах уксусной, фосфорной кислот, разбавленных щелочей, солей. Сталь 12Х18Н10Т сохраняет свои характеристики в широком температурном диапазоне. Этот сплав полностью экологичен, безопасен для здоровья, благодаря чему с успехом используется в пищевой промышленности. Сталь 12Х18Н10Т отлично сваривается различными способами, легко поддается механической обработке, что позволяет применять нержавейку при изготовлении металлоконструкций любого типа. Продается сортовой прокат и листы из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т» [27].

Марка: 12Х18Н10Т

Класс: Сталь конструкционная криогенная.

«Вид поставки: сортовой прокат, в том числе фасонный ГОСТы: 5949-75, 2590-2006, 2879-2006. Калиброванный пруток 7417-75, 8559-75, 8560-78. Шлифованный пруток и серебрянка 14955-77, 18907-73. Лист толстый 7350-77. Проволока 18143-72» [27].

«Использование в промышленности: детали, работающие до 600°С, сварные аппараты и сосуды, работающие в разбавленных растворах азотной, уксусной, фосфорной кислот, растворах щелочей и солей и другие детали,

работающие под давлением при температуре от -196 до +600°C, а при наличии агрессивных сред до +350 С» [27].

Сталь 12Х18Н10Т - аустенитного класса.

«Расшифровка металла: согласно ГОСТ 5632-2014 цифра перед буквенным обозначением указывает среднюю или максимальную (при отсутствии нижнего предела) массовую долю углерода (С) в сотых долях процента, т.е. массовая доля углерода в стали 12Х18Н10Т примерно равна 0,12%» [27].

«Буква Х в обозначении стали указывает, что сталь легирована хромом (Cr). Цифра 18 за буквой, указывает среднюю массовую долю хрома в целых единицах, т.е. массовая доля хрома примерно равна 18%» [27].

«Буква Н в обозначении стали указывает, что сталь легирована никелем (Ni). Цифра 10 за буквой, указывает среднюю массовую долю никеля в целых единицах, т.е. массовая доля никеля примерно равна 10%» [27].

«Буква Т в обозначении стали указывает, что сталь легирована титаном (Ti), присутствует в стали в малом количестве» [27].

«Сплав содержит большую долю хрома (17-19 %) и никеля (9-11 %). А стабилизация титаном (до 0,8 %) предотвращает появление межкристаллической коррозии. Это обуславливает способность стали 12Х18Н10Т к пассивации и отличной свариваемости без ограничений (таблица 6)» [27].

Таблица 6 - Химический состав в % материала 12Х18Н10Т [27]

С	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Ti
до 0.12	до 0.8	до 2	до 11	до 0.02	до 0.035	до 19	до 0.3	до 0.8

«Добавки стали 12Х18Н10Т влияют на ее свойства:

- Хром (Cr) - повышает антикоррозийные качества сплава,
- Никель (Ni) - стабилизация аустенитной структуры стали,
- Алюминий (Al), кремний (Si) и титан (Ti) - придает качества ферритной стали,
- Титан (Ti) - предотвращает риск межкристаллитной коррозии, создает карбидообразующий эффект,
- Марганец (Mn) придает мелкозернистую структуру,
- Кремний (Si) снижает уровень пластичности, улучшает степень текучести, а также увеличивает плотность,
- Фосфор (P) не более 0,035 %, так как он провоцирует снижение механических свойств, что осложняет использование стали в криогенной области» [27].

Механические свойства стали 12X18H10T приведены в таблицах 7 - 11.

Таблица 7 - Механические свойства стали при повышенных температурах [29]

Температура испытаний, °С	Предел текучести, $\sigma_{0,2}$ , МПа	Временное сопротивление разрыву, $\sigma_b$ , МПа	Относительное удлинение при разрыве, $\delta_5$ , %	Относительное сужение, $\psi$ , %	Ударная вязкость, КСУ, Дж/см <sup>2</sup>
<b>Закалка при 1050-1100 °С, охлаждение на воздухе</b>					
20	225 - 315	550 - 650	46 - 74	66 - 80	215 - 372
500	135 - 205	390 - 440	30 - 42	60 - 70	196 - 353
550	135 - 205	380 - 450	31 - 41	61 - 68	215 - 353
600	120 - 205	340 - 410	28 - 38	51 - 74	196 - 358
650	120 - 195	270 - 390	27 - 37	52 - 73	245 - 353

Температура испытаний, °С	Предел текучести, $\sigma_{0,2}$ , МПа	Временное сопротивление разрыву, $\sigma_b$ , МПа	Относительное удлинение при разрыве, $\delta_5$ , %	Относительное сужение, $\psi$ , %	Ударная вязкость, КСУ, Дж/см <sup>2</sup>
700	120 - 195	265 - 360	20 - 38	40 - 70	255 - 353

Таблица 8 - Ударная вязкость из стали, КСУ, Дж/см<sup>2</sup>

Термообработка	T= +20 °С	T= -40 °С	T= -75 °С
Полоса 8x40 мм в состоянии покоя	286	303	319

Таблица 9 - Чувствительность стали к охрупчиванию при старении [29]

Время, часы	Температура, °С	Ударная вязкость, КСУ, Дж/см <sup>2</sup>
Исходное состояние	-	274
5000	600	186 - 206
5000	650	176 - 196

Таблица 10 - Жаростойкость стали [29]

Среда	Температура, °С	Группа стойкости или балл
Воздух	650	2 - 3
Воздух	750	4 - 5

Физические свойства стали 12X18Н10Т приведены в таблице 11 [29].

Таблица 11 - Физические свойства 12X18Н10Т [29]

Температура, °С	Модуль упругости, $E \cdot 10^{-5}$ , МПа	Коэффициент линейного расширения, $\alpha \cdot 10^{-6}$ , $1/^\circ\text{C}$	Коэффициент теплопроводности, $\lambda$ , Вт/м·°С	Удельная теплоемкость, $C$ , Дж/кг·°С	Удельное электросопротивление, $R \cdot 10^{-9}$ , Ом·м
20	1,98	-	15	-	725
100	1,94	16,6	16	462	792
200	1,89	17,0	18	496	861
300	1,81	17,2	19	517	920
400	1,74	17,5	21	538	976
500	1,66	17,9	23	550	1028
600	1,57	18,2	25	563	1075
700	1,47	18,6	27	575	1115
800	-	18,9	26	596	-
900	-	19,3	-	-	-

Сталь 12X18Н10Т хорошо сваривается всеми способами сварки плавлением на постоянном токе [12].

### 1.3 Дефекты сварки корпуса емкостного аппарата

Деформации, возникающие при сварке, относятся к дефектам сварки.

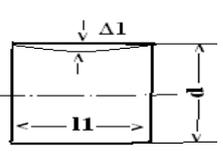
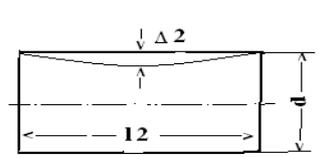
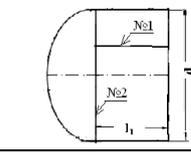
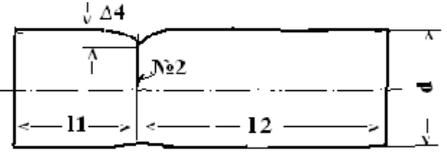
«Внешние деформация могут проявляться в виде изгиба, укорочения, кручения и углового искажения, как местного, так и общего. В зависимости

от характера проявления формоизменения принято разделять на деформации в плоскости элемента и деформации с отклонением от плоскостности (коробление)» [16].

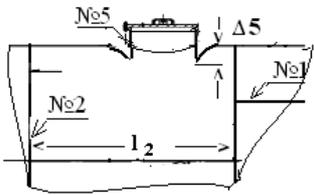
Учитывая тот факт, что ООО «ПТИМАШ» является ведущей организацией по проектированию конструкций аппаратов типа ГЭЭ и их изготовлению, анализ дефектов при сварке проводится на базе этой организации.

В таблице 12 приведен характер деформаций отдельных узлов при сварке аппарата ГЭЭ-1.

Таблица 12 – Характер деформаций обечайки аппарата ГЭЭ-1 при сварке

Эскиз узла ГЭЭ-1	Условное обознач.	Нормативный документ	Требование к величине $\Delta$ , мм	Примечание
	$\Delta 1$	ГОСТ 8713-79* [5]	$\Delta 1 = 1$	$l_1 = 1000$ мм $d = 3220$ мм шов №1 $S_1 = 14$ мм
	$\Delta 2$	ГОСТ 8713-79* [5]	$\Delta 2 = 2$	$l_2 = 2000$ мм $d = 3220$ мм шов №1 $S_1 = 14$ мм
	$\Delta 3$	РД 26 -18-8-89* [17]	$\Delta 3 = 0$	$l_1 = 1000$ мм $d = 3220$ мм шов №2 $S_1 = 14$ мм
	$\Delta 4$	ГОСТ 8713-79* [5]	$\Delta 4 = 3$	$l_1 = 1000$ мм $d = 3220$ мм $l_2 = 2000$ мм $S_1 = S_2 = 14$ мм

Продолжение таблицы 12

	$\Delta 5$	РД 26 -18-8-89 [17]	$\Delta 5=15$	$S_3 = 8\text{мм}$ $d = 3220\text{мм}$  $d_3 = 3210\text{мм}$
---	------------	---------------------	---------------	--

Из таблицы 12 следует, что максимальные деформации  $\Delta 5$  при сварке штуцера к корпусу аппарата ГЭЭ-1.

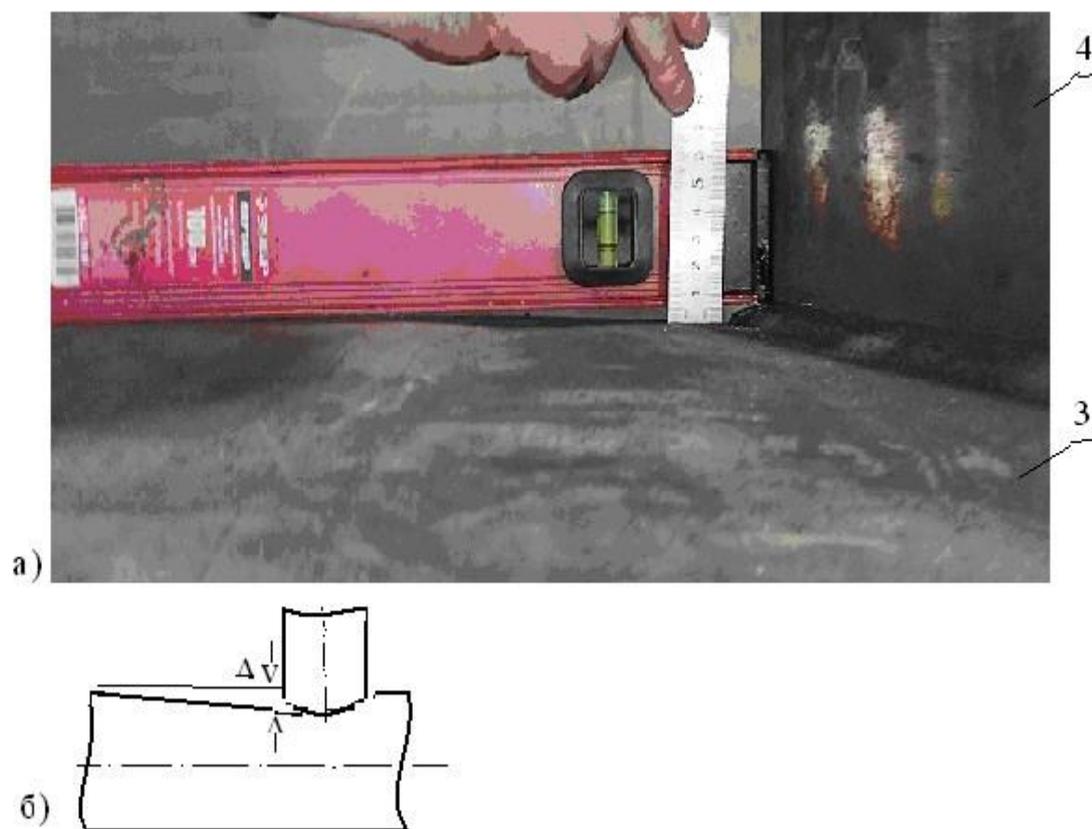


Рисунок 3- Внешняя деформация при сварке штуцера с корпусом

Исследуя качество сварных соединений различных образцов емкостных конструкций «ПТИМАШ» в качестве примеров, выбрали угловое соединение патрубка с корпусом аппарата (рисунок 3 а), обозначив деформации:  $\Delta$  (рисунок 3б) и рисунок 4. Контроль величины  $\Delta 5$  производится с помощью уровня и металлической линейки.



Рисунок 4 - Деформация при сварке штуцера с корпусом

В соответствие с требованиями чертежа величин  $\Delta 5$  не должна превышать 5мм [таблица 12].

#### **1.4 Влияния нагрева околошовной зоны на деформацию кромок при сварке.**

«Дуговая сварка металлов и сплавов характеризуется неравномерным нагревом материалов. Непосредственно примыкающая ко шву зона основного металла подвергается нагреву до 1500°С. Охлаждение

сопровождается изменением прочностных характеристик всех сталей. Особенно сильно изменяется предел текучести (в среднем, вдвое) и предел прочности, который свыше 1000°C не превышает 5 кГ/мм<sup>2</sup>. Поскольку при расчете конструкций на прочность определяющим критерием является предел текучести как характеристика упругих свойств металла, в дальнейшем целесообразно изменение лишь этой характеристики» [16].

На рисунке 5 представлен характер изменения предела текучести в зависимости от температуры для всех сталей. Кривые показывают тот предел напряжений в металле при соответствующей температуре, после достижения которого металл «потечет», т.е. его сопротивление нагрузке уменьшится.

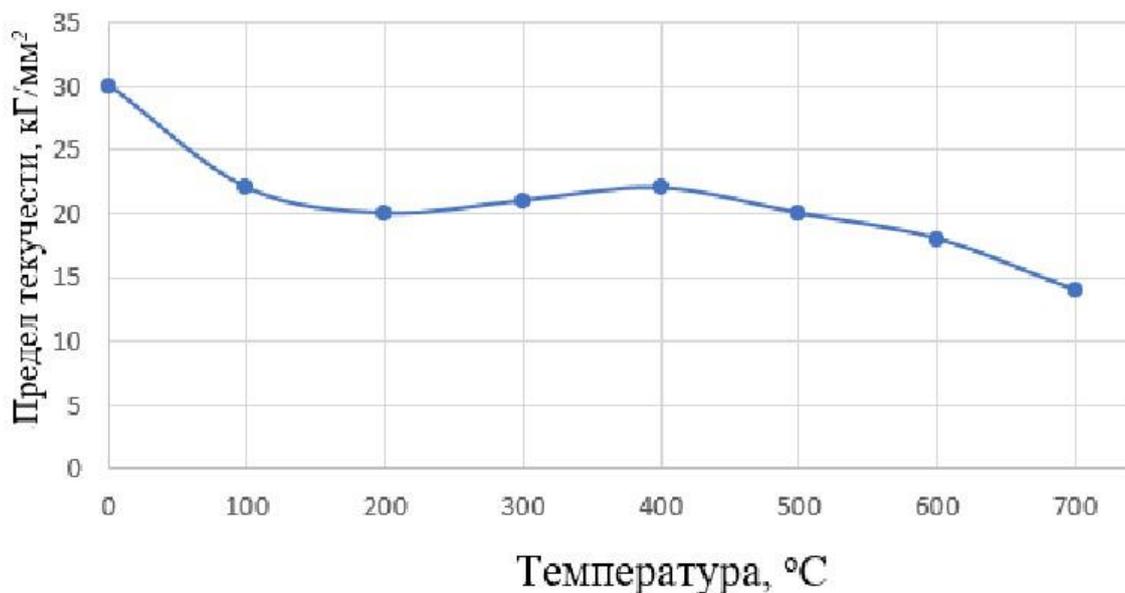


Рисунок 5 - Изменения предела текучести стали 12Х18Н10Т в зависимости от температуры [16]

«Причиной напряжений могут быть внешняя (рабочая) нагрузка или внутренние изменения, обусловленные неравномерным остыванием изделия.

Напряжения от внутренних нагрузок иногда могут достигать величины предела текучести» [16].

«Расчет конструкции производится с учетом коэффициента безопасности или запаса прочности, который определяется как отношение предела текучести к допускаемому напряжению  $\sigma_{\text{доп}}$ . При выборе  $\sigma_{\text{доп}}$  учитывают условия работы, изготовления и другие факторы, но не учитывают наличие собственных внутренних напряжений в элементах сварного узла» [16].

«Внутренние напряжения возникают из-за неодинаковой деформации в различных точках изделия. Неоднородность деформации изделия может произойти по разным причинам: поверхностный наклеп при обработке, внутреннее давление в толстостенных трубах, изгиб пластин. Возможно неодинаковое тепловое расширение или сжатие при быстром и неравномерном нагреве или охлаждении» [16].

«Неоднородные объемные изменения вследствие структурных превращений при охлаждении могут быть причиной возникновения структурных напряжений, особенно в процессе распада аустенита на мартенсит, сопровождающегося изменением объема» [16].

«Внутренние напряжения вовсе не возникали бы, если бы деформация (наклеп, волочение, изгиб, тепловое расширение или сжатие) происходила, одновременно по всему сечению (во всех точках) изделия и была бы одинаковой по величине» [16].

«Характерной особенностью собственных напряжений является, что образуют систему сил, взаимно уравновешенных. Это значит, что растягивающие усилия уравновешиваются сжимающими. Местные внутренние напряжения не снижают статической прочности узла (при равномерном и постепенном нагружении), зато под действием динамической

нагрузки (удар, резкий отрыв и т.п.) они суммируются с  $\sigma_T$  и снижают прочность металла» [16].

«В зависимости от продолжительности действия напряжения разделяют на временные (тепловые) и остаточные (усадочные)» [16].

«Временные внутренние напряжения после остывания свариваемого узла исчезают и поэтому они не вызывают видимых изменений в швах и на изделии в целом. Остаточные напряжения представляют для нас большой интерес, так как они могут вызвать изменения формы изделия и снизить работоспособность сварного узла. Например, высокие напряжения в околошовной зоне и наличие пластической деформации металла на этом участке часто приводят к возникновению в околошовной зоне макротрещин-так называемых локальных разрушений. Эти трещины в отличие от других расположены рядом со швом, на расстоянии 0,2-0,5 мм от линии сплавления» [16].

«Остаточные напряжения могут быть растягивающими и сжимающими. Они являются вредными, если складываются с напряжениями от рабочих нагрузок, или полезными, если являются обратными по знаку и повышают конструктивную прочность сварного узла, т.е. предел текучести. Для тонкостенных деталей и узлов и растягивающие, и сжимающие напряжения являются вредными» [16].

«Для уменьшения напряжения в сварном узле в процессе изготовления применяют конструктивные и технологические меры» [16].

«Конструктивные меры сводятся к изучению и правильному (симметричному) расположению швов на изделия, технологические - к последовательности наложения швов (валиков), выбору и соблюдению режимов сварки и др.» [16].

«По отношению к линии нагрева (оси шва) напряжение делят на продольные и поперечные» [16].

«Изменение формы и размеров твердого тела под действием внутренних или внешних сил называется деформацией. Процессы деформации и разрушений определяется в первую очередь величиной и характером напряжений» [16].

Деформации могут происходить по двум причинам:

- Внутреннее воздействие вследствие нагрева или охлаждения,
- Внешнее силовое воздействие, под влиянием которого элемент (узел) испытывает растяжение или сжатие [14].

Деформации связаны с возникающими напряжениями и по обратимости могут быть разделены на упругие (обратимые) и пластические (необратимые). Выражают эти деформации в относительных единицах. Так, тепловая деформация при равномерном нагреве определяется в зависимости от температуры:

$$\lambda = \alpha \times T, \quad (1)$$

где  $\lambda$  - тепловая деформация;

$\alpha$  - коэффициент линейного расширения,  $1/^\circ\text{C}$ .

«Если подсчитать тепловую деформацию при  $600^\circ\text{C}$  для различных сталей, только убедиться, что хромоникелевая сталь типа 12X18H10T проявляет наибольшую склонность к деформированию от нагрева. Следовательно, чем больше коэффициент линейного расширения металла и чем выше нагрев, тем больше будет деформация» [16].

«Внешнее деформация может проявляться в виде изгиба, укорочения, кручения и углового искажения, как местного, так и общего. В зависимости от характера проявления формоизменение принято разделять на деформации в плоскости элемента и деформации с отклонением от плоскостности (коробление)» [16].

«Возникновение и действие напряжений и деформации, а также их характеристики лучше всего продемонстрировать на случае нагрева

пластины, имитирующей участок поверхности металла, нагреваемого при сварке. Нагревание пластины до невысокой температуры (ниже 600 °С) сопровождается появлением в ней только временных внутренних напряжений и деформаций. В этом случае после охлаждения пластины внутренние напряжения и деформации исчезнут. Видимых изменений в пластине не произойдет» [16].

«Чтобы уменьшить напряжения и деформации от сварки, необходимо знать основные причины их возникновения. Для этого рассмотрим простейший случай сварки» [16].

«Если кромку полосы наплавить на валик или к полосе на ребро приварить узкую полосу (тавровое соединение), то легко убедиться, что степень нагрева различных участков сечения неодинакова (Рисунок 6). При нагреве свариваемые детали мешали друг другу свободно удлиняться, а при охлаждении – свободно сокращаться. Если бы полосы были абсолютно жесткими (очень большая толщина или закрепление концов), в них возникли бы после охлаждения максимальные остаточные напряжения растяжения. Но концы элементов на практике часто не закреплены, толщина их относительно невелика, и поэтому возникающие в свариваемом узле напряжения уменьшаются вследствие укорочения или изгиба (на ребро). Металл в зоне шириной  $b$  нагревается приблизительно находится под действием температур выше 600 °С значительно дольше, чем металл пластины (ребра), расположенной ниже зоны  $b$ » [16].

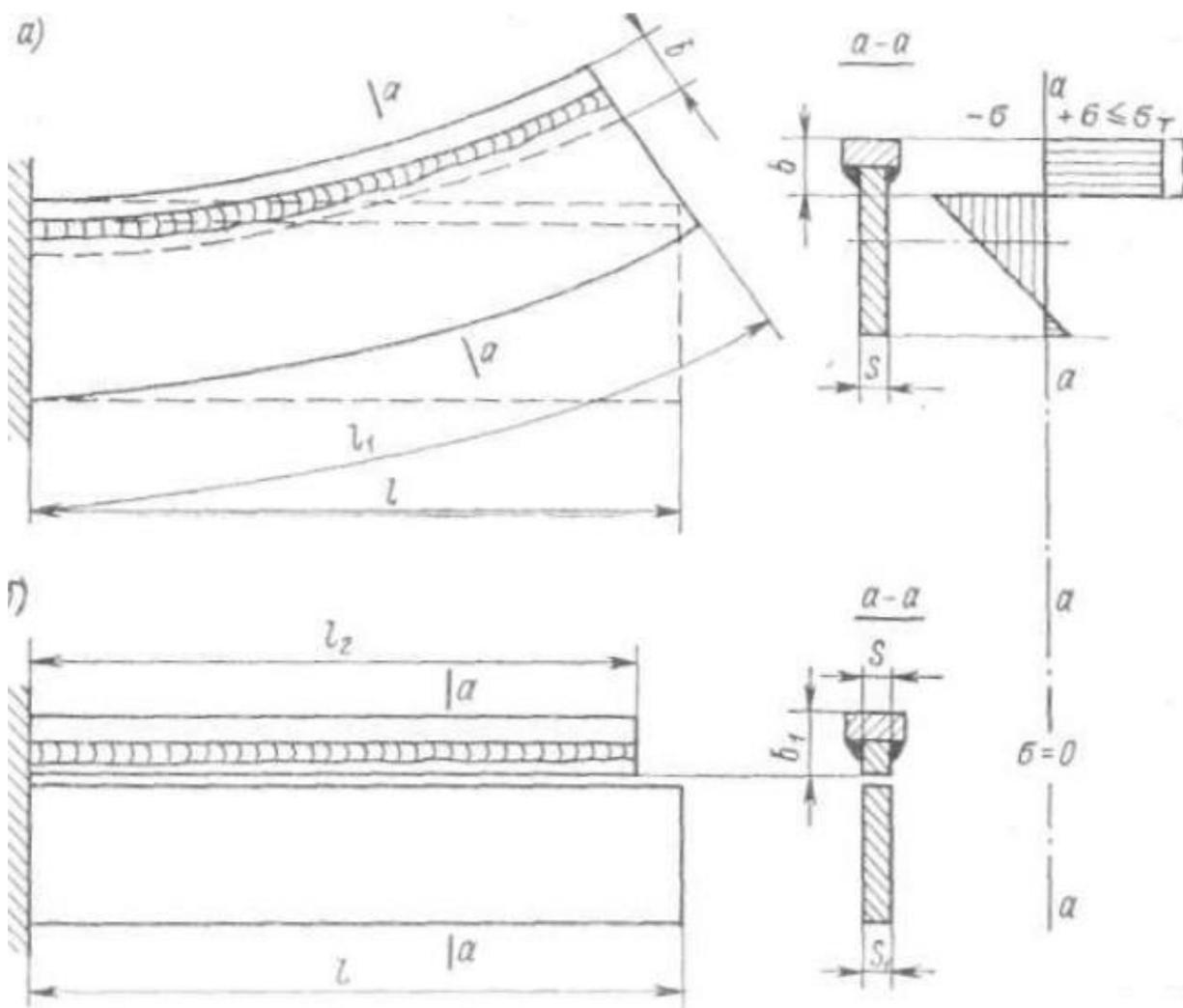


Рисунок 6 - Деформация и напряжения при наплавке валика на кромку:  
 а - состояние образца после сварки; б – состояние образца после разделки по  
 линии, где напряжения меняет знак [14]

«Следовательно, и пластическая деформация в этой зоне будет больше, а напряжения растяжения ( $+\sigma$ ) после охлаждения могут достигнуть величины предела текучести  $\sigma_T$ . В сваренном узле возникнут внутренние напряжения, уравновешенные в каждом сечении, т.е. схематически площадь эпюры  $+\sigma$  равна площади эпюры  $-\sigma$ . После охлаждения длина верхней части

узла, подвергнувшейся наибольшему нагреву, уменьшится вследствие деформации изгиба. Длина нижней части соответственно увеличится  $l_1$ » [16].

«Если отрезать узкую, более нагретую часть, то обе полосы (широкая и узкая) распрямятся. Длина широкой полосы будет равна первоначальной, а узкой – уменьшится, но толщина её увеличится, т.е.  $s_1 > s$ ;  $b_1 < b$ . Это формоизменение (укорочение- изгиб) является следствием остаточных напряжений растяжения в нагретой части свариваемых полос, возникшие вследствие стремления нагретой зоны сократиться из-за пластической деформации сжатия в зоне  $b$ . Если затем узел разрезать, напряжения в любом сечении каждой части исчезнут ( $\sigma=0$ ), но налицо будет остаточная деформация укорочения той зоны, в которой нагрев вызвал пластическую деформацию сжатия» [16].

«При наплавке валика на плоскость пластины посередине её ширины (рисунок 7) пластина получит не только продольную (окажется короче) и поперечную (станет более узкой) деформации, но также и изгиб (коробление)» [16].

«Сварка стыковых и угловых соединений вызывает угловые деформации, которые являются результатом действия неодинакового по сечению шва и нагретой зоны поперечного укорочения» [16].

«Остаточные деформации свариваемых изделий зависят от свойств металла, жесткости конструкции, режима сварки, вида сварного соединения и технологической последовательности выполнения швов. Наиболее эффективно с ними можно бороться на стадии проектирования. Как отмечалось выше, меры борьбы делятся на конструктивные и технологические» [16].

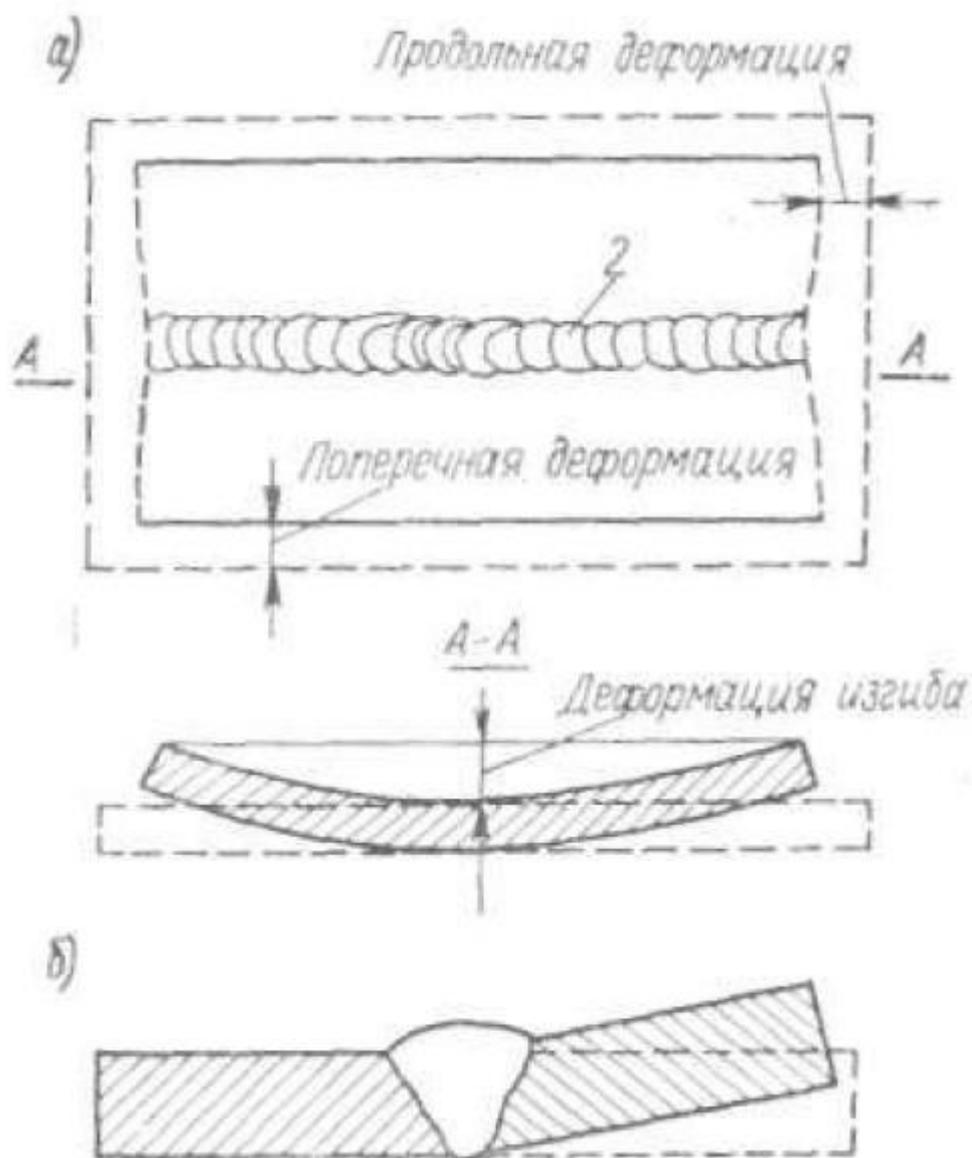


Рисунок 7 - Виды деформации от швов на пластине: а - деформация укорочения и изгиба при симметричном расположении шва на пластине; б - угловая деформация при сварке с V-образной разделкой [14]

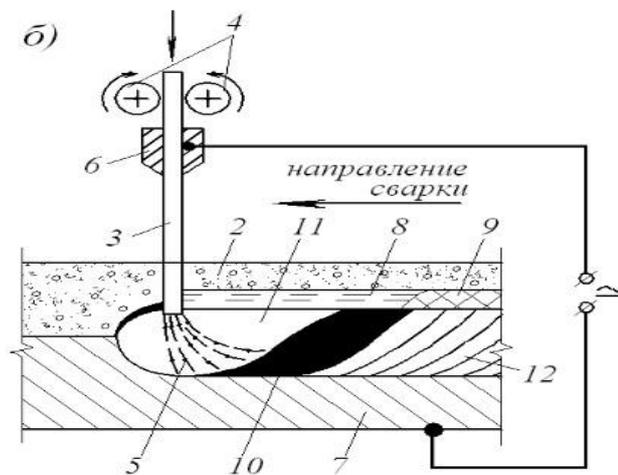
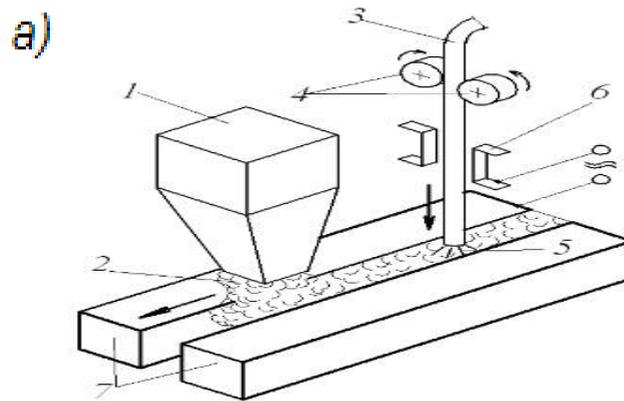
«Таким образом, температура нагрева оказывает существенное влияние на величину на деформацию при сварке» [16].

## **1.5 Анализ способов снижения коробления корпуса из ст.12Х18Н9Т толщиной (8-12)мм**

Известно, что автоматическая сварка под флюсом, обладающая высокой скоростью сварки, позволяет снижать возникающие при сварке деформации [1], [9], [22].

«Сварка под флюсом – дуговая сварка, при которой дуга горит под слоем порошкообразного сварочного флюсом. По степени механизации процесса различают автоматическую сварку под флюсом (подача электрода в зону сварки и перемещение электрода вдоль свариваемых кромок механизированы) и механизированную (механизирована только подача электрода) (рисунок 8)» [32].

«Электродная проволока с помощью ведущего и нажимного роликов подается в зону сварки. Кромки свариваемого изделия в зоне сварки покрываются слоем флюса, подаваемого из бункера. Толщина слоя флюса составляет  $t \approx 30...50$  мм. Сварочный ток подводится к электроду через токопроводящий мундштук, находящийся на небольшом расстоянии (40...60 мм) от конца электродной проволоки. Благодаря этому при автоматической сварке можно применять большие сварочные токи. Дуга возбуждается между свариваемым изделием и электродной проволокой. При горении дуги образуется ванна расплавленного металла, закрытая сверху расплавленным шлаком и оставшимся нерасплавленным флюсом» [32].



а – схема сварки; б – сварочный процесс в зоне дуги

1 – бункер; 2 – нерасплавленный флюс; 3 – электродная проволока; 4 – ведущий и нажимной ролики; 5 – сварочная дуга; 6 – токоподводящий мундштук; 7 – свариваемое изделие; 8 – жидкотягучая пленка шлака; 9 – шлаковая корка; 10 – сварочная ванна (расплавленный металл); 11 – замкнутая парогазовая полость; 12 – сварной шов

Рисунок 8 – Схема процесса автоматической сварки под слоем флюса

«Пары и газы, образующиеся в зоне дуги, создают вокруг нее замкнутую газовую полость. Некоторое избыточное давление, возникающее при термическом расширении газов, оттесняет жидкий металл в сторону, противоположную направлению сварки. Тонкий слой металла сохраняется лишь у основания дуги. В таких условиях обеспечивается глубокий провар

основного металла. Дуга горит в газовой полости, закрытой расплавленным шлаком, в результате чего значительно уменьшаются потери теплоты и металла на угар и разбрызгивание» [32].

«По мере перемещения дуги вдоль свариваемых кромок наплавленный металл остывает и образуется сварной шов. Жидкий шлак, имея более низкую температуру плавления, чем металл, затвердевает несколько позже, замедляя охлаждение металла шва. Продолжительное пребывание металла шва в расплавленном состоянии и медленное остывание способствуют выходу на поверхность всех неметаллических включений и газов, получению чистого, плотного и однородного по химическому составу металла шва. Образовавшуюся при остывании жидкого шлака корку вместе с нерасплавленным флюсом после окончания сварки удаляют» [32].

«Преимуществом сварки под флюсом перед РДС являются следующие.

- Высокая производительность, превышающая производительность ручной сварки в 5...10 раз. Это достигается за счет применения больших токов, более концентрированного и полного использования теплоты в закрытой зоне дуги, снижения трудоемкости за счет механизации процесса сварки,

- Высокое качество металла шва вследствие хорошей защиты сварочной ванны расплавленным шлаком от кислорода и азота воздуха, легирования металла шва, увеличения плотности металла при медленном охлаждении под слоем застывшего шлака» [32].

Примеры промышленного применения сварки под флюсом приведены на рисунке 9.

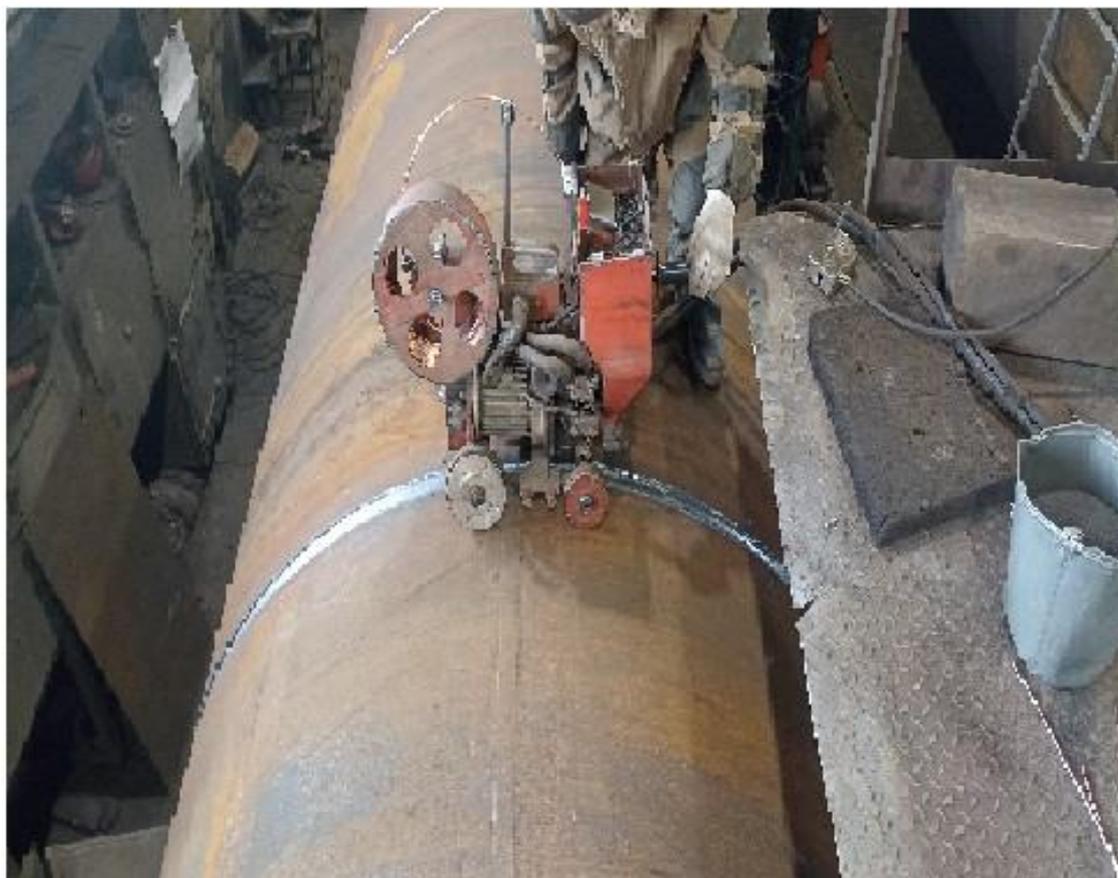


Рисунок 9 - Сварка кольцевых швов

Однако для сварки штуцера к корпусу этот способ не применим.

Известно, что автоматическая сварка плавящимся электродом в среде защитных газов, обладающая высокой скоростью сварки, также позволяет снижать возникающие при сварке деформации [2], [18], [19].

Сварка в защитных газах плавящимся электродом имеет ряд особенностей. Так, устойчивое горение дуги обеспечивается при высокой плотности тока в электроде ( $100 \text{ A/mm}^2$  и выше) при возрастающей вольтамперной статической характеристике дуги [4], [8], [25], [28], [30].

«Стабильность параметров сварного шва (глубина проплавления и ширина) зависит от постоянства длины дуги, которая обеспечивается за счет процесса саморегулирования дуги при постоянной скорости подачи

электродной проволоки. При этом соблюдается условие равенства скорости плавления электрода и его подачи. Так как процесс ведется на режимах с высокими плотностями сварочного тока, то обычно применяют электродную проволоку небольшого диаметра ( $d \approx 0,8 \dots 2,5$  мм), с большими скоростями ее подачи. В этих условиях процесс саморегулирования не может обеспечиваться при использовании источников питания с падающими характеристиками» [31].

«Наряду с другими преимуществами, характерными для сварки в защитных газах, сварка в углекислом газе характеризуется высокой производительностью и низкой стоимостью. Процесс экономичен, защитный газ не дефицитен, обеспечивает достаточно высокое качество металла швов. Механизированная сварка в углекислом газе, как более производительный процесс, успешно конкурирует с ручной дуговой сваркой покрытыми электродами по своей универсальности. К недостаткам ее следует отнести повышенное разбрызгивание и более грубое формирование швов» [31].

«При сварке в углекислом газе происходит окисление металла и потеря легирующих элементов. Поэтому основной особенностью этого способа является необходимость применения электродных проволок с повышенным содержанием элементов раскислителей (кремния, марганца), компенсирующих их выгорание в зоне сварки, предотвращающих окисление металла в ванне и образование пор. Для углеродистых сталей в основном используют сварочные проволоки сплошного сечения СВ-10ГС, Св-08Г2С, а также порошковые проволоки, содержащие в наполнителе порошки ферросплавов кремния и марганца» [31].

Поэтому применяют источники питания с жесткой или возрастающей вольтамперной характеристикой. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности [15].

«К основным параметрам сварочного режима относятся сила тока, напряжение дуги, скорость сварки, диаметр и скорость подачи электродной проволоки, расход защитных газов. Сварочный ток зависит от диаметра и состава электрода, его устанавливают в соответствии со скоростью подачи электродной проволоки. Скорость сварки обычно 15–80 м/ч, ее выбирают с учетом производительности и качества формирования шва. Выбор параметров режима обычно производят по экспериментальным данным. При сварке с двух сторон можно сваривать без разделки кромок металл толщиной до 12 мм. При больших толщинах применяют разделку кромок» [31].

Аргонодуговая сварка плавящимся электродом в основном применяется для сварки легированных сталей. Сварка производится на режимах с мелкокапельным и струйным переносом электродного металла. При струйном переносе глубина проплавления увеличивается [3], [12].

Критическое значение сварочного тока, при котором капельный перенос сменяется струйным, для каждого металла различно и зависит от диаметра проволоки. Так, при сварке сталей это происходит при плотности тока от 60 до 120 А на 1 мм<sup>2</sup> сечения электрода. Например, для электродной проволоки из стали марки Св-12Х18Н9Т для разных диаметров при горении дуги в среде аргона критический ток имеет следующие значения (таблица 13) [21].

Таблица 13 – Рекомендации по выбору тока дуги [31]

Диаметр электрода, мм	1	2	3
Критический ток, А	190	280	350

«При сварке сталей в качестве защитного газа в основном используют аргон с добавками углекислого газа или кислорода (1–5% по объему).

Введение активных газов стабилизирует горение дуги, снижает разбрызгивание. Наряду с этим окислительная среда повышает стойкость швов против водородной пористости» [31].

«При аргонодуговой сварке плавящимся электродом предъявляются более жесткие требования к качеству сборки деталей, чем при сварке вольфрамовым электродом. Перед сваркой необходима тщательная очистка кромок свариваемых деталей и электродной проволоки» [31].

Для сварки штуцера к корпусу автоматическая сварка плавящимся электродом в условиях работы ООО «ПТИМАШ» также не применимо, т.к. речь идет о большой номенклатуре штуцеров в аппаратов. В таблице 3 показано номенклатура штуцеров в аппарате ГЭЭ-1.

Для сварки штуцера к корпусу целесообразно использовать механизированную сварку плавящимся электродом в защитной среде аргона или смеси газов [24].

Таким образом, для сварки штуцера к корпусу выбираем механизированную сварку плавящимся электродом в защитной среде аргона или смеси газов на постоянном токе обратной полярности [19]. На рисунке 10 приведен пример механизированной сварки плавящимся.



Рисунок 10 – Механизированная сварка плавящимся электродом в газах

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Обосновать выбор способа сварки.
2. Разработать методику проведения экспериментов.
3. Определить влияние параметров режима сварки на величину деформаций для соединений штуцер- обечайка.
4. Разработать технологические приемы, снижающие деформации.
5. Спроектировать технологический процесс приварки штуцера к обечайке.

## 2 Методика проведения экспериментальных работ по снижению деформаций при сварке штуцера к корпусу аппарата ГЭЭ-1

### 2.1 Материал обечайки и штуцера, тип соединения

Материал обечайки и штуцера – сталь 12Х18Н9Т.

Тип соединения – У12-2: подготовка кромок рисунок 11а, сварное соединение рисунок 11б [17], [20], [23].

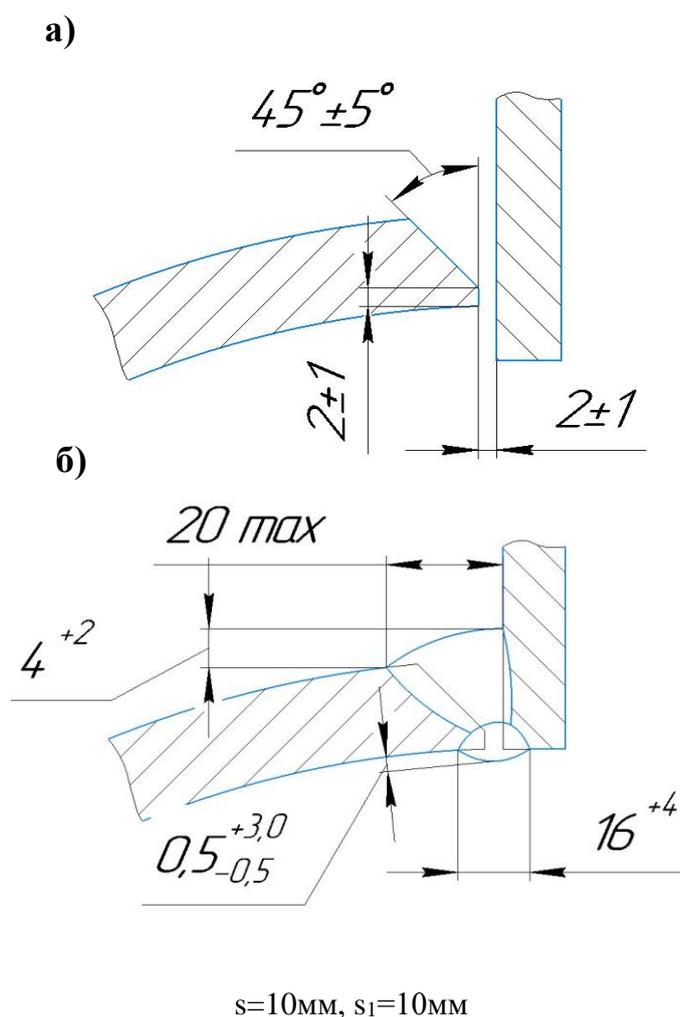


Рисунок 11 – Конструктивные элементы подготовки кромок (а) и шва (б) [17], [23]

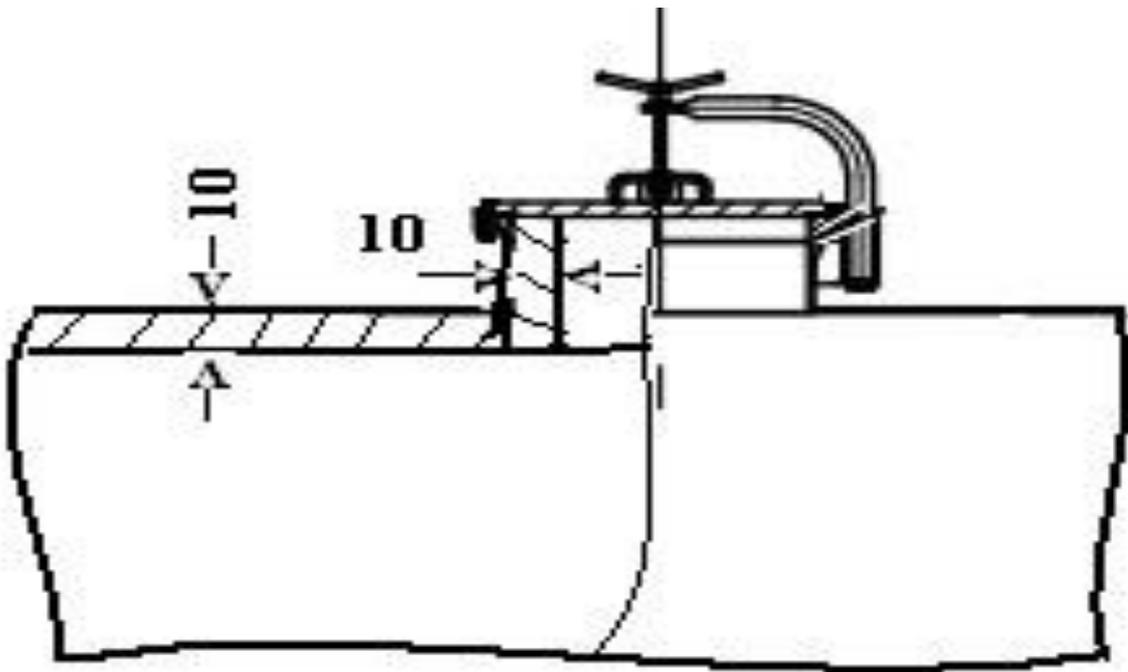


Рисунок 12 – Угловое соединение штуцера к корпусу

## 2.2 Способ сварки и оборудование

Приварка штуцера к корпусу ведется механизированной сваркой плавящимся электродом проволокой сплошного сечения в защитной среде смеси аргона  $Ar+CO_2$  на постоянном токе обратной полярности [10]. Для этого выбрано оборудование с подходящими характеристиками (таблица 14): аппарат сварочный Сварог ТЕСН MIG 5000, горелка ТЕСН MS 36, механизм подачи проволоки CS-501 (рисунок 13).

Таблица 14 – Технические характеристики сварочного аппарата

«Сварог»

<b>Заводские данные</b>	
Серия	TECH
Гарантия производителя	5 лет
<b>Питание</b>	
Напряжение питающей сети, В	380
Минимальное напряжение питающей сети, В	320
<b>Общие</b>	
Максимальный ток, А	500
ПВ на максимальном токе, %	60
Коэффициент мощности	0,93
КПД, %	85
Потребляемый ток, А	37.5
Класс товара	Профессиональный
Тип источника	инвертор
<b>MIG/MAG сварка</b>	
Диапазон регулирования сварочного тока MIG, А	50 - 500
Диаметр проволоки, мм	0.8 - 1.6
Максимальный диаметр проволоки, мм	1.6
Напряжение холостого хода MIG, В	75
<b>Заводские данные</b>	
Потребляемая мощность MIG, кВА	24.7
Рабочее напряжение MIG, В	15.0 - 48.0
Сварочный ток MIG при ПН=100%, А	380
Количество роликов, шт	4
Максимальная масса катушки, кг	20
Расположение подающего устройства/катушки	выносное
Скорость подачи проволоки, м/мин	1.5 - 18.0
Диаметр катушки	300
<b>Дополнительные функции MIG</b>	
Сварка порошковой проволокой	есть
Розетка 36 В	есть
Функция дожигания сварочной проволоки	Есть
Регулировка индуктивности	есть
Смена полярности	есть
Холостой прогон проволоки	есть
<b>MMA сварка</b>	
Диапазон регулирования сварочного тока MMA, А	20 - 250
Диаметр электрода MMA, мм	1.5 - 6.0
Максимальный диаметр электрода, мм	6.0
Напряжение холостого хода MMA, В	75
<b>Заводские данные</b>	
Серия	TECH

Продолжение таблицы 14

Гарантия производителя	5 лет
<b>Питание</b>	
Напряжение питающей сети, В	380
Минимальное напряжение питающей сети, В	320
Частота питающей сети, Гц	50
<b>Общие</b>	
Максимальный ток, А	500
ПВ на максимальном токе, %	60
Коэффициент мощности	0,93
КПД, %	85
Потребляемый ток, А	37.5
Класс товара	Профессиональный
Тип источника	инвертор
<b>MIG/MAG сварка</b>	
Диапазон регулирования сварочного тока MIG, А	50 - 500
Диаметр проволоки, мм	0.8 - 1.6
Максимальный диаметр проволоки, мм	1.6
Напряжение холостого хода MIG, В	75
<b>Заводские данные</b>	
Потребляемая мощность MIG, кВА	24.7
Рабочее напряжение MIG, В	15.0 - 48.0
Сварочный ток MIG при ПН=100%, А	380
Количество роликов, шт	4
Максимальная масса катушки, кг	20
Расположение подающего устройства/катушки	выносное
Скорость подачи проволоки, м/мин	1.5 - 18.0
Диаметр катушки	300
<b>Дополнительные функции MIG</b>	
Сварка порошковой проволокой	есть
Розетка 36 В	есть
Функция дожигания сварочной проволоки	есть
Регулировка индуктивности	есть
Смена полярности	есть
Холостой прогон проволоки	есть
<b>MMA сварка</b>	
Диапазон регулирования сварочного тока MMA, А	20 - 250
Диаметр электрода MMA, мм	1.5 - 6.0
Максимальный диаметр электрода, мм	6.0
Напряжение холостого хода MMA, В	75
<b>Заводские данные</b>	
Потребляемая мощность MMA, кВА	25
Рабочее напряжение MMA, В	20.8 - 40.0
Сварочный ток MMA при ПН=100%, А	380
Режим сварки MMA	есть

Продолжение таблицы 14

<b>TIG сварка</b>	
Режим TIG сварки	есть
<b>Специальные функции</b>	
Цифровой дисплей	есть
<b>Конструктивные решения</b>	
Класс защиты	IP 23
Класс изоляции	F
<b>Панельные соединения</b>	
Тип разъема для подключения к инвертору	ОКС 35-50
<b>Сертификация</b>	
Сертификат НАКС	опция (за доп. плату)
<b>Параметры упакованного товара</b>	
Габариты, мм	1100x520x1
Вес, кг	107.7



1- Механизм подачи проволоки, 2- CS-501Сварог TECH MIG 5000

Рисунок 13 - Сварочный аппарат «Сварог»

## 2.3 Средства контроля

Контроль параметров режимов сварки:

- ток -  $I_d$ , А,
- напряжение  $U_d$ , В,
- скорость подачи проволоки  $V_{пр}$ , м/ч,
- расход защитного газа  $Q_{Ar}$ , л/мин.

Контроль величины деформации после сварки:

- линейка, уровень [11], [13].

Требования к величине деформаций после приварки штуцера к корпусу механизированной сваркой плавящимся электродом проволокой сплошного сечения в защитной среде смеси аргона  $Ar+CO_2$ :  $\Delta 5$  не должно превышать 5мм (рисунок 14).

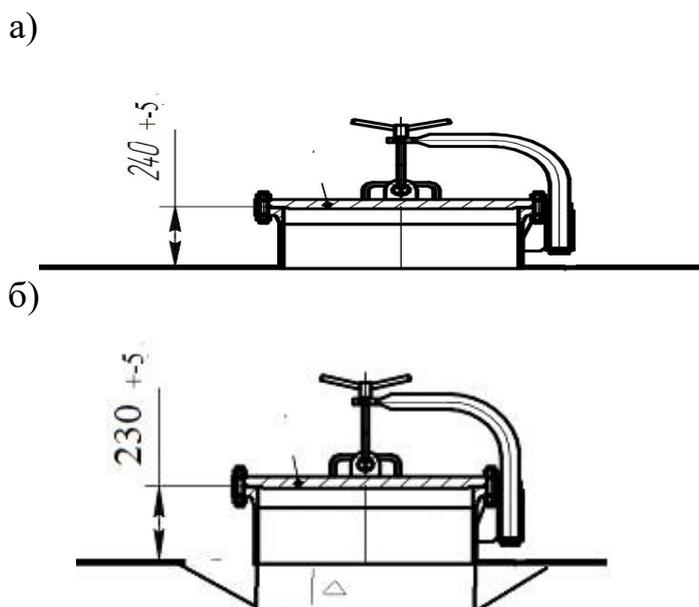


Рисунок 14 – Требования к конструкции ГЭЭ-1

Все эксперименты проводятся в ООО «ПТИМАШ» на реальном изделии ГЭЭ-1.

### **3 Исследование влияния параметров режима и технологических приемов на деформации после приварки штуцера к корпусу**

#### **3.1 Влияние параметров режимов механизированной сварки плавящимся электродом на деформации после приварки штуцера**

Известно, что влияние на величину деформации при любом виде сварки оказывает величина тепловложения, которое при механизированной сварки плавящимся электродом сплошного сечения в защитных газах зависит от таких параметров как напряжение дуги, скорость подачи присадочной проволоки, количество проходов и вид подготовки кромок под приварку [7], [28].

Подготовка кромок сварного соединения штуцера к корпусу проводится в соответствии с У12-2 по РД 26-18-8-89, конструкция которого приведена на рисунке 10а [17]. Предложенный скос кромок корпуса под  $45^{\circ}$  снижает тепловложение в изделии за счет увеличения проходов. Внешний вид штуцера, приваренного к корпусу показан на рисунке 15.

Геометрические размеры шва приварки штуцера к корпусу должны соответствовать требованиям РД 26-18-8-89 У 12-2, которые приведены на рисунке 10б [17].

Таблица 15 – Результаты экспериментов по приварки штуцера

Фото №	I, А	V, В	V <sub>пр</sub> М/МИН	V <sub>св</sub> М/Ч	Кол-во проходов	Δ, мм
	340	42	11-12	21	3	15
	300	34	10-11	22	3	13
	280	30	9-10	23	3	10
	240	28	8-9	24	3	9
	220	25	9-10	25	3	7

Исходя из проведённых экспериментов задаем количество заполняющих проходов равны трем. Результаты экспериментов сведены в таблицу 15.

Учитывая особенности механизированной сварки плавящимся электродом в защитных газах, в котором изменение величины напряжения дуги тесно связано с изменением величины тока и скорости подачи

проволоки, определяем оптимальные параметры режима сварки обеспечивающие минимальные деформации кромок.



Рисунок 15 – Внешний вид штуцера, приваренного к корпусу

Однако вид подготовки кромок под сварку, определение количества проходов, изменениями параметров режима сварки не дали необходимого результата. Деформация кромок превышает требования чертежа изделия ГЭЭ-1.

### 3.2 Влияние технологических приемов на деформации кромок

Известно, что причиной напряжений могут быть внешняя (рабочая) нагрузка или внутренние изменения, обусловленные неравномерным остыванием изделия. В работах автора [16] определена зависимость предела текучести стали 12Х18Н10Т в зависимости от температуры (рисунок 5), что позволяет применить технологию охлаждения в процессе сварки. Для этого выбираем среду охлаждения, давление сжатого воздуха, скорость охлаждения шва. Разрабатываем технику применения технологии охлаждения шва в процессе сварки.

Предварительные эксперименты проводим при следующих параметрах (таблица 16)

Таблица 16 – Параметры режима охлаждения шва

Наименование параметра	Единица измерения	Величина
Среда охлаждения	-	сжатый воздух
Давление сжатого воздуха	кг/см <sup>2</sup>	5-7
Скорость охлаждения $V_{\text{охл}}$	°С/мин	30-32
Температура охлаждения $T_{\text{охл}}$	°С	не более 60

Способ охлаждения: после каждого прохода по диаметру штуцера с обратной стороны основной сварки (рисунок 16).



Рисунок 16 – Подача сжатого воздуха

В таблице 17 приведены параметры режимов сварки и охлаждения шва.

Таблица 17 - Параметры режимов сварки и охлаждения шва

I, А	V, В	$V_{\text{под}}$ м/мин	$V_{\text{св}}$ м/ч	Кол-во проход.	$\Delta$ , мм	Скорость охлаждения $V_{\text{охл}}$ °С/мин	Температура охлаждения $T_{\text{охл}}$ °С
240	28	8-9	24	3	Не более 1	30-32	не более 60

На рисунке 17 показан штуцер, приваренный с применением технологии охлаждения.



Рисунок 17 – Внешний вид штуцера, приваренного с применением технологии охлаждения

Применение технологии охлаждения позволяет значительно уменьшить деформацию кромок.

#### 4 Проектирование технологии приварки штуцера к корпусу аппарата ГЭЭ-1с охлаждением шва

Применение сложной подготовки кромок под сварку и технологию охлаждения, требует разработки технологии приварки штуцера к корпусу аппарата ГЭЭ-1.

Технология приварки включает в себя следующие операции.

1. Подготовка кромок под сварку производится при помощи ручного электроинструмента. Конструктивные элементы которого показаны на рисунке 18.

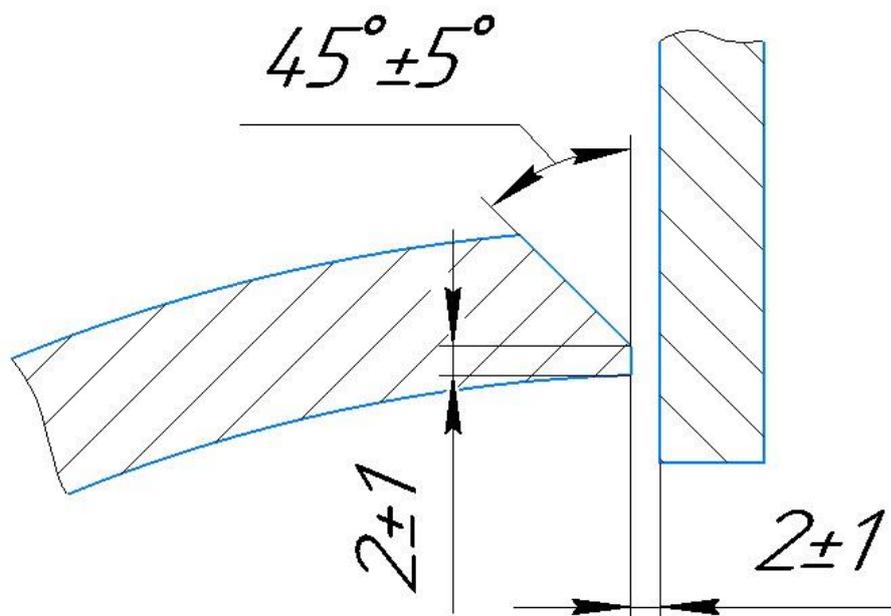


Рисунок 18 - Конструктивные элементы кромки У12-2[17]

2. Сборка штуцера с корпусом производится в соответствии с рисунком 18, выдерживая размер вылета штуцера согласно требованию чертежа аппарата ГЭЭ-1 (рисунок 19). Произвести прихватку в четырех местах (режимы прихватки в таблице 18).

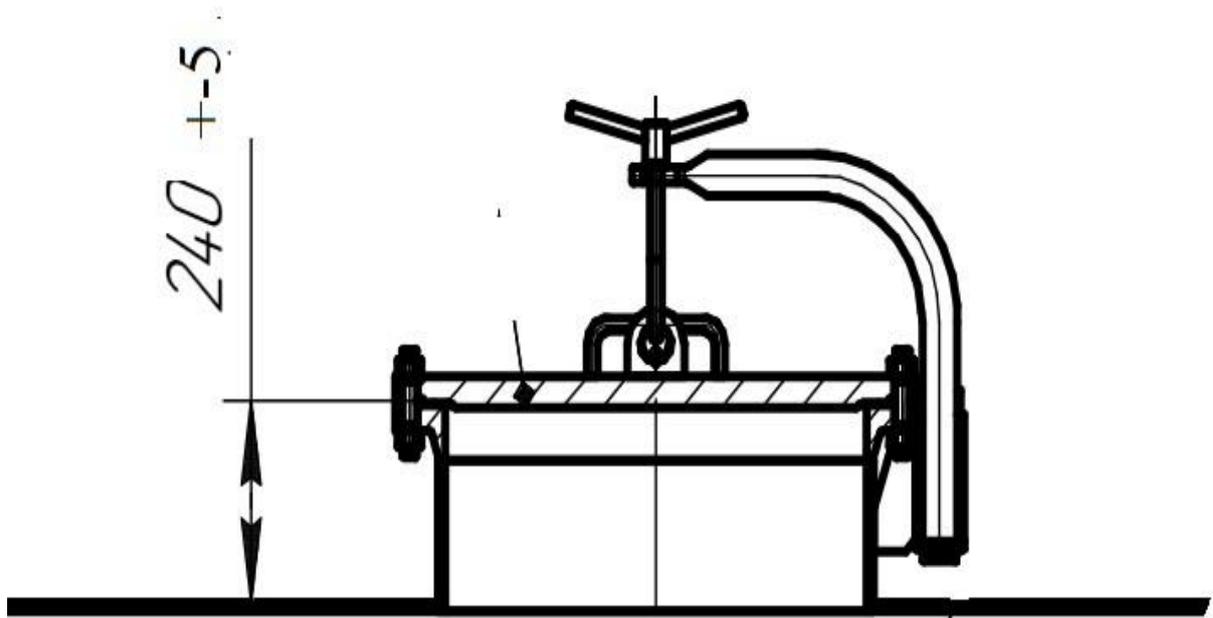


Рисунок 19 - Требование к изготовлению аппарата ГЭЭ-1

3. Сварка корневого шва производится в нижнем положении (рисунок 20) с использованием инвертора Сварог ТЕСН MIG 5000, механизма подачи проволоки CS-501 и сварочной горелки ТЕСН MS 36 (рисунок 21 а,б,в) режимы сварки приведены в таблице 12. После окончания сварки корневого шва, произвести охлаждения с обратной стороны шва в соответствии с параметрами режимов охлаждения (таблица 18).

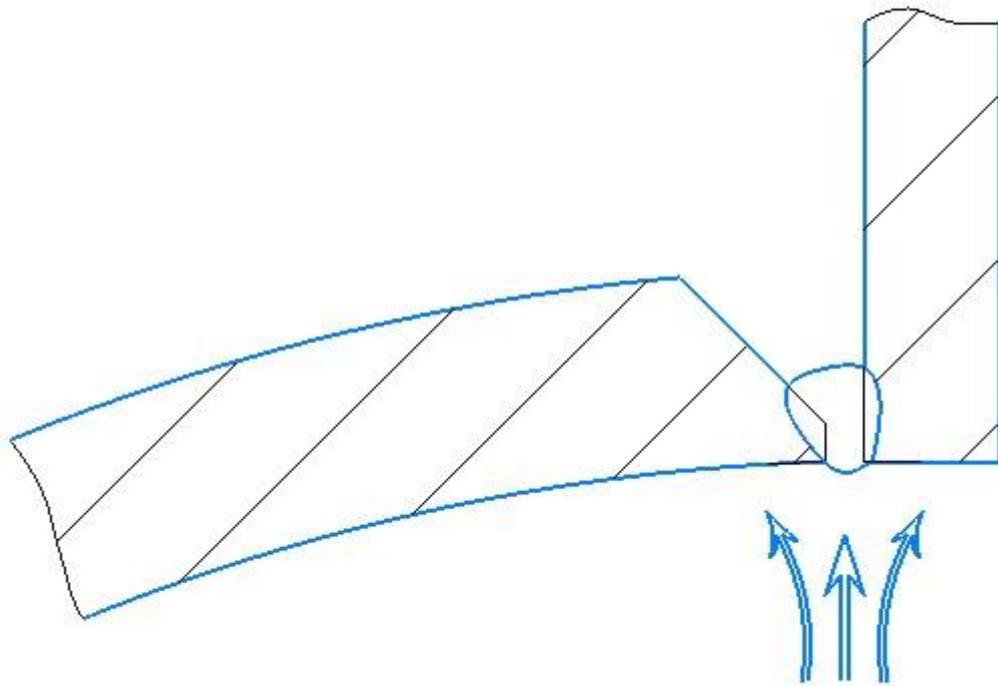


Рисунок 20 – Схема сварки корневого шва с охлаждением



Рисунок 21 – Комплект оборудования для механизированной сварки в защитном газе.

4. Сварка облицовочного шва производится в нижнем положении (рисунок 22) на том же комплекте оборудования, что и сварка корневого шва. Охлаждение производится в процессе сварки с обратной стороны шва. Режимы сварки и параметры охлаждения приведены в таблице 18.

5. После охлаждения производится зачистка корневого шва с обратной стороны шва ручным электроинструментом с целью устранения дефектов.

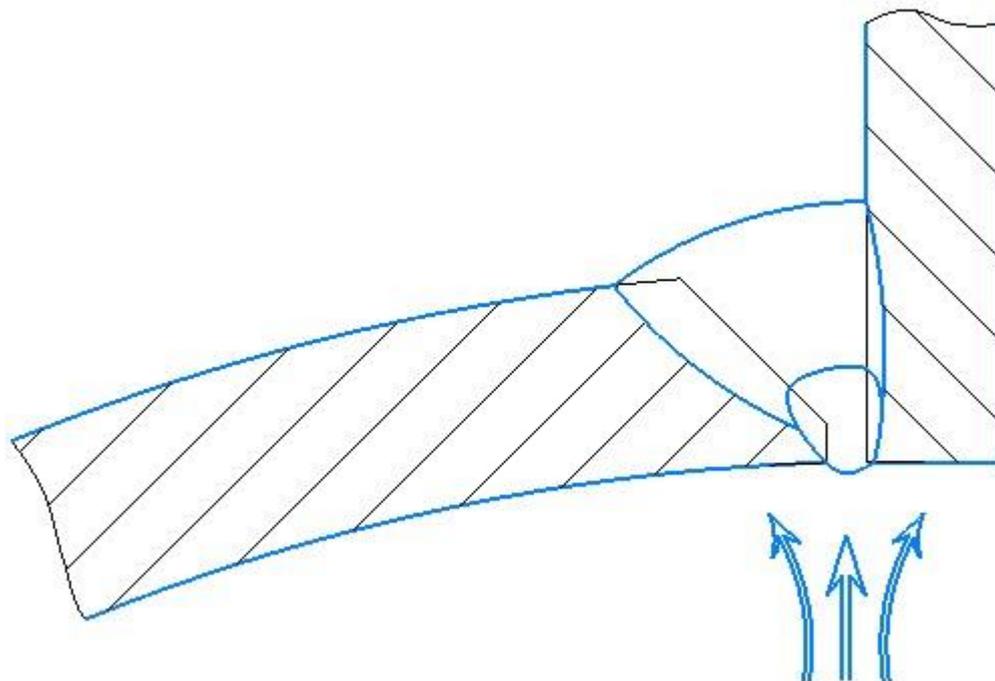


Рисунок 22 - Схема сварки облицовочного шва с охлаждением

6. Сварка внутреннего шва стороны производится в нижнем положении (рисунок 23) на том же комплекте оборудования. Охлаждение производится в процессе сварки с обратной стороны шва. Режимы сварки и параметры охлаждения приведены в таблице 18.

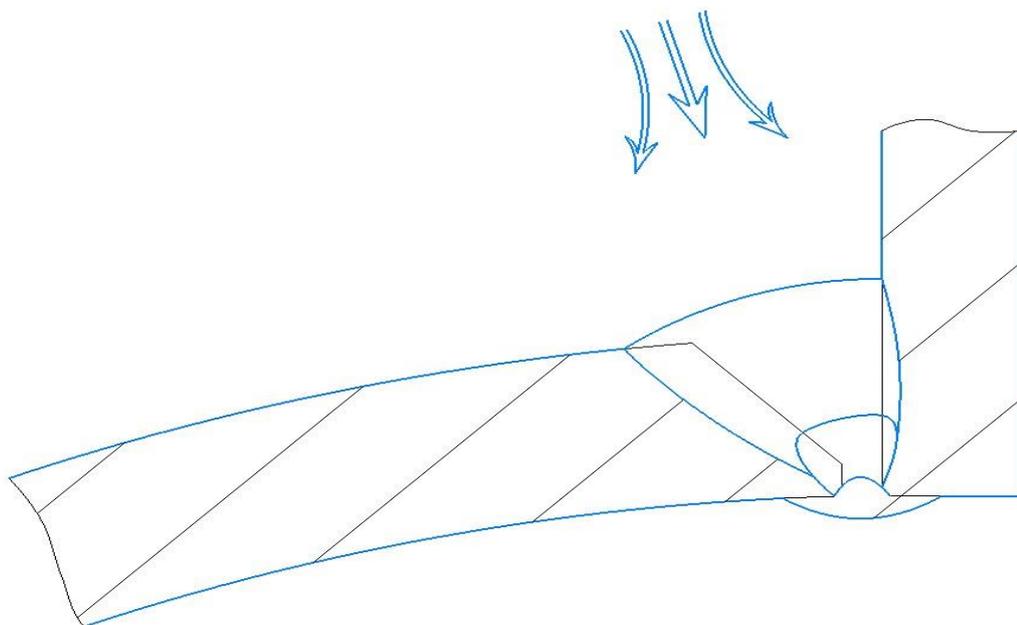


Рисунок 23 - Схема сварки внутреннего шва с охлаждением

7. Контролировать геометрические параметры шва (рисунок 24).

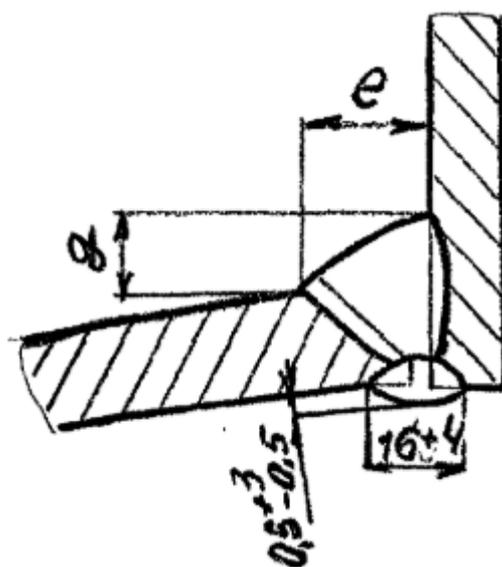


Рисунок 24 – Геометрические размеры шва У12-2[17]

Ширина облицовочного шва  $e = 18$  мм.

Ширина внутреннего шва 17 мм.

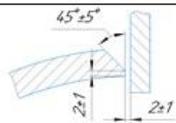
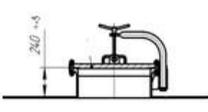
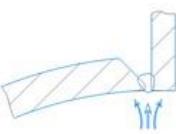
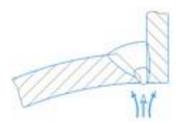
Высота облицовочного шва  $g=4$  мм.

Высота внутреннего шва 3,5 мм.

8. Контроль величины деформации производится при помощи уровня и металлической линейки. Величина деформации не превышает 3 мм.

Результаты разработки технологии механизированной сварки штуцера аппарата ГЭЭ-1 с охлаждением отражены в таблице 18

Таблица 18 – Технология приварки штуцера к корпусу аппарата ГЭЭ-1

Операция	Эскиз	Оборудование	Режимы сварки				Примечание	
			I, A	U, V	$V_{\text{пол.}}$ , м/мин	$V_{\text{ср.}}$ , м/ч		
Подготовка кромок		Угловая шлифовальная машинка	-	-	-	-	У12-2, РД 26-18-8-89	
Сборка и прихватка		Инвертор Сварог ТЕСН MIG 5000, механизм подачи проволоки CS-501 и сварочная горелка ТЕСН MS 36	240	28	8-9	24		
Сварка корневого шва		Инвертор Сварог ТЕСН MIG 5000, механизм подачи проволоки CS-501 и сварочная горелка ТЕСН MS 36	240	28	8-9	24		Охладить сжатым воздухом до температуры $T_{\text{охл.}}$ = не более 60 °С
Сварка облицовочного шва		Инвертор Сварог ТЕСН MIG 5000, механизм подачи проволоки CS-501 и сварочная горелка ТЕСН MS 36	240	28	8-9	24		Охладить сжатым воздухом до температуры $T_{\text{охл.}}$ = не более 60 °С
Сварка внутреннего шва		Инвертор Сварог ТЕСН MIG 5000, механизм подачи проволоки CS-501 и сварочная горелка ТЕСН MS 36	240	28	8-9	24		Охладить сжатым воздухом до температуры $T_{\text{охл.}}$ = не более 60 °С

## Заключение

В результате выполненной работы на тему «Технология приварки штуцера к корпусу аппарата ГЭЭ-1 с минимальными деформациями» выбран механизированный способ сварки плавящимся электродом сплошного сечения в среде смеси защитных газов  $Ar+CO_2$  на оборудовании с пологопадающей внешней вольтамперной характеристикой.

Наибольшее влияние на величину деформации оказывает величина тепловложения. Для определения минимальной величины при сварке штуцера к корпусу разработана методика проведения исследования на реальных образцах на базе производства ООО «ПТИМАШ», в соответствии с которой проведены исследования при использовании механизированной сварки, плавящимся электродом сплошного сечения в защитных газах.

Результаты проведённых исследований показали, что регулирование таких параметров как напряжение дуги, скорость подачи присадочной проволоки, количество проходов и выбор подготовки кромок под приварку удалось снизить деформацию до 6 мм. В связи с этим предложено принудительное охлаждение. Для этого разработана техника принудительного охлаждения шва и околошовной зоны посредством сжатого воздуха после каждого прохода с противоположенной стороны шва. Принудительное охлаждение шва и околошовной зоны позволило снизить деформацию в зоне сварки до 2 мм.

В результате проведенных исследований при сварки углового шва использование таких приемов как подготовка кромок под сварку, что увеличило число проходов тем самым уменьшало величину тепловложение при сварке;

Определение параметров режима сварки влияющих, на тепловложение и принудительное охлаждение после сварки каждого слоя, позволило уменьшить деформации. В связи с этим возникла необходимость в проектировании технологии сварки штуцера к корпусу аппарата ГЭЭ-1 механизированной сваркой плавящимся электродом в среде смеси защитных газов. На площадке производства емкостного оборудования ООО «ПТИМАШ» данная разработанная технология сварки штуцера к корпусу с принудительным охлаждением шва и околошовной зоны сжатым воздухом опробована.

## Список используемых источников

1. Алекин Л.Е. и Ильченко М.А. Влияние параметров режима и точности сборки соединения на формирование шва на весу. – «Автоматическая сварка», 1967, №1
2. Бельфор М.Г. и Лебедев В.К. Оборудование для электродуговой и электрошлаковой сварки и наплавки. М., Профтеиздат, 1961
3. Гинзбург Г.М., Бибииков А.В. Автоматическая аргоно-дуговая сварка неповоротных стыков из стали 1Х18Н9Т. – «Сварочное производство», 1962, №2
4. Головченко В.С. Полуавтоматическая сварка плавящимся электродом в защитных газах. – «Автоматическая сварка», 1965, №10
5. ГОСТ 8713-79 Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. Разработан Государственным комитетом СССР по стандартам, Академией наук УССР. 1979
6. ГОСТ 16037-80 Соединения сварные стальных трубопроводов. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 24 апреля 1980 г. N 1876 дата введения установлена 01.07.81
7. Гонсеровский Ф.Г. Влияние технологических факторов на качество аустенитных швов. – В сб.: Некоторые вопросы производства турбин. М.-Л., Машгиз. 1960
8. Заруба И.И. и др. Сварка в углекислом газе. М., Гостехиздат, 1966
9. Каховский Н.И., Готальский Ю.Н. и Трущенко А.А. Автоматическая и полуавтоматическая сварка. М., Профтехиздат, 1961
10. Каховский Н.И. и Дидебумидзе Л.В. Дуговая сварка 17%-ных хромистых сталей. – «Автоматическая сварка», 1966, №2

11. Крутиковский В.Г. и Никонов И.П. Контроль сварных соединений. М.-Л., Машгиз, 1959
12. Медовар Б.И. Сварка хромоникелевых аустенитных сталей. М.-Л., Машгиз, 1958
13. Назаров С.Т. Методы контроля качества сварных соединений. М.-Л., Машгиз, 1961
14. Окерблом Н.О. Сварочные деформации и напряжения. М.-Л., Машгиз, 1948
15. Петров А.В., Славин Г.А. Исследование технологических возможностей импульсной дуги. – «Сварочное производство», 1966, №2
16. Петров В.Н. Сварка и резка нержавеющей сталей. (издание 2 переработанное и дополнено). Издательство «Судостроение», Ленинград, 1959 год
17. РД 26-18-8-89 Сварные соединения приварки люков, штуцеров и муфт. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. Разработан и внесен Центральным Конструкторским Бюро Нефтеаппаратуры (ЦКБН), 1989
18. Справочник по сварке. Т. 1, 2. М.-Л., Машгиз, 1960, 1962
19. Табелев В.Д. Полуавтоматическая аргоно-дуговая сварка плавящимся электродом. - «Сварочное производство», 1960, №1
20. Тульков М.Д. Сварка в среде защитных газов с формированием корня стыковых швов без подкладок. - «Сварочное производство», 1955, №11
21. Химушин Ф.Ф. Нержавеющие стали. М., «Металлургия», 1967
22. Шапиро И.С. и Бейдер Б.Д. Высокопроизводительные режимы газозлектрической резки нержавеющей сталей. – «Автоматическая сварка», 1965, №7

23. Шапиро И.С. и др. Подготовка кромок под сварку на нержавеющей сталях воздушно-дуговой резкой. - «Сварочное производство», 1965, №5
24. Allen G. Aluminium welding using the inert plus nitrogen gas metal-arc process. «The Welding Journal», 1959, N 3
25. Bauer B.H., Crevis N. and oth. Mild steel welding with argon/CO<sub>2</sub> mixtures. «British Welding Journal», 1961, N 7
26. Clews K.J/ Inert gas shielded metal arc welding of thick copper without preheat, «British Welding Journal», 1961, N 7
27. Inoxtrade [электронныйресурс]. URL:  
<https://inoxtrade.ru/info/commoninfo/item100590/stal-12h18n10t/>
28. Ludvig H.C. The measurement of temperature in welding arc, «Application and industry», 1960, N 48
29. Metal.place [электронныйресурс]. URL:  
<https://metal.place/ru/wiki/12kh18n10t/>
30. Phipps G.A., Smith A.S. High Current CO<sub>2</sub> – Shielded arc Welding, «British Welding Journal», 1962, N 10
31. StugFile [электронныйресурс]. URL:  
<http://stugfile.net/preview/4300435/page:6/>
32. StugFile [электронныйресурс]. URL:  
<https://studfile.net/preview/2598595/page:94/>
33. User Manual. SEE device-1-2-2-80-0,07- K (item E-29)