

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

**ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

(институт)

«Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(кафедра)

15.04.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки, специальности)

направленность «Технология и оборудование пайки»

(наименование направленности, специализации)

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

на тему: Исследование процессов и разработка технологии сварки-пайки  
труб с силикатно-эмалевым покрытием

Студент	<u>Н.С. Алексеев</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Научный руководитель	<u>А.И. Ковтунов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)

Руководитель программы д.т.н., проф. Перевезенцев Б.Н. \_\_\_\_\_  
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия ) (личная подпись)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой д.т.н., проф. Ельцов В.В. \_\_\_\_\_  
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия ) (личная подпись)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

Тольятти 2017

## АННОТАЦИЯ

Целью работы является повышение коррозионной стойкости трубопроводов системы пожаротушения вертикальных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов из сталей с силикатно-эмалированным покрытием за счет предложения технологии сварки-пайки труб с эмалированным покрытием тем самым повышая качество сварных соединений кольцевых стыков труб с силикатно-эмалевым покрытием.

В магистерской диссертации предложена технология по сварке-пайке труб с силикатно-эмалевым покрытием с использованием в качестве электродного материала проволоки на основе медных сплавов (CuSi3 и Dt 2-1367) которые обладают более высокой коррозионной стойкостью, чем сталь и не требуют защиты от коррозии. Проведены исследования процессов сварки-пайки труб с силикатно-эмалевым покрытием с применением проволок на основе медных сплавов.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографического списка. Объем основной части работы состоит из 91 страницы машинописного текста.

Диссертация содержит 44 рисунка и 15 таблиц. Список литературы включает 30 наименований.

По материалам диссертации опубликовано 3 работы, в том числе 2 статьи в журналах, рекомендованные ВАК.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1 Сварка труб с силикатно-эмалевым покрытием	7
1.1 Технологии эмалирования труб, свойства и область применения	7
1.2 Описание вертикальных резервуаров и систем пожаротушения	11
1.2.1 Описание вертикальных резервуаров	11
1.2.2 Системы пожаротушения вертикальных резервуаров	16
1.3 Технологии сварки труб с силикатно-эмалевым покрытием	38
1.4 Анализ применяемых присадочных материалов	43
1.4.1 Применение проволоки Св-08Г2С для сварки труб с силикатно-эмалевым покрытием	43
1.4.2 Применение проволоки Св-04Х19Н9 для сварки труб с силикатно-эмалевым покрытием	45
1.4.3 Применение никеля для сварки труб с силикатно-эмалевым покрытием	46
1.4.4 Применение проволоки на основе нихрома для сварки труб с силикатно-эмалевым покрытием	50
1.4.5 Применение цинка для сварки труб с силикатно-эмалевым покрытием	53
2 Методика исследования процессов сварки-пайки труб с силикатно-эмалевым покрытием	57
2.1 Исследование процессов сварки-пайки стали с эмалевым покрытием	57
2.2 Определение механических свойств сварных соединений	64
2.3 Определение химического состава сварных швов	68
2.4 Исследование коррозионной стойкости сварных соединений	69
3 Исследование процессов сварки-пайки стали с силикатно-эмалевым покрытием с применением медных электродных проволок	71

3.1 Исследование процессов сварки-пайки труб с эмалевым покрытием	71
3.2 Исследование структуры и химического состава металла шва	74
3.3 Испытание механических свойств сварных соединений	76
4 Технология сварки-пайки труб с силикатно-эмалевым покрытием	80
4.1 Очистка труб и деталей трубопровода	80
4.2 Подготовка кромок	81
4.3 Нанесение флюса на торцы соединяемых труб	82
4.4. Сборка труб и деталей трубопровода	82
4.5. Сварка-пайка стыков	83
4.6 Контроль качества соединений	85
Заключение	87
Список литературы	88

## Введение

Высокие требования предъявляются к долговечности и надежности эксплуатируемых трубопроводов системы пожаротушения вертикальных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов. Данные требования определяют необходимость высокой антикоррозионной защиты труб и их сварных соединений. В настоящее время в зависимости от природно-климатических условий, до 40 % аварий на трубопроводах связано с коррозионными разрушениями. Практика показала, что 90 % коррозионных разрушений трубопроводов происходит на сварных соединениях вследствие их высокой электрохимической гетерогенности, концентрации напряжений, а иногда и некачественного выполнения шва. Таким образом, сварка и защита от коррозии трубопроводов являются важными факторами, от которых зависит надежность трубопроводной системы.

Одним из наиболее эффективных способов антикоррозионной защиты труб является заводское нанесение антикоррозионных покрытий.

Эмалирование как способ защиты от коррозии имеет такие преимущества как: низкая стоимость материалов, необходимых для изготовления эмалированных изделий, быстроте и экономичности процесса эмалирования, высоким эксплуатационным и декоративным качествам эмалированного металла (особенно высокой коррозионной стойкости) в последнее время применяют в строительстве нефтегазовых магистральных трубопроводов [1]. Применение эмалей для защиты внутренней поверхности труб в теплоэнергетике и нефтеперерабатывающей промышленности, а также изделий химического машиностроения продлевает срок их службы в 4-5 раз.

Трубы с внутренним эмалированным покрытием стали широко применяться в системе пожаротушения резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов. Трубопроводы в системе пожаротушения при эксплуатации резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов находятся в условиях

повышенной влажности, что приводит к интенсивной коррозии внутренней поверхности труб.

Коррозионная надежность трубопроводов системы пожаротушения резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов из труб с эмалевым покрытием определяется коррозионной стойкостью внутренней поверхности сварного шва (корень шва). Так как внутренняя поверхность особо уязвима в силу ее труднодоступности для защиты от коррозии, и металла шва как активного анода, обладающего меньшей коррозионной стойкостью. Обычно применяемые способы защиты внешней поверхности (в том числе и зоны сварного шва) от коррозии посредством изоляционных покрытий и электрохимической защиты применительно к внутренней поверхности оказываются трудноосуществимыми. Именно поэтому разработка технологии сварки эмалированных трубопроводов с повышенной коррозионной стойкостью внутренней поверхности соединения является актуальной проблемой [1,2]

Сварка эмалированных труб системы пожаротушения резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов обычными методами сварки невозможно без возникновения серьезных дефектов эмалевого покрытия.

Применяемые в промышленности технологии сварки труб с эмалированными покрытиями приводят к дефектам эмалированного покрытия, что снижает коррозионную стойкость труб.

Поэтому целью работы является повышение срока эксплуатации трубопроводов с силикатно-эмалевым покрытием систем пожаротушения вертикальных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов за счет повышения коррозионной стойкости сварных швов.

## 1 Сварка труб с силикатно-эмалевым покрытием

Трубы с эмалевым покрытием широко применяются в системе пожаротушения вертикальных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов. В соответствии с нормативной документацией (РД-13.220.00-КТН-014-10) для растворопроводов постоянно заполненных раствором пенообразователя (напорный коллектор растворопровода в здании насосной пожаротушения, растворопроводы в пункте приготовления раствора, растворопроводы кольцевой сети, растворопроводы в перекачивающей насосной); для сухотрубных растворопроводов на участке от электропроводной задвижки до стенки резервуара, для внутренней разводки сухотрубов в защищаемых зданиях (помещениях) должны применяться трубы с внутренним антикоррозионным покрытием типа силикатно-эмалевое (или другие, не снижающие огнетушащую способность раствора пенообразователя).

Система пожаротушения на вертикальных резервуарах для хранения нефти и нефтепродуктов обеспечивает подачу пены сверху на поверхность нефти и нефтепродукта.

### 1.1 Технологии эмалирования труб, свойства и область применения

Особый способ создания неметаллических покрытий на сталях — эмалирование. Эмаль - прочно сцепленное неорганическое стеклообразное покрытие на металле. Эмалирование заключается в том, что на поверхность изделия наносят в измельченном виде тонкий слой специального непрозрачного стекла - эмали. Эмаль закрепляют на поверхности изделия путем обжига изделия в специальных печах [1,2]

Силикатная эмаль – это преимущественно стеклообразная и затвердевшая неорганическая масса преимущественно из оксидов, основой

для неорганической массы является кремнезем. Эмаль наносится одним или несколькими слоями на металлические изделия, например на стальные трубы и фасонные изделия [2].

Для изготовления теплообменной аппаратуры зачастую применяются трубы с наружным эмалированным покрытием. Также широко применяются внутреннее силикатно-эмалевое покрытие трубопроводов предназначенных для транспортирования нефти и нефтепродуктов, а также различных кислот, щелочей, воды, а также и для других агрессивных сред с температурой эксплуатации до 250 °С. Применение труб с силикатно-эмалевым покрытием позволяет повысить коррозионную стойкость нефтегазопроводов, теплопроводов и трубопроводов горячего и холодного водоснабжения исключая коррозионное разрушение внутренних и наружных стенок трубы. Также эмалевое покрытие исключает возможность образования отложений парафина и соли при добыче и перекачке нефти и нефтепродуктов [3-5].

Основой материалов для создания силикатно-эмалевых покрытий являются природные силикаты и другие природные минералы. Поэтому не возникает вопроса о дефиците материалов. Так как количество данных элементов в земной коре достаточно велико. Известно, что такие элементы как кремнезем, Al (алюминий), Fe (железо), Co (кобальт), Ni (никель), Mg (магний), Li (литий), K (калий), Na (натрий) и другие составляет 98 % от общей массы земной коры и являются основой для применения в силикатной промышленности.

Силикатную эмаль изготавливают из сравнительно не дорогих и доступных материалов. Силикатно-эмалевое покрытие повышает коррозионную стойкость металла, также эта эмаль устойчива против щелочей и кислот при температуре эксплуатации до 300 °С. Имея достаточную прочность и твердость, покрытия обладают длительным сроком службы около 60 лет. Имеющимся недостатком эмалевого покрытия является сопротивляемость удару, но это относится в основном к деталям с наружным

покрытием, однако, можно повысить сопротивляемость к удару за счет применения защитных оберточных материалов [2].

Существует несколько технологий получения эмалированных труб, такие как [1,2]:

- эмалирование трубы в печах;
- эмалирование трубы при помощи индукторов

Основным недостатком эмалирования труб в печах является сложность нанесения покрытия из-за больших габаритов печей, также сложный технологический процесс заключающийся в многократном нагреве трубы для равномерного нанесения покрытия, так как высота обжигательных камер где эмалируются трубы достигает 12 метров, поэтому присутствует неравномерный нагрев. Перечисленные недостатки значительно повышают сложность изготовления труб с эмалевым покрытием, следовательно и стоимость такой продукции будет очень высока [1,2].

Рассматривая индукционный метод эмалирования труб можно сказать, что он исключает все перечисленные недостатки и ограничения при изготовлении труб с эмалевым покрытием в печах. Что значительно снижает стоимость эмалирования, а следовательно и самой продукции. Также при изготовлении труб с эмалевым покрытием индукционным методом качество эмалевого покрытия намного выше в сравнении с печным методом [1,2].

Сущность индукционного метода заключается в том, что для нагрева эмалируемого металла и расплавления эмалевого шликера применяют электрические токи, которые индуцируются переменным магнитным полем.

При индукционном методе осуществляется бесконтактный нагрев за счет того, что в индукторе при помощи специального генератора наводятся токи высокой частоты, в результате чего вокруг индуктора возникает магнитное поле. Электромагнитное поле наводит вихревые токи в изделии (трубопроводе) вследствие чего она нагревается под действием джоулевого тепла [1,2].

Использование индукционного нагрева позволило перевести процесс формирования стеклоэмалевого покрытия из закрытых камер обжигательных печей на открытые платформы механических станков автоматического действия, чем повысило производительность.

Принцип индукционного эмалирования заключается в следующем: используется станина с компактным индуктором, который последовательно перемещаясь обходит эмалируемую поверхность и постепенно оплавляет шликерный слой. Индуктор, перемещается параллельно эмалируемой поверхности. Во время движения трубы сквозь индуктора, создаются вихревые токи, которые за несколько секунд нагревают ее до 900 °С. При этом, что шликерный слой, наносимый предварительно на наружные или внутренние стенки трубы, оплавляется и образуется стеклоэмалевое покрытие.

Благодаря точному регулированию температуры нагрева обеспечивается постоянная температура оплавления эмали. А быстрый нагрев и охлаждение предотвращает вскипание эмали (образование поверхностных и внутренних пузырей нарушающих целостность структуры покрытия). При автоматизации процесса эмалирования на станках-автоматах продолжительность нагрева металла значительно сокращается. Стеклоэмалевое покрытие оплавляется в течение нескольких секунд.

Изготовление эмалированных труб и соединительных деталей с внутренним или двухсторонним силикатно-эмалевым покрытием производится в соответствии с требованиями представленными следующими нормативными документами ГОСТ Р 51164-98, СНиП 2.05.06-85, СНиП Ш-42-80, ВСН 088-88, РД 39-132-94 «Правила по эксплуатации, ревизии, ремонту и отбраковке нефтепромысловых трубопроводов», РД 153-34.0-20.158-2003 «Типовая инструкция по защите трубопроводов тепловых сетей от наружной коррозии», технических условий отечественных заводов-изготовителей трубной эмалированной продукции и другими документами, утвержденными в установленном порядке.

Техническая характеристика безгрунтового силикатно-эмалевого покрытия приведена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Техническая характеристика безгрунтового силикатно-эмалевого покрытия [1,2]

№№ п/п	Показатели	Основные значения
1.	Химическая устойчивость в соответствии с ОСТ 26-01-1255-83, мг/см <sup>2</sup> - 10%-ной H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - 20,24%-ной HCL - 10%-ной NaOH	0,2 – 0,25 0,3 – 0,4 0,75 - 0,9
2.	Термостойкость, °С	220 – 250
3.	Толщина покрытия, мкм	350 – 450
4.	Эксплуатационный температурный интервал, °С	- 150 - +350
5.	Прочность на сжатие, МПа	1000 – 1600
6.	Прочность на растяжение, МПа	100 – 160
7.	Модуль упругости, МПа	577 – 700
8.	Твердость по шкале МООСА (10-алмаз)	5 – 7
9.	Прочность сцепления, %	91,5 – 99
10.	Долговечность (в зависимости от транспортируемой среды), годы	46 – 50

## 1.2 Описание вертикальных резервуаров и систем пожаротушения

### 1.2.1 Описание вертикальных резервуаров

Вертикальные резервуары представляют собой вертикальную емкость, которая является наземным строением. И предназначена для приема, хранения, подготовки и учета (количественного и качественного) и выдачи

жидких продуктов. Основным преимуществом вертикальных резервуаров перед горизонтальными является то, что вертикальный резервуар занимает меньшую площадь на предприятии, тем самым позволяя устанавливать большее количество резервуаров и хранить больший объем продукции, повышая экономическую эффективность. Одними из распространенных продуктов подвергаемых добыче, транспортировке хранению и переработке являются нефть и нефтепродукты [6]. Резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов относятся к I - повышенному уровню ответственности сооружений согласно ГОСТ 27751 (Надежность строительных конструкций и оснований) и СНиП 2.01.07-85 (Нагрузки и воздействия) [7,8].

В зависимости от объема хранимого продукта резервуары подразделяются на четыре класса опасности [6]:

- класс I - резервуары объемом более 50000 м<sup>3</sup>;
- класс II - резервуары объемом от 20000 включительно до 50000 м<sup>3</sup> включительно, а также резервуары объемом от 10000 до 50000 м<sup>3</sup> включительно, расположенные непосредственно по берегам рек, крупных водоемов и в черте городской застройки;
- класс III - резервуары объемом от 1000 и менее 20000 м<sup>3</sup>;
- класс IV - резервуары объемом менее 1000 м<sup>3</sup>.

Класс опасности должен учитываться при назначении:

- специальных требований к материалам, методам изготовления, объемам контроля качества;
- коэффициентов надежности по ответственности.

По конструктивным особенностям вертикальные цилиндрические резервуары делятся на следующие типы (Рисунок 1.1):

- резервуар со стационарной крышей без понтона (РВС);
- резервуар со стационарной крышей с понтоном (РВСП);
- резервуар с плавающей крышей (РВСПК).

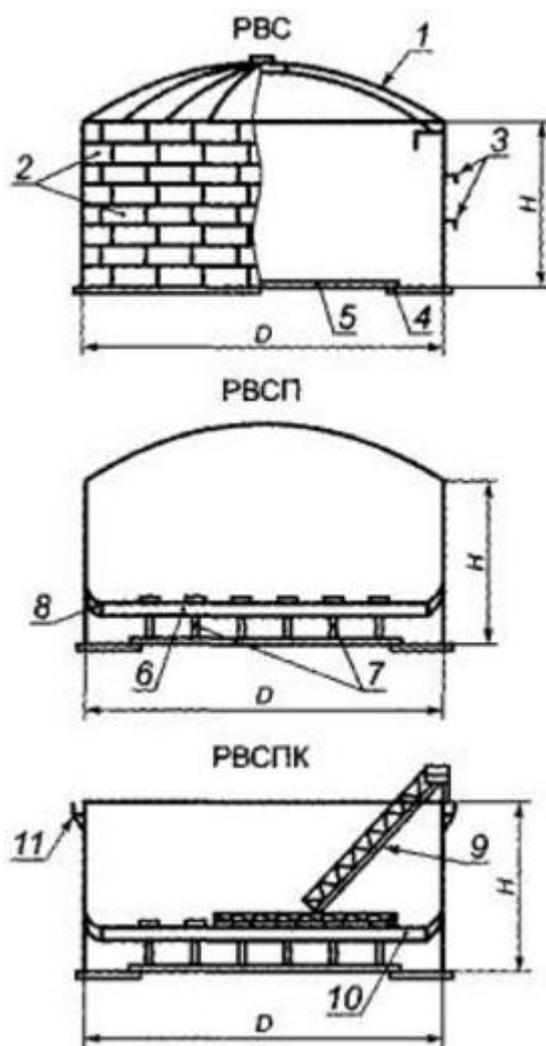


Рисунок 1.1 – Типы резервуаров [6]

где: 1 - каркас крыши; 2 - пояса стенки; 3 - промежуточные кольца жесткости; 4 - кольцо окраек; 5 - центральная часть дна; 6 - понтон; 7 - опорные стойки; 8 - уплотняющий затвор; 9 - катуная лестница; 10 - плавающая крыша; 11 - верхнее кольцо жесткости (площадка обслуживания)

Рекомендуемые размеры резервуаров в соответствии с ГОСТ 31385-2008 (Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов) представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Рекомендуемые размеры резервуаров [6]

Номинальный объем $V$ , м <sup>3</sup>	Тип резервуара			
	РВС, РВСП		РВСПК	
	Внутренний диаметр $D$ , м	Высота стенки $H^*$ , м	Внутренний диаметр $D$ , м	Высота стенки $H^*$ , м
100	4,73	6,0	-	-
200	6,63			
300	7,58	7,5		
400	8,53			
700	10,43	9,0		
1000		12,0	12,33	9,0
2000	15,18		15,18	12,0
3000	18,98		18,98	
5000	22,8		22,8	
	20,92	15,0		
10000	28,5	18,0	28,5	18,0
	34,2	12,0	34,2	12,0
20000	39,9	18,0	39,9	18,0
	47,4	12,0		
30000	45,6	18,0	45,6	18,0
40000	56,9		56,9	
50000	60,7		60,7	
100000	-		-	

\* Уточняется в зависимости от ширины листов стенки.

Выбор типа резервуара проводится в зависимости от классификации нефти и нефтепродуктов (ГОСТ 1510) по температуре вспышки и давлению насыщенных паров при температуре хранения [6]:

а) с температурой вспышки не более 61 °С с давлением насыщенных паров от 26,6 кПа (200 мм рт. ст.) до 93,3 кПа (700 мм рт. ст.) (нефть, бензины, авиакеросин, реактивное топливо) применяют:

- резервуары со стационарной крышей и понтоном или с плавающей крышей;
- резервуары со стационарной крышей без понтона, оборудованные ГО и УЛФ (ГО - устройство газовой обвязки УЛФ - установка улавливания легких фракций);

б) с давлением насыщенных паров менее 26,6 кПа, а также температурой вспышки свыше 61 °С (мазут, дизельное топливо, бытовой керосин, битум, гудрон, масла, пластовая вода) применяются резервуары со стационарной крышей без ГО.

В зависимости от видов хранимых продуктов применяются следующие типы резервуаров (Таблица 1.3)

Таблица 1.3 – Типы резервуаров для хранения нефтепродуктов [6]

Наименование хранимых продуктов	Типы резервуаров				
	РВСПК	РВСП	РВС		
			ГО	УЛФ	Без ГО и УЛФ
Нефть	+	+	+	+	-
Бензины автомобильные	+	+	+	+	-
Бензины авиационные	-	+	-	-	+
Бензин прямогонный	-	-	+	+	-
Топливо для реактивных двигателей	-	-	-	-	+
Топливо дизельное	-	-	-	-	+
Печное, моторное, нефтяное топливо (мазут)	-	-	-	-	+

Керосин технический, осветительный	-	-	-	-	+
Нефтяные растворители	+	+	+	-	+
Масла	-	-	-	-	+
Битумы нефтяные	-	-	-	-	+
Пластовая вода, эмульсия	-	-	-	-	+
<b>Примечания</b>					
1 Знак «+» означает, что резервуар применяется, знак «-» - не применяется.					
2 Конструкция резервуаров со стационарной крышей (РВС) должна быть пригодной для подключения их к установке сбора и утилизации парогазовой фазы, установке защиты инертным газом и ГО.					

Основные параметры, обеспечивающие надежность резервуара [6]:

- а) характеристики сечений основных несущих и ограждающих конструкций, свойства стали;
- б) качество сварных соединений;
- в) допуски при изготовлении и монтаже элементов конструкций.

### 1.2.2 Системы пожаротушения вертикальных резервуаров

Поскольку предприятия нефтехимической отрасли являются объектами с повышенной пожарной опасностью, поэтому обязательным при изготовлении, эксплуатации и проектировании вертикальных резервуаров является предусмотренная система пожаротушения нефти и нефтепродуктов.

Общие требования к установкам пенного пожаротушения [9]:

Для резервуаров хранения нефти (нефтепродуктов) объемом менее 1000 м<sup>3</sup> при обеспечении объекта расчетными запасами огнетушащих веществ пожаротушение необходимо предусматривать мобильными средствами пожаротушения, устанавливаемыми на пожарные гидранты или другие водоисточники.

Для резервуаров объемом от 1000 до 3000 м<sup>3</sup> необходимо применение установок пожаротушения с подачей огнетушащих веществ от мобильных средств пожаротушения при наличии на объекте расчетных запасов огнетушащих веществ и МСП с тактико-техническими характеристиками, соответствующими характеристикам установок. При этом данные резервуары должны быть оборудованы автоматическими средствами обнаружения пожаров, стационарными пеногенераторами, а также линейными вводами, выведенными за обвалование и оборудованными пожарными соединительными головками.

Для резервуаров РВС, РВСП, РВСПА, РВСПК объемом 3000 м<sup>3</sup> и более необходимо предусматривать автоматические установки пенного пожаротушения. При наличии на объекте не более двух резервуаров объемом от 3000 до 5000 м<sup>3</sup> включительно допускается оборудовать их установками пожаротушения с подачей огнетушащих веществ от МСП при выполнении условий, указанных в 8.1.1.2 документа РД-13.220.00-КТН-014-10.

Для РВС и ЖБР хранения маловязкой нефти (нефтепродуктов) необходимо предусматривать установки подслоного пожаротушения.

Для РВСП с алюминиевым понтоном, РВСПК и ЖБР с алюминиевым понтоном для хранения маловязкой нефти (нефтепродуктов) следует предусматривать установки комбинированного пожаротушения с одновременной подачи низкократной пены сверху в кольцевой зазор и в слой нефти (нефтепродукта).

Для РВСП со стальным понтоном, ЖБР со стальным понтоном для хранения маловязких нефти (нефтепродуктов) необходимо предусматривать установки подачи пены сверху как основные, и установки подслоного пожаротушения, как резервные. Для установок подачи пены сверху предусматривается трехкратное применение. Установки подслоного пожаротушения применяются, если установка подачи пены сверху своей задачи не выполнила. Для установок подслоного пожаротушения, в данном случае, должно предусматриваться расчетное количество пенообразователя,

пенообразователь для заполнения сухотрубных участков и 100 % резерв, обеспечивая двукратное применение установки.

Для РВС и ЖБР хранения высоковязкой нефти (нефтепродуктов) необходимо предусматривать установки пожаротушения подачей пены сверху на ее поверхность.

Для резервуаров с защитной стенкой, оборудованных установками пожаротушения, необходимо дополнительно предусматривать автоматизированную установку пожаротушения подачей пены сверху на поверхность нефти (нефтепродуктов) в кольцевое пространство между резервуаром и защитной стенкой. Условия запуска данной установки совместно с установками водяного охлаждения приведены в пп. 8.2.1.4-8.2.1.6 документа РД-13.220.00-КТН-014-10.

На растворопроводах установок пенного пожаротушения необходимо предусматривать гребенки для подсоединения мобильных средств пожаротушения.

Основные требования для линейных вводов и распределительных растворопроводов [9]:

Количество линейных вводов УПС для резервуаров объемом 3000 м<sup>3</sup> и более должно быть не менее двух.

На вертикальных стальных резервуарах должны предусматриваться кольцевые распределительные растворопроводы или пенопроводы, выполненные с уклоном в сторону линейных вводов.

В каре резервуаров на каждом горизонтальном участке трубопроводов линейных вводов, проложенных надземно, перед стенкой резервуара на расстоянии не менее 1 м должен устанавливаться фильтр с размером ячейки 4х4 мм.

Сухотрубные трубопроводы на участке линейного ввода УПС от электроприводной задвижки до резервуара в каре обвалования должны прокладываться подземно с уклоном к дренажным колодцам и оборудоваться сливными устройствами. Дренажные колодцы должны располагаться за

пределами обвалования. Для районов вечной мерзлоты, а также при отсутствии необходимости заездов автотранспорта и размещения ремонтной техники в каре резервуаров, допускается надземная прокладка.

Для контроля давления в период испытаний УПС в помещении электроприводных задвижек или пункте хранения и дозирования пенообразователя на линейном вводе (на сухотрубном участке растворопровода за электроприводной задвижкой), а также на входе наиболее удаленных КНП необходимо предусматривать штуцер с заглушкой для подсоединения показывающего манометра.

В установках пожаротушения подачей пены сверху должна обеспечиваться возможность слива раствора пенообразователя или пены из трубопроводов, расположенных на резервуарах, с помощью дренажных устройств размещаемых в обваловании или за его пределами в местах, удобных для обслуживания.

На питающих трубопроводах (сухотрубках) установки после электроприводных задвижек (в помещении для электроприводных задвижек) должны предусматриваться: - отвод диаметром DN 50 мм снизу трубы, оборудованный шаровым краном PN 1,6 МПа, головкой муфтовой ГМ-50 и головкой заглушкой ГЗ-50 для контроля за герметичностью электроприводной задвижки и промывки сухотрубных участков трубопроводов; - штуцер с заглушкой для подсоединения показывающего манометра. Расположение данного штуцера должно обеспечивать возможность контроля давления в период испытаний систем пенного пожаротушения и водяного охлаждения.

Выбор системы пожаротушения рекомендуется производить в соответствии с таблицей 1.4.

Таблица 1.4 – Выбор системы пожаротушения [9]

Тип резервуара	Объем резервуара, м <sup>3</sup>	Хранение нефтепродуктов низкой вязкости	Хранение нефтепродуктов высокой вязкости
Резервуар со стационарной крышей без понтона	До 1000	Передвижное пенное пожаротушение и водяное охлаждение	-
Резервуар со стационарной крышей без понтона	1000-2000	СППР + Передвижное водяное охлаждение	ВПНПП + Передвижное водяное охлаждение
Резервуар со стационарной крышей без понтона	3000-30000	Автоматическая СППР + автоматическое водяное охлаждение	Автоматическое ВПНПП + автоматическое водяное охлаждение
Резервуар со стационарной крышей с понтоном	3000-30000	Автоматическая комбинированная система тушения резервуаров + автоматическое водяное охлаждение	
Резервуар с купольной крышей и понтоном из алюминиевых сплавов	3000-50000		
Резервуар с плавающей крышей	20000-100000		

где: ВПНПП – система пожаротушения резервуаров с подачей пены в верхние слои резервуара (Рисунок 1.2); СППР – система подслоного пожаротушения (Рисунок 1.3); Комбинированная система – ВПНПП + СППР (Рисунок 1.4).

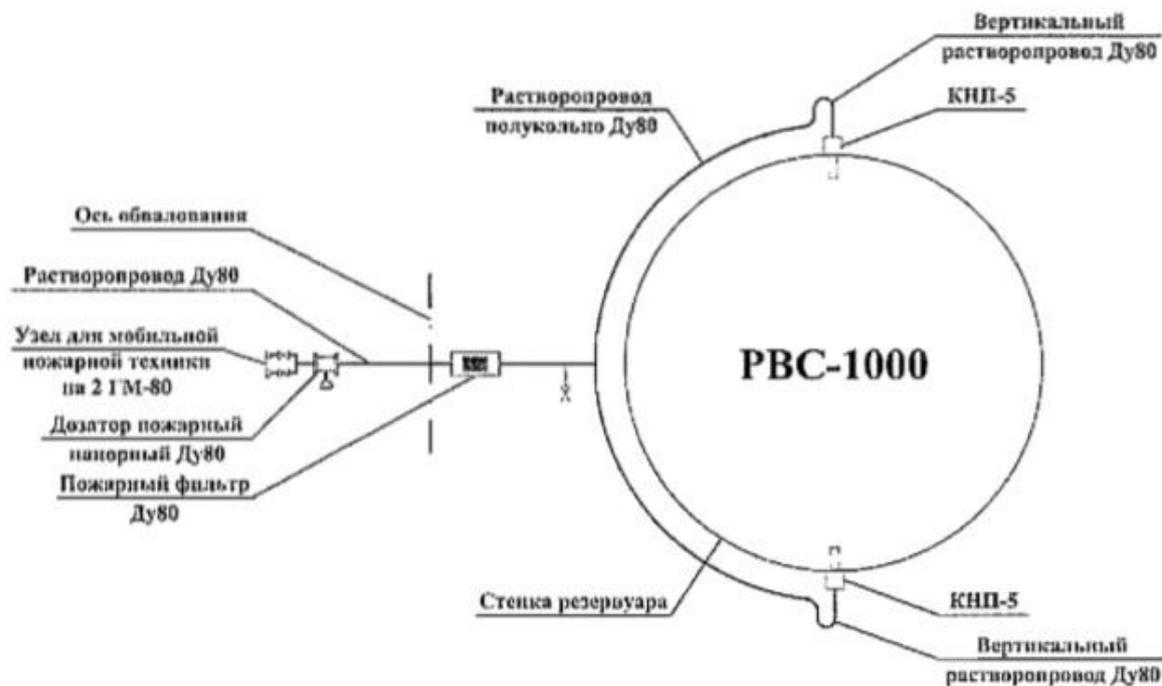


Рисунок 1.2 – Технологическая схема установки подачи пены сверху вертикального стального резервуара типа РВС-1000 для хранения высоковязкой нефти и нефтепродуктов с температурой вспышки более 28 °С [9]

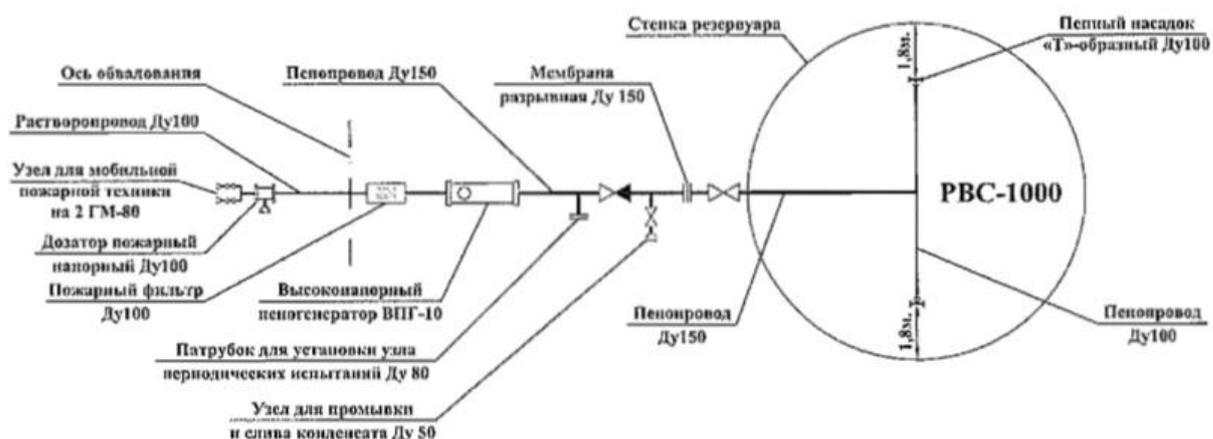


Рисунок 1.3 – Технологическая схема установки подслоного пожаротушения вертикального стального резервуара типа РВС-1000 для

хранения маловязкой нефти и нефтепродуктов с температурой вспышки более 28 °С [9]

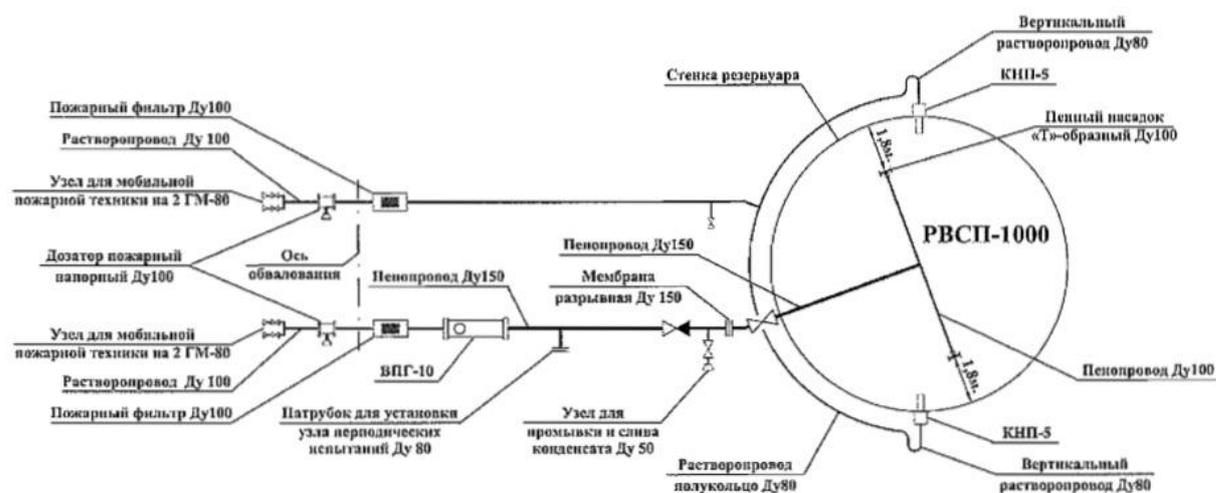


Рисунок 1.4 – Технологическая схема установки комбинированного пожаротушения вертикального стального резервуара типа РВСП-1000 с алюминиевым понтоном для хранения нефти и нефтепродуктов с температурой вспышки более 28 °С [9]

Для пожаротушения резервуаров в качестве материала используемого с целью тушения пожара используют пену. Которая получается из растворов фторсодержащих пленкообразующих пенообразователей. Сама пена состоит из воды, воздуха и пенообразователя [9-11].

При возникновении пожара в резервуар подается пена которая покрывает воспламенившийся продукт (нефть, нефтепродукты и другие вещества) не допуская контакта с кислородом и снижает температуру очага воспламенения. Сама пена медленно разлагается и быстро ликвидирует возгорание. В свою очередь системы пенного тушения резервуаров делятся по степени механизации на [9-11]:

- автоматические;
- стационарные;
- передвижные (работающие от передвижной пожарной техники).

Также существует несколько систем пожаротушения резервуаров:

- ВПНПП – система пожаротушения резервуаров с подачей пены в верхние слои резервуара (пена подается в области верхних слоев резервуара или непосредственно на поверхность хранящегося продукта);
- СППР – система подслоного пожаротушения (низкокатная пена подается в районе первого пояса резервуара непосредственно в хранящийся продукт);
- Комбинированная система – ВПНПП + СППР (происходит одновременная подача пены на поверхность и в слои продукта)

Рассмотрим отдельно каждую систему пожаротушения:

ВПНПП – При данном типе пожаротушения устройство для подачи пены образует пену и подает ее струями напоминающими по виду веер. В резервуары с понтоном пена подается на уплотняющий затвор, в резервуары с плавающей крышкой – в кольцевое пространство между стенкой и пеноудерживающим барьером, в резервуары со стационарной крышей на поверхность нефтепродукта. Данную систему стоит располагать так, чтобы струи пены охватывали не менее 15 метров периметра резервуара при уровне разлива продукта на высоте 6 метров от устройства подачи пены. Устройство для подачи пены располагают в верхнем поясе резервуара таким образом, чтобы не снижался полезный объем. Для этого стоит предусмотреть специальные конструкции – площадки для пеногенераторов [9-11].

Минимальное расстояние от низа врезки устройства подачи пены до максимального разлива продукта (либо плавающей крышки, либо понтона) определяются учитывая температурное расширение хранимого в резервуаре продукта и принимается не менее 100 мм от нижней части крепежного узла. При размещении устройства подачи пены на резервуаре типа РВСПК (резервуар с плавающей крышей) выше его стенки они оснащаются пеноотражающими экранами, которые блокируют выход пенных струй за пределы резервуара [9-11].

ВПНПП оборудуется линейными вводами для подачи пенопреобразователя к распределительным трубопроводам. Их количество должно быть не менее двух, также они должны располагаться на земле. На резервуарах РВС (резервуар со стационарной крышей без понтона) сооружаются кольцевые трубопроводы распределения пенопреобразователя. От кольцевого трубопровода к каждому устройству подачи пены ведет отдельный вертикальный трубопровод. Также между линейными вводами и стенкой РВС (резервуар со стационарной крышей без понтона) располагается фильтр с диаметром ячейки 4 мм. Дренажные колодцы располагаются за обваловкой [9-11].

Однако система пожаротушения ВПНПП имеет ряд недостатков:

В силу воздействия открытого огня в первые минуты пожара очень часто сетка устройства подачи пены открывается или выгорает, отрываются трубопроводы подачи пенообразователя, обрушивается кровля резервуара или тонет понтон, образуются закрытые полости. Поэтому очень часто ВПНПП применяют совместно с системой СППР (система подслоного пожаротушения) [9-11].

СППР (система подслоного пожаротушения). Принцип ее работы заключается в том, что в систему СППР поступает сигнал о пожаре от термочувствительного кабеля. Термочувствительный кабель располагается по периметру верхнего пояса резервуара. Вместе с этим от термоизвещателей в пожарное депо поступает сигнал о возникновении пожара. Раствор пенопреобразователя получается в результате работы пожарной машины или бака-дозатора. Стоит отметить, что бак-дозатор срабатывает намного оперативнее. Для присоединения пожарных машин предусмотрены пожарные рукава и гидранты. Для подачи раствора пенопреобразователя к пеногенераторам открываются отсекающие задвижки. Задвижки открываются вручную. При возникновении пожара система автоматики запускает подачу воды в бак-дозатор. Затем давление в баке-дозаторе возрастает и эта эластичная емкость сдавливается в результате чего из нее

вытесняется пенопреобразователь, который затем поступает в смеситель-дозатор. Одновременно с пенопреобразователем поступает вода. Из смесителя-дозатора под давлением происходит подача раствора пенопреобразователя на пеногенераторы. Из пеногенераторов поступает низкократная пленкообразующая пена которая направляется в напорные трубопроводы, которые оснащены разрывной мембраной, которая служит с целью герметизации трубопровода между резервуаром и пеногенератором [9-12].

При срабатывании системы СППР под действием давления пены мембрана разрывается, тем самым открывая для пены проход в резервуар. Далее пена распределяется по внутренней разводке и всплывает на поверхность, образуя негорючую и воздухонепроницаемую пленку. При работе системы СППР зона воспламенения локализуется по направлению от краев резервуара к его центру. Время прохождения пены от пеногенератора по поверхности нефти или нефтепродуктов составляет от 40 до 60 секунд [9-11].

Достоинствами системы СППР (подслойного пожаротушения) является то, что поскольку подача пены осуществляется в нижние холодные слои продукта что не снижает эффективность СППР которая не зависит от времени развития пожара. Пленка образующаяся на поверхности продукта имеет способность к самозатягиванию и образуется из всплывших на поверхность мелких пузырьков пены. В результате чего пленка перекрывает доступ кислорода к месту пожара. Также СППР не теряет эффективности при нарушении конструкции резервуара вследствие пожара (сворачивание стенки, обрушение крыши, деформации понтона). Система СППР обеспечивает резкое снижение температуры воспламенившегося продукта даже в резервуарах большого диаметра [9-11].

Основные показатели пенообразователей должны соответствовать значениям приведенным в таблице 1.5 [13].

Таблица 1.5 – Основные показатели пенообразователей

Наименование показателя	Значение показателя		
	Пенообразователи общего назначения	Пенообразователи целевого назначения (синтетические)	
		Углеводородные	Фторсодержащие
Внешний вид	Прозрачная жидкость без осадка	Однородная жидкость без осадка и расслоения	
Плотность при 20°C, кг/м <sup>3</sup>	Устанавливается в НТД		
Кинематическая вязкость, при 20°C, мм <sup>2</sup> ·с <sup>-1</sup> , не более	100	200	
Водородный показатель (pH)	7,0-10,0	6,5-10,0	
Температура застывания, °C, не выше	-3	-5	
Показатель смачивающей способности, с, не более	Не устанавливается		
Кратность пены:			
Низкая, не более	20		
Средняя, не менее	60	60	40
Высокая, не менее	200		

Устойчивость пены низкой, средней и высокой кратности, с	Устанавливается в НТД	
Время тушения н-гептана при заданной интенсивности подачи рабочего раствора, с, не более:		
Пеной низкой кратности при интенсивности (0,059±0,002), дм <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> с;	Не устанавливается	120
Пеной средней кратности при интенсивности, дм <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> с;		
0,042±0,02	300	Не устанавливается
0,032±0,002	Не устанавливается	300
0,032±0,002	Не устанавливается	120
Примечание. Норму интенсивности подачи для водорастворимых горючих жидкостей устанавливают в каждом конкретном случае.		

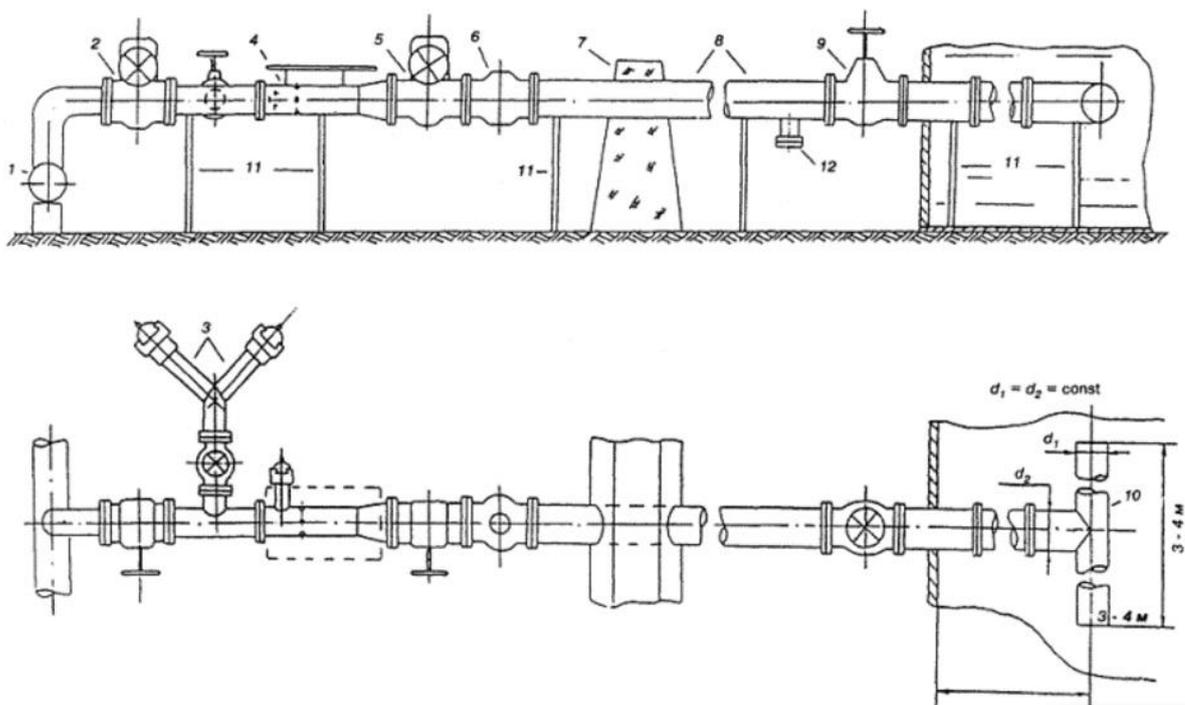


Рисунок 1.5 - Принципиальная схема стационарной системы подслоного тушения пожаров горючих жидкостей в резервуарах (СППР) [10]

где: 1 - сухотруб СППР; 2, 5 - электроздвижки; 3 - разветвление для подключения передвижной пожарной техники; 4 - высоконапорный генератор пены со смесителем-дозатором и защитным кожухом; 6 - обратный клапан;

7 - обвалование; 8 - пенопровод; 9 - задвижка; 10 - пенослив; 11 - опоры; 12 - сливной патрубок.

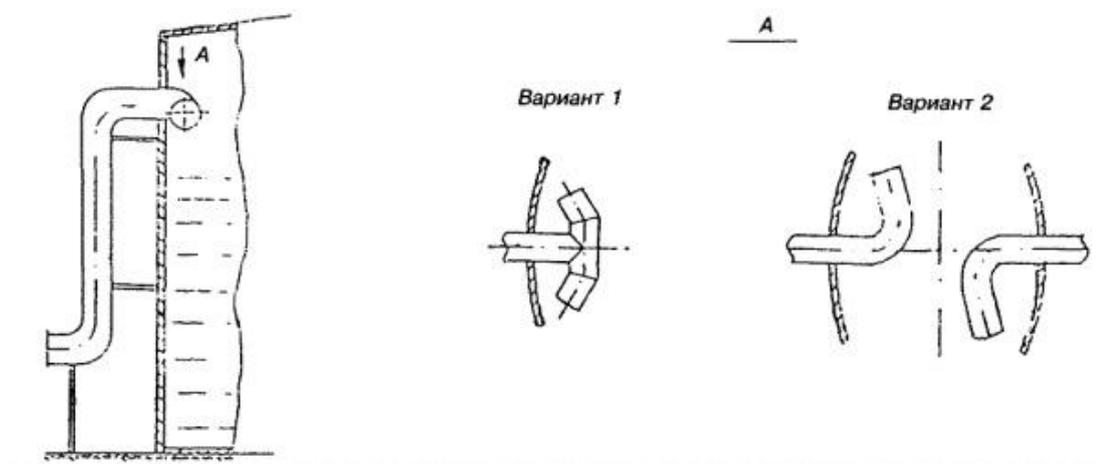


Рисунок 1.6 - Пенные насадки для подачи пены низкой кратности в верхний пояс резервуара со стационарной крышей [10]

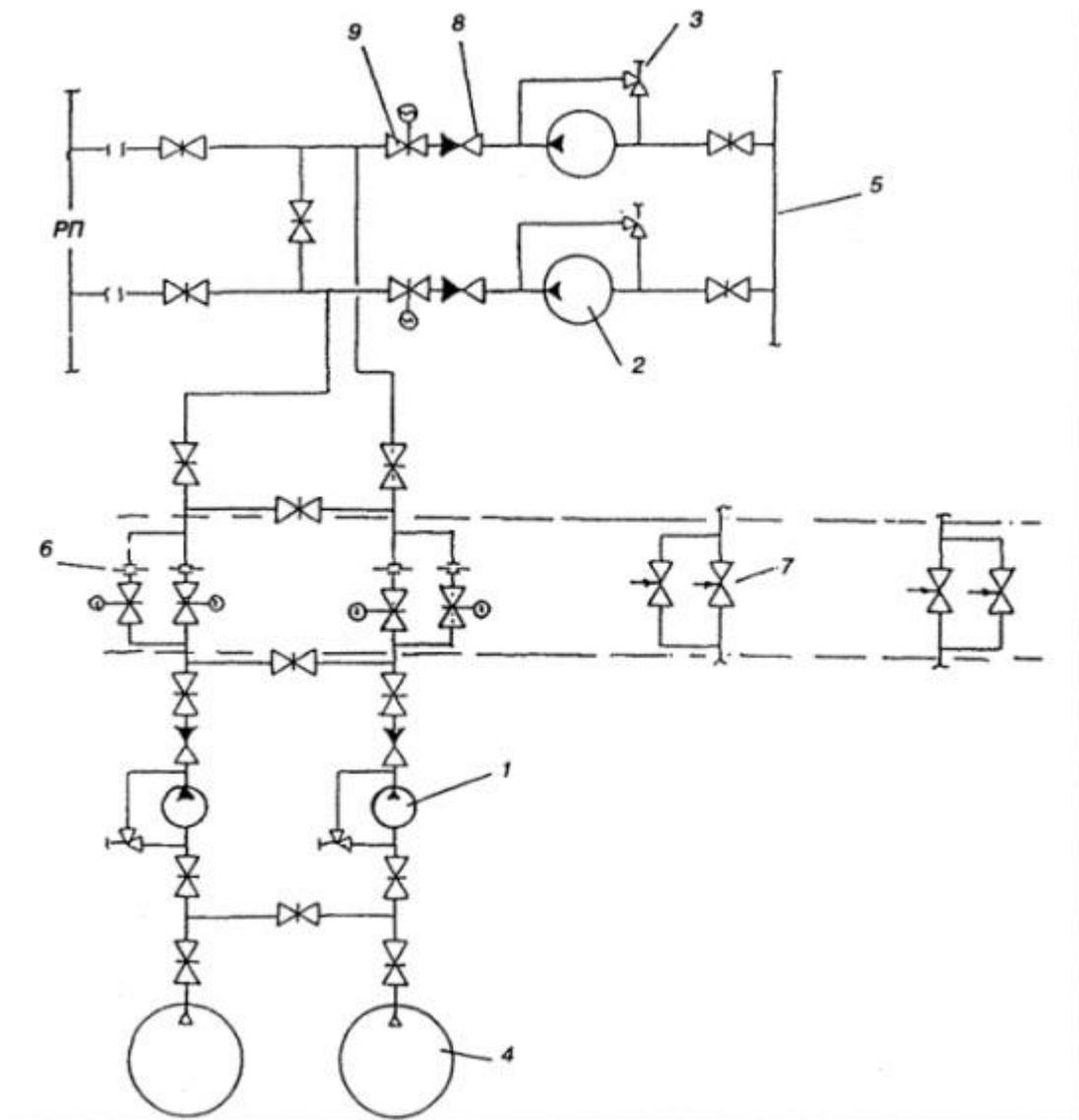


Рисунок 1.7 - Принципиальная схема пожарной насосной с подачей пенообразователя (ПО) в напорную линию водяных насосов [10] где: 1 - насос для подачи ПО; 2 - насос для подачи воды; 3 - предохранительный клапан; 4 - емкость для ПО; 5 - линия подачи воды (от водопитателя); 6 - дозировочные шайбы на расходы  $Q_1$  и  $Q_2$ ; 7 -регулируемые клапаны на расходы  $Q_1$  и  $Q_2$ ; 8 - обратный клапан; 9 - задвижка с электроприводом.

Общие технические требования к системе пенного пожаротушения и водяного охлаждения резервуаров [9]:

Запуск установок водяного охлаждения и пенного пожаротушения должен осуществляться одновременно. Задвижки на автоматизированных

установках открываются по направлению тушения которая производится в зависимости от обстановке на пожаре.

Время инерционности установок при запуске системы пенного пожаротушения, водяных завес и водяного охлаждения не должно превышать 180 секунд.

Наружное пожаротушение на объектах нефтепродуктопроводов и магистральных нефтепроводов должно обеспечивается установкой пожарных гидрантов или гидрантов для подключения мобильных средств пожаротушения на сетях трубопроводных систем для пожаротушения резервуаров, водяного охлаждения или водяных завес, либо, при их отсутствии, на отдельных противопожарных или производственно-противопожарных водопроводах, а также обеспечением объектов мобильными средствами пожаротушения.

Наружное пожаротушение может осуществляться от естественных или искусственных водоисточников при расположении мест круглогодичного забора воды на расстоянии не более 200 м от защищаемых технологических сооружений (производственных площадок) при наличии пожарных автомобилей и не более 150 м при наличии пожарных мотопомп.

Расход воды для наружного пожаротушения объекта (ПС - перекачивающая станция, НБ - нефтебаза нефти, терминал) должен приниматься равным наибольшему расходу воды, принимаемого для одного из технологических сооружений объекта, в соответствии с требованиями СП 8.13130.2009.

Расход воды для наружного пожаротушения технологического сооружения, оснащенного установкой водяного охлаждения, должен приниматься в размере 25 % от расчетного расхода воды установки дополнительно к данному расчетному расходу.

При расчете противопожарного запаса воды для ПС, НБ с резервуарным парком (РП) расчетное время (продолжительность) охлаждения резервуаров (горящего и соседних с ним) необходимо

принимать: - для наземных резервуаров: при подаче воды автоматической или автоматизированной установкой в течение 4 ч; для установки водяного охлаждения с подачей воды от мобильных средств пожаротушения и при подаче воды мобильными средствами пожаротушения от пожарных гидрантов, гидрантов или других водоисточников - в течение 6 ч; - для подземных резервуаров, для наружного пожаротушения технологических сооружений на ПС, НБ без РП; для установок водяного охлаждения железнодорожных сливноналивных эстакад и водяных завес на причальных комплексах для перегрузки нефти (нефтепродуктов) - в течение 3 ч.

Противопожарный запас воды на объекте (ПС, НБ, терминал) должен приниматься наибольший из расчетных запасов для одного из защищаемых технологических сооружений, исходя из фактического времени работы и фактического расхода установок пенного пожаротушения, и водяного охлаждения.

Внутренний противопожарный водопровод объекта (ПС, НБ, терминал) должен быть выполнен в соответствии с требованиями СП 10.13130.2009.

Установки для пенного пожаротушения должны обеспечивать их трёхкратное применение в случае возникновения пожара, каждое из которых должно осуществляться в течение расчетного времени пожаротушения технологических сооружений.

Для автоматических и автоматизированных установок пенного пожаротушения резервуаров, железнодорожных эстакад, железнодорожных пунктов налива, автоналивных станций, причальных комплексов для перегрузки нефти (нефтепродуктов), открытых площадок подпорных насосных агрегатов расчетное время пожаротушения должно приниматься не менее 15 мин. На первый запуск к расчетному времени работы 15 мин необходимо добавлять время инерционности, равное не более 3 мин.

Расчетное время заполнения защищаемых объемов зданий (помещений), закрытых сооружений высокочрезвычайной пеной при объемном

тушении должно быть не более 10 мин, при локальном тушении - не более 3 мин.

Фактическое время работы при первом запуске установки пенного пожаротушения, при запуске установок водяного охлаждения и водяной завесы необходимо принимать как сумму расчетного времени и времени их инерционности. Фактическое время работы установки пенного пожаротушения при втором и третьем применении необходимо предусматривать равным расчетному времени.

Второе и третье применение установок пенного пожаротушения осуществляется дистанционным запуском по решению руководителя ликвидации ЧС после оценки обстановки на пожаре после первого применения установок пенного пожаротушения.

Применяемый пенообразователь должен соответствовать ГОСТ Р 50580. При проектировании концентрация раствора пенообразователя должна приниматься в соответствии с типом применяемого пенообразователя.

Расчетное количество пенообразователя для системы пенного пожаротушения объекта должно определяться исходя из наибольшего расхода раствора пенообразователя одной из установок пожаротушения, входящей в систему, и расчетного времени тушения пожара.

Резерв пенообразователя, необходимо принимать равным двукратному расчетному количеству. Расчетное количество пенообразователя и резерв, обеспечивающие в сумме трехкратное применение установки пенного пожаротушения, должны храниться в емкостях хранения пенообразователя системы пожаротушения в постоянной готовности к применению.

Нормативный (неснижаемый) запас пенообразователя РНУ (районное нефтепроводное управление) (РУ - районное управление, УМН - управление магистральных нефтепроводов, ПО - производственное отделение дочернего общества ОАО «АК «Транснефтепродукт», ОСТ МНПП - магистральный нефтепродуктопровод) должен храниться в транспортной таре на

централизованной базе объекта или непосредственно на объекте с обеспечением расчетного времени восстановления пенообразователя в системе пенного пожаротушения после ее применения. Время восстановления расчетного количества пенообразователя не должно превышать 96 часов.

В проектной документации, кроме расчетного количества, резерва и нормативного (неснижаемого) запаса пенообразователя, необходимо предусматривать пенообразователь для заполнения кольцевых трубопроводов раствором пенообразователя (при наличии постоянно заполненных растворопроводов), а также для проведения приемочных испытаний из расчета 10 мин работы установки пожаротушения с наибольшим расходом раствора пенообразователя. При расчетах необходимо учитывать погрешность систем дозирования согласно п. 13.3.7 РД-13.220.00-КТН-014-10.

Для противопожарной защиты железнодорожных эстакад, железнодорожных наливных пунктов, автоналивных станций необходимо предусматривать автоматические или автоматизированные установки пожаротушения низкократной пеной и автоматизированные установки водяного охлаждения. В автоматизированных установках обнаружение пожара и подача огнетушащих веществ по направлениям должна осуществляться посредством системы видеонаблюдения с немедленной эвакуацией персонала. Лафетные стволы установки водяного охлаждения должны быть присоединены к растворопроводам и обеспечивать, в случае необходимости, подачу сплошных и распыленных струй низкократной пены на тушение пожара, если основная установка пенного пожаротушения на основе водопенных насадков своей задачи не выполнила. На растворопроводах должны предусматриваться пожарные гребенки для обеспечения работы мобильных средств пожаротушения с подачей раствора пенообразователя. Для применения пожарных гребенок необходимо предусматривать дополнительный расход раствора пенообразователя в

размере 25 % от расхода установки пенного пожаротушения. Запуск автоматических установок должен осуществляться автоматически от системы обнаружения пожаров. Пусковые устройства также должны предусматриваться и для автоматических установок. В автоматизированных установках открытие запорной арматуры, обеспечивающей подачу раствора пенообразователя в зоны тушения установки, а также на линиях подачи воды к лафетным стволам должно предусматриваться дистанционно из операторной в зависимости от места возникновения пожара.

Требуемый запас воды на объекте в резервуарах противопожарного запаса или других водоисточниках должен определяться для технологического сооружения, требующего наибольшую сумму объемов воды для следующих целей: - обеспечение установки пенного пожаротушения; - обеспечение установок водяного охлаждения защищаемых технологических сооружений; - обеспечение наружного пожаротушения и внутреннего противопожарного водопровода. При расчете емкости резервуаров для хранения противопожарного запаса воды учитывать возможность их автоматического пополнения при тушении пожара запрещается.

В районах с сейсмичностью 8 баллов и выше, где используется один источник водоснабжения для восстановления запасов воды, противопожарный запас воды необходимо принимать в два раза больше расчетного. При заборе воды в двух створах или при использовании двух источников водоснабжения исключаются возможность одновременного перерыва подачи воды допускается объем воды на пожаротушение принимать без учета сейсмичности района.

Время восстановления расчетного количества воды (после пожара) в объеме противопожарного запаса: - на ПС с резервуарным парком, НБ, промежуточных ПС с резервуарным парком и промежуточных ПС с резервуарами аварийного сброса не должно превышать 96 часов; - на ПС без резервуарного парка не должно превышать 24 часа. В районах, ограниченных

с точки зрения обеспечения необходимого расхода воды для восстановления противопожарного запаса, для этих целей допускается предусматривать дополнительные резервные емкости.

На период восстановления расчетного запаса воды допускается снижение подачи воды на хозяйственно-питьевые нужды системами водоснабжения I и II категорий согласно СНиП 2.04.02\* до 70 %, III категории до 50 % расчетного расхода и подачи воды на производственные нужды по аварийному графику.

Система пенного пожаротушения и водяного охлаждения объекта должна быть рассчитана на тушение одного пожара на технологическом сооружении объекта с максимальным значением расхода огнетушащих веществ. При площади объекта более 150 га или при выполнении требований п. 11.1.4 РД-13.220.00-КТН-014-10, система пенного пожаротушения и водяного охлаждения объекта должна обеспечивать тушение двух пожаров одновременно.

В районах с сейсмичностью 9 баллов расчетное число пожаров на объекте, тушение которых должно обеспечиваться системой пенного пожаротушения и водяного охлаждения, следует принимать на один больше, чем предусмотрено в п.7.25 РД-13.220.00-КТН-014-10.

При расчетном количестве пожаров два и более для определения основных параметров системы пенного пожаротушения и водяного охлаждения объекта необходимо принимать технологические сооружения с наибольшими расходами огнетушащих веществ.

Проектирование установок пенного пожаротушения, водяного охлаждения и водяных завес необходимо производить с учетом проектных решений, приведенных в приложении А документа РД-13.220.00-КТН-014-10. Фактическое количество пеногенерирующего оборудования, диаметры трубопроводов и другого оборудования допускается принимать с отступлением от приведенных решений с учетом конструктивных

особенностей защищаемых технологических сооружений, не снижая нормативной интенсивности пожаротушения.

При проектировании лафетных стволов и водопенных насадков в состав проекта необходимо включать карты орошения, соответствующие применяемому оборудованию. Карты орошения должны показываться относительно размещения насосных агрегатов, кабельных эстакад и другого технологического оборудования.

Установку пеногенерирующего оборудования (например, водопенных насадков на железнодорожных эстакадах) необходимо предусматривать с учетом возможных тепловых воздействий. Проектными и конструктивными решениями необходимо обеспечивать устойчивость оборудования к воздействию температур до подачи огнетушащих веществ.

При проектировании системы пенного пожаротушения и водяного охлаждения в районах с сейсмичностью 7 и более баллов необходимо соблюдать требования СП 31-114-2004.

Система пенного пожаротушения и водяного охлаждения объекта должна быть оснащена устройствами: - контроля давления в заполненных трубопроводах; - перекачки пенообразователя из транспортных емкостей; - автоматического дозирования пенообразователя; - подачи в установку пожаротушения (водяного охлаждения) и забора из установки раствора пенообразователя (воды) мобильными средствами пожаротушения; - слива пенообразователя из стационарных емкостей хранения; - слива раствора пенообразователя (воды) из трубопроводов; - автоматизированного контроля количества воды и пенообразователя в стационарных емкостях для их хранения; - для перемешивания раствора пенообразователя при использовании заполненных сетей растворопроводов (характеристики данных устройств, а также размещение запорной арматуры на заполненных трубопроводах должны обеспечивать равномерное перемешивание раствора на всех участках сетей растворопроводов); - для дренажа воды, раствора пенообразователя (при необходимости).

Линейные вводы, питающие водо- и растворопроводы установок пенного пожаротушения, водяного охлаждения и водяных завес, напорные участки в насосных станциях пожаротушения и пунктах хранения и приготовления раствора пенообразователя должны быть оснащены фланцевыми вставками, на место которых в период испытаний обеспечивается возможность установки расходомеров. Количество расходомеров и их тип, предусматриваемые в проектной документации, должны обеспечивать возможность испытаний на любом из защищаемых технологических сооружений.

В заполненных сетях водо-, растворопроводов в дежурном режиме должно обеспечиваться давление, превышающее статическое на величину не менее 0,1 МПа, но не более рабочего давления ( $P_{раб}$ ), с учетом высотных отметок расположения защищаемых технологических сооружений.

При проведении испытаний расход огнетушащих веществ установок пенного пожаротушения, водяного пожаротушения и водяных завес должен быть не менее расчетного значения.

Средний срок службы системы пенного пожаротушения и водяного охлаждения объекта до капитального ремонта должен обеспечиваться не менее 10 лет. При этом для необслуживаемого оборудования и трубопроводов установок подслоного пожаротушения резервуаров срок эксплуатации до капитального ремонта должен быть не менее межремонтного цикла защищаемого резервуара.

Противопожарное оборудование, огнезащитные составы, пенообразователь и другое оборудование должны соответствовать техническим требованиям, предъявляемыми организациями системы ОАО «АК «Транснефть».

Система пенного пожаротушения и водяного охлаждения объекта при вводе в эксплуатацию и в процессе эксплуатации должна быть обеспечена запасом пенообразующих устройств, а также фильтров и разрывных мембран (для установок подслоного пожаротушения) каждого типоразмера для

обеспечения возможности замены в случае выхода их из строя не менее 10 % от их общего количества для каждого из защищаемых технологических сооружений объекта.

Архитектурно-строительные и объемно-планировочные решения зданий (помещений), закрытых сооружений установок пожаротушения и водяного охлаждения должны соответствовать требованиям норм пожарной безопасности и нормативно технической документации, действующей в организациях системы ОАО «АК «Транснефть».

Электроприемники системы пенного пожаротушения и водяного охлаждения объекта необходимо относить к электроприемникам первой категории электроснабжения согласно ПУЭ, за исключением электродвигателей дренажных насосов и насосов, используемых для перемешивания раствора пенообразователя в заполненных растворопроводах, которые допускается относить к третьей категории.

Исполнение электрооборудования, входящего в состав систем пенного пожаротушения и водяного охлаждения, должно соответствовать требованиям эксплуатации, классу взрыво-пожароопасных зон защищаемых технологических сооружений (производственных площадок) и степени защиты от воздействий окружающей среды.

Для защиты от воздействия опасных факторов молнии, статического электричества и искрения для противопожарных водопроводов и растворопроводов должны предусматриваться меры в соответствии с требованиями ОР-13.02-45.21.30-КТН-002-1-03.

### 1.3 Технологии сварки труб с силикатно-эмалевым покрытием

На рисунке 8. приведены варианты технологий сварки труб с эмалированным покрытием [4] применяемые в промышленности.

Вариант 1 (Рисунок 1.8а) — перед сваркой на торцы труб с эмалевым покрытием наносят фритту толщиной слоя 3...6 мм (в зависимости от

толщины стенки трубы и ее диаметра), которую перед сваркой высушивают на воздухе либо газопламенным подогревом наружной стенки трубы до температуры не превышающей 50...70 °С. После этого производят сварку обычными углеродистыми электродами. Качественное шлакоэмалевое покрытие получается при сварке без зазора или с зазором меньше 0,5 мм.

Вариант 2 (Рисунок 1.8б) — сварка корневого шва эмалированных труб выполняется высоколегированными электродами. С целью уменьшения вероятности разрушения эмали в ЗТВ, применяют сварку с минимальной погонной энергией (ручную дуговую покрытыми электродами или ручную аргонодуговую неплавящимся электродом). Последующие слои сварного шва производят при помощи обычных углеродистых электродов либо механизированной сваркой при помощи электродной проволоки Св-08Г2С.

Вариант 3 (Рисунок 1.8в) — поверхности втулки (манжеты) и трубы подготавливают к эмалированию путем дробеструйной обработки и очистки спиртом. На втулку с внешней стороны наносят клей и закрепляют в торец трубы, следом на внутреннюю поверхность трубы и втулки наносят фритту. Трубу с втулками на торцах подготовленную таким образом нагревают до температуры в пределах 850...950 °С в зависимости от состава фритты.

Чтобы улучшить качество корневого шва преимущественно при нанесении фритты оставлять торец втулки свободным от эмали на 3...5 мм.

Сварку корневого шва труб, при которой сваривают и торцы втулок, можно выполнять ручной дуговой сваркой покрытыми (коррозионностойкими электродами) электродами, ручной аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом, механизированной сваркой в защитных газах. Выбор способа дуговой сварки определяется экономическими показателями и условиями эксплуатации трубопроводов.

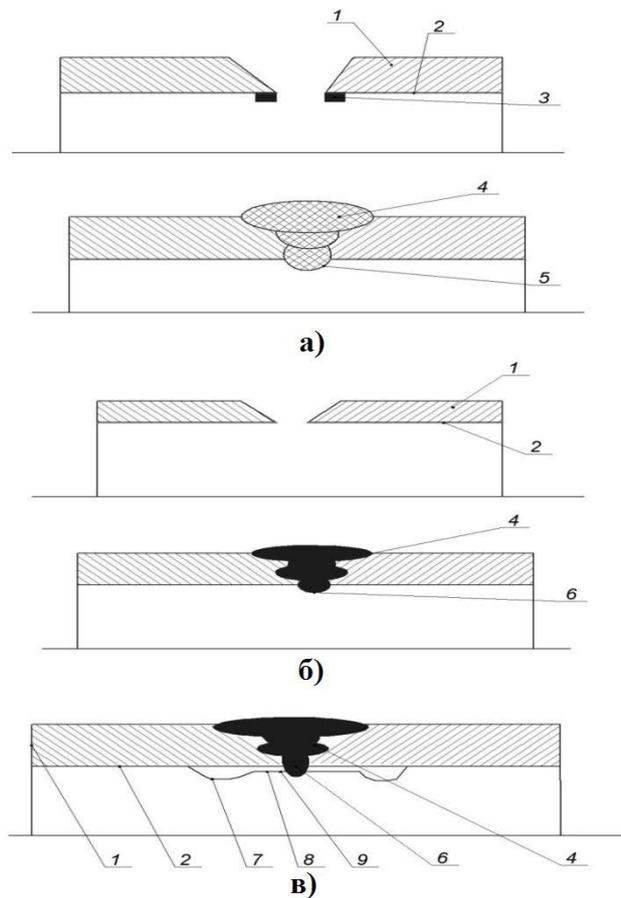


Рисунок 1.8 - Разновидности технологий сварки эмалированных труб  
 где: 1 – основной металл; 2 – эмаль; 3 – фритта; 4 – шов, выполненный низкоуглеродистым электродом; 5 – шлакоэмалевое покрытие; 6 – корневой шов, выполненный высоколегированным электродом; 7 – эмаль для укрепления манжеты; 8 – клей; 9 – манжета из высоколегированного сплава.

Выбор варианта сварки труб с эмалевым покрытием зависит от множества факторов, основными из которых являются коррозионная устойчивость и экономическая эффективность.

Вариант 1 самый дешевый, подходит для любой технологической среды, в которой работают эмалированные трубы, но к квалификации и мастерству сварщиков предъявляют очень высокие требования: сварку выполняют по специально разработанной технологии.

При варианте 2 к сварщикам не предъявляют специальные требования. Для того чтобы меньше разрушалась эмаль в ЗТВ, сварку выполняют при

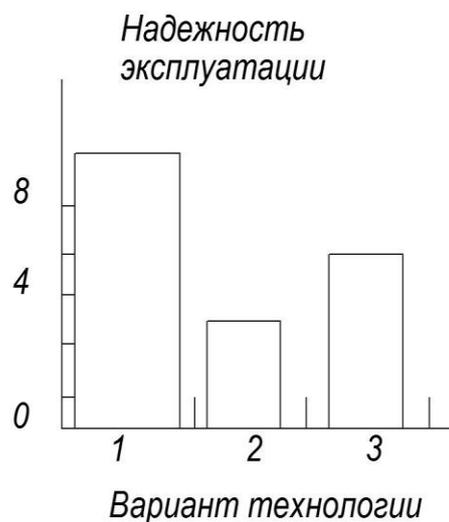
минимальном токе. Вариант применим для средне агрессивных сред с показателем  $pH=2\dots 12$  при использовании высоколегированных электродов, а также для среды с хлором и без него.

Вариант 3 позволяет получать очень надежное сварное соединение. В связи с высокой коррозионной стойкостью сплава манжеты этот способ можно применять для сильно агрессивных сред, а также для среды с хлором и без него.

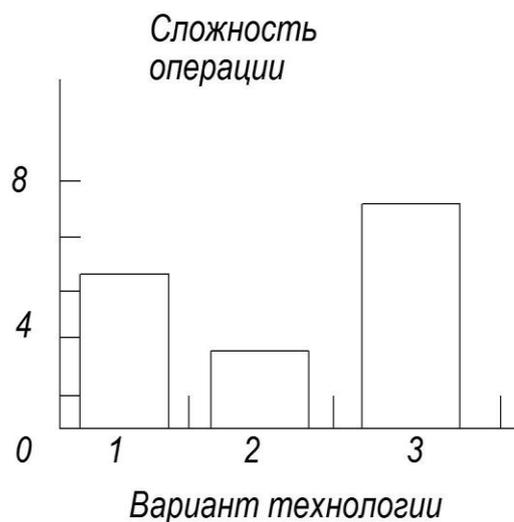
На рисунке 1.9 приведено графическое сравнение разработанных способов с точки зрения надежности, сложности операций, требований к квалификации сварщиков, экономичности.

Несмотря на выбираемый вариант сварки, процесс проводят при минимальном токе, что уменьшает разрушение эмалевого покрытия. По мнению ряда исследователей [5] обеспечить приемлемые тепловые условия в сварном соединении без ущерба для его качества можно путем использования пульсирующих термических циклов по типу приведенных в работе [14]. Такие условия нагрева и охлаждения могут обеспечить импульсно-дуговая сварка [14,15] дугой постоянной мощности с колебаниями электрода [16] и сварка многослойными швами [17].

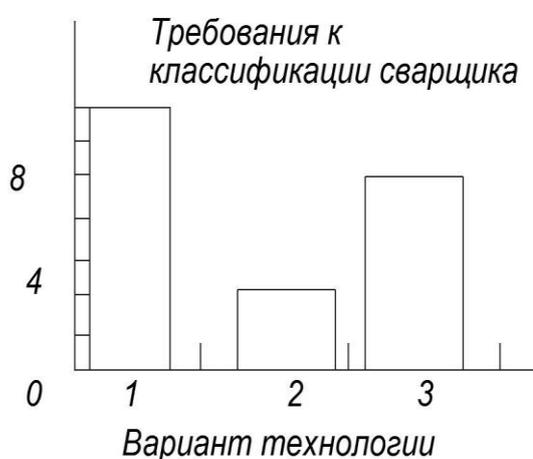
Результаты экспериментов, выполненных на плоских образцах толщиной 3...5 мм и образцах труб диаметром 57...325 мм с толщиной стенки 4...10 мм, показали, что выбранный способ сварки обеспечивает гарантированное остеклование эмали и ее сплавление с защитным слоем, нанесенным и остеклованным ранее. При этом слой эмали, как утверждают авторы, не содержал дефектов и трещин.



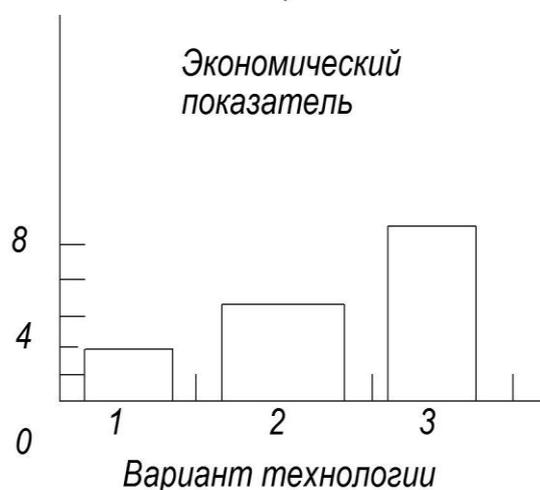
а)



б)



в)



г)

Рисунок 1.9 - Оценка вариантов технологии сварки по надежности в эксплуатации (а), сложности операции (б), классификация сварщика (в), и экономичности (г).

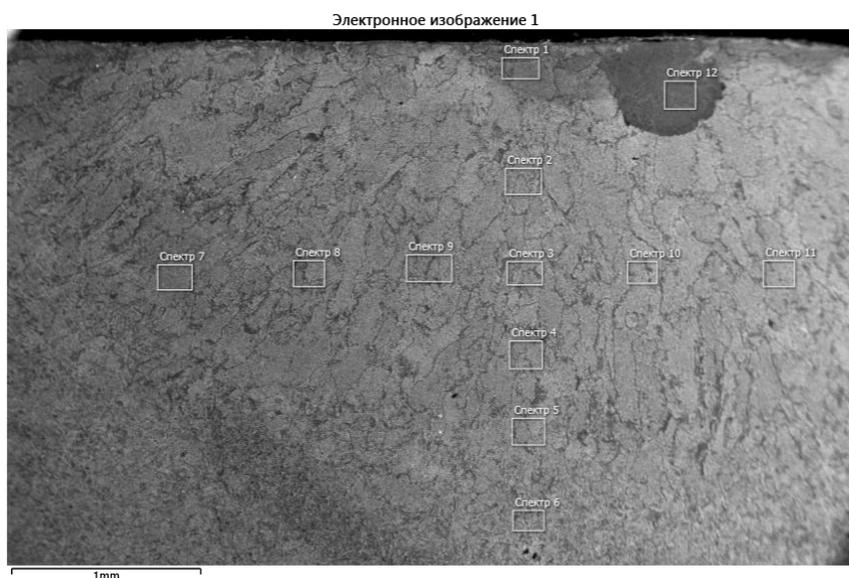
Несмотря на преимущества последнего способа, управление качеством эмалевого покрытия остается не стабильным. Поэтому предлагается кардинально изменить тепловые условия сварки, а точнее уменьшить температуру сварки до температуры выгорания эмали. Для этого необходимо заменить стальную основу шва на сплавы цветных металлов с более низкой температурой плавления [18]. Из конструкционных цветных металлов наиболее подходящими являются медь и медные сплавы.

## 1.4 Анализ применяемых присадочных материалов

### 1.4.1 Применение проволоки Св-08Г2С для сварки труб с эмалированным покрытием

При использовании электродной проволоки Св-08Г2С формируется феррито-перлитная структура металла шва (Рисунок 1.10). Структура шва литая, столбчатая. Направление зерен перпендикулярно линии теплоотвода. Размер зерен уменьшается по направлению к линии сплавления. Средний размер зерен 0,1x0,5 мм. Содержание железа в металле шва изменяется в пределах 97,25-97,64 %, кремния 0,74-0,85 %, марганца 1,43-1,73 %. В составе металла шва, кроме того, присутствует метами медь до 0,42 %. Причина наличия меди – использование омедненной электродной проволоки [19].

На границе контакта эмалевого покрытия с металлом сварочной ванны покрытие оплавляється. В покрытии видны поры и трещины, появившиеся в результате теплового воздействия на эмальевое покрытие (Рисунок 1.11). Значительного химического взаимодействия между эмалью и расплавленным металлом не отмечается. В составе покрытия появляются включения оксидов железа [19].



Название спектра	Si	Mn	Fe	Cu	Сумма
Спектр 1	0.80	1.53	97.26	0.42	100.00
Спектр 2	0.85	1.43	97.50	0.21	100.00
Спектр 3	0.77	1.56	97.66		100.00
Спектр 4	0.78	1.57	97.45	0.19	100.00
Спектр 5	0.77	1.60	97.64		100.00
Спектр 6	0.80	1.73	97.48		100.00
Спектр 7	0.74	1.62	97.40	0.24	100.00
Спектр 8	0.81	1.44	97.61	0.15	100.00
Спектр 9	0.85	1.59	97.56		100.00
Спектр 10	0.81	1.61	97.25	0.32	100.00
Спектр 11	0.84	1.71	97.21	0.24	100.00
Спектр 12	0.71	1.57	97.48	0.24	100.00

Рисунок 1.10 - Структура и химический состав металла шва при использовании электродной проволоки Св-08Г2С [19]

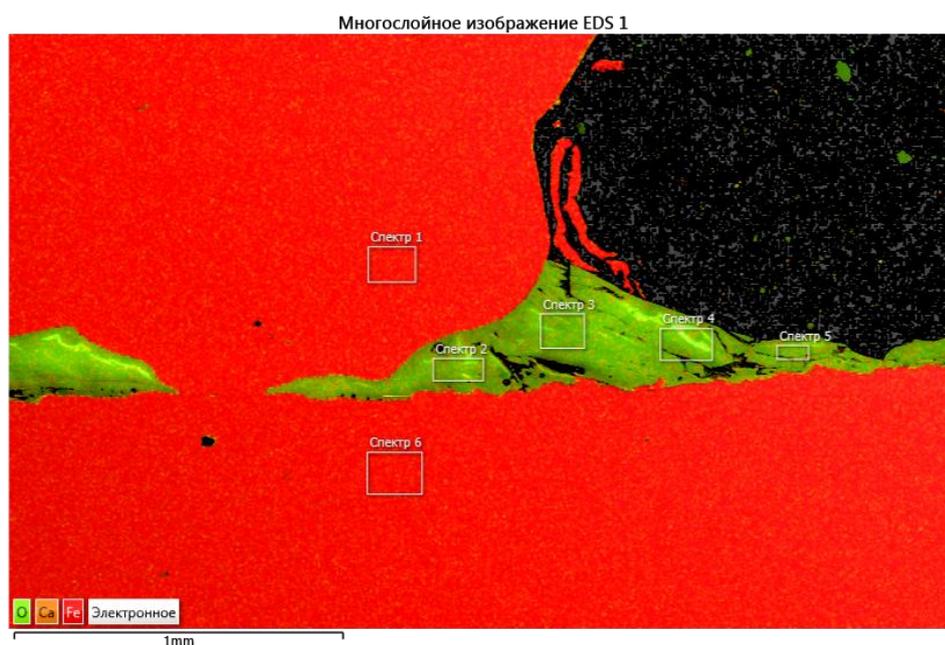
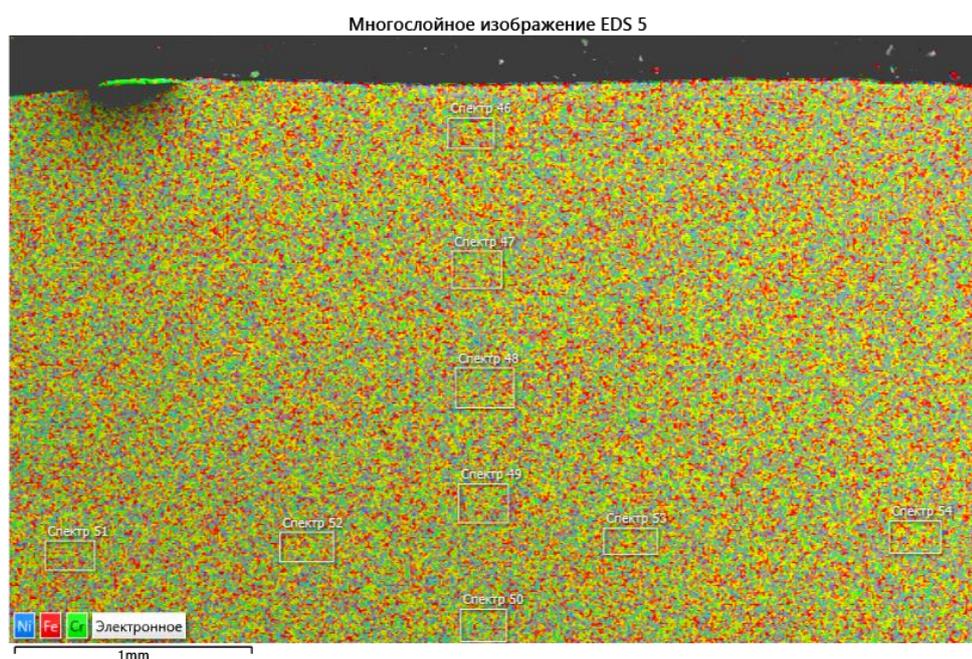


Рисунок 1.11 - Граница взаимодействия расплавленного металла и эмалевого покрытия при использовании электродной проволоки Св-08Г2С

## 1.4.2 Применение проволоки Св-04Х19Н9 для сварки труб с эмалированным покрытием

Практически однофазная структура формируется при сварке эмалированных труб с применением присадочной проволоки Св-04Х19Н9 (Рисунок 1.12) [19].



Название спектра	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Сумма
Спектр 48	0.79	17.07	1.89	71.97	8.27	100.00
Спектр 49	0.85	17.13	1.87	72.04	8.10	100.00
Спектр 50	0.83	17.22	1.70	72.08	8.17	100.00
Спектр 51	0.86	17.23	1.73	72.22	7.95	100.00
Спектр 52	0.85	17.33	1.91	71.90	8.01	100.00
Спектр 53	0.91	17.15	2.04	71.89	8.02	100.00
Спектр 54	0.85	17.18	1.79	71.78	8.40	100.00

Рисунок 1.12 - Структура и химический состав металла шва при использовании электродной проволоки Св-04Х19Н9

Содержание железа в металле шва изменяется от 84,9 до 71,9 % (Рисунок 1.12). Содержание железа в металле шва увеличивается от центра к краю металла шва и от облицовки к корню. Максимальное содержание железа наблюдается в корне шва. Содержание никеля по сечению металла шва изменяется противоположно. Максимальное содержание никеля наблюдается в облицовочных слоях в центре шва. Содержание никеля при этом изменяется в пределах 2,7-8,27 %. Максимальное содержание хрома наблюдается в центре металла шва. Содержание хрома уменьшается по направлению к линии сплавления и к корню шва в связи с увеличением участия доли основного металла в общем объеме металла шва. Содержание хрома уменьшается и в облицовочном слое, что является следствием окисления хрома в поверхностных слоях сварочной ванны, так как хром обладает большим сродством к кислороду, чем никель и железо. Содержание хрома по сечению металла шва изменяется в пределах 5,9-17,33 %. Минимальное содержание хрома и никеля наблюдается в корне шва [19].

Содержание технологических примесей марганца и кремния по сечению шва практически равномерное. Содержание кремния изменяется в пределах 1,4-2,04 %, а кремния – 0,7-0,91 % [19].

Поведение эмалевого покрытия аналогично поведению при сварке с использованием проволоки Св08Г2С [19].

#### 1.4.3 Применение никеля для сварки труб с эмалированным покрытием

Никель относится к тяжелым цветным металлам. Его температура плавления составляет  $1455^{\circ}\text{C}$ , что почти на  $100^{\circ}\text{C}$  ниже, чем температура плавления железа. Основным преимуществом никеля является его высокая коррозионная стойкость в атмосфере воздуха, устойчив к воздействию воды и многих агрессивных сред (в том числе и щелочей). Высокая коррозионная стойкость обусловлена малой активностью никеля и образованием на его поверхности тонкой и прочной защитной оксидной пленки [19].

Применение никеля в качестве присадочного материала при сварке сталей с эмалированным покрытием формирует структуру металла шва с никелевой матрицей легированной железом. Содержание железа, определяется соотношением наплавленного и проплавленного металла, и может изменяться в широких пределах [19].

Никель с  $\gamma$ -Fe образуют между собой непрерывный ряд твердых растворов. При длительном отжиге сплавов системы железо-никель с содержанием последнего  $\sim 74\%$  (ат.) обнаружено образование интерметаллидного соединения  $FeNi_3$ . Образование этого соединения связано с упорядочением  $\gamma$ -твердого раствора. Однако, в производственных условиях быстрого охлаждения упорядочение не реализуется [20-26]. Сварку никелевой проволокой предпочтительно проводить в среде инертных газов, это связано в первую очередь, со склонностью никеля к газонасыщению кислородом.

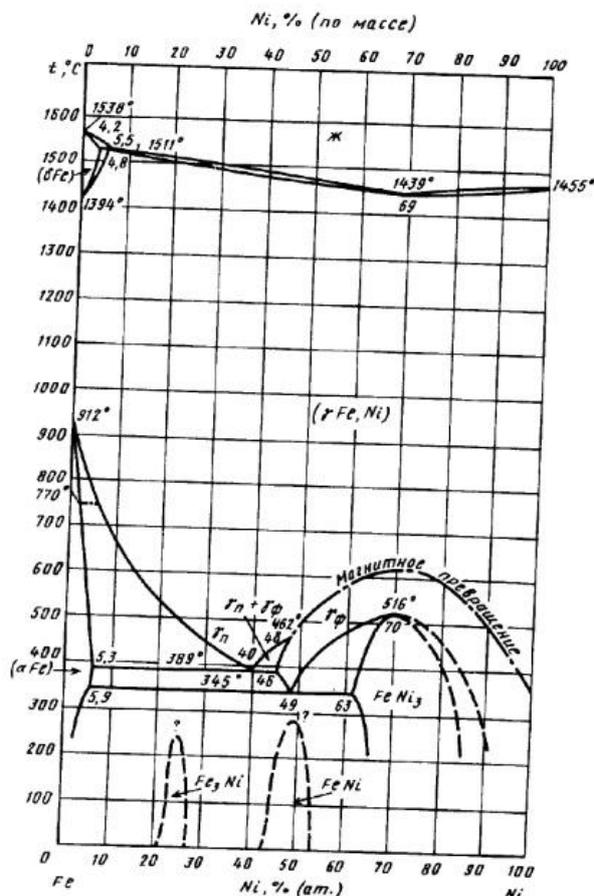


Рисунок 1.13 - Диаграмма состояния железо-никель [27]

Хотя атмосфера углекислого газа для никеля и является слабо окислительной, с этим газом никель вступает в реакцию с образованием окиси углерода [19]:



Скопление окиси углерода в микропустотах и по границам зерен снижает пластичность никеля, поэтому применение сварки в  $\text{CO}_2$  нецелесообразно [19].

Применение никелевой проволоки с более низкой температурой плавления по сравнению со стальной должно обеспечить снижение интенсивности теплового воздействия на эмалевое покрытие, что уменьшает степень разрушения последнего при сварке. Кроме того, никель обладает высокой коррозионной стойкостью, связанной с пониженной активностью никеля и образованием естественной защитной пленки из оксида никеля когерентно связанной с основой [19].

Применение никелевой электродной проволоки позволяет формировать металл шва на основе  $\gamma$ -фазы, представляющей твердый раствор железа в никеле (Рисунок 1.14). Металл шва по сравнению с применением стальной проволоки содержит значительное количество пор с размером до 0,2 мм. Повышенная пористость объясняется природной склонностью никелевых сплавов к газонасыщению [19].

Химический состав металла шва неоднороден. Содержание никеля уменьшается от центра к линии сплавления и от облицовочного слоя к корневому. Содержание железа по сечению металла шва изменяется противоположно. Содержание никеля находится в пределах 58,5-84,3 %, а железа 15,7-40,5 %. В качестве технологических примесей наблюдается присутствие марганца, кремния. Содержание марганца составляет 0,3-0,6 %, кремния 0,2-0,4 %. Эмалевое покрытие при взаимодействии с расплавленным никелем частично оплавляется. Однако, химический состав покрытия на линии сплавления изменяется, что можно видеть по карте распределения элементов (Рисунок 1.15). На границе сплавления в эмалевом покрытии

отсутствует соединения бора, пониженное содержание оксида кремния и титана. В составе покрытия появляются соединения железа и никеля, вероятно оксиды [19].

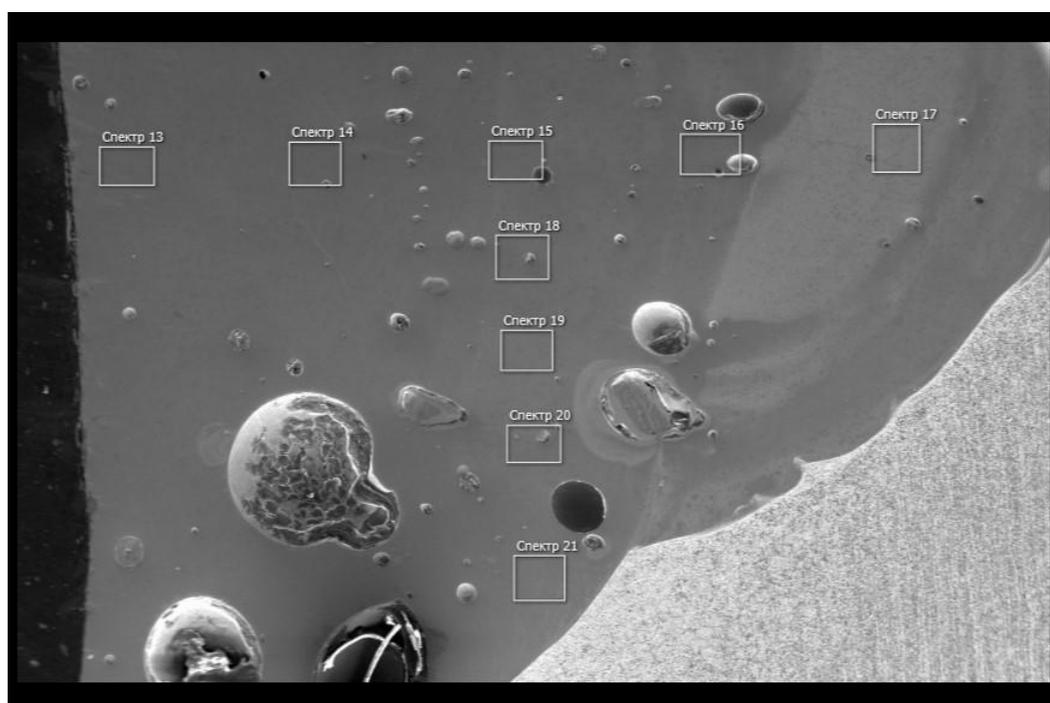


Рисунок 1.14 – Структура и химический состав металла шва при использовании электродной проволоки НП 2

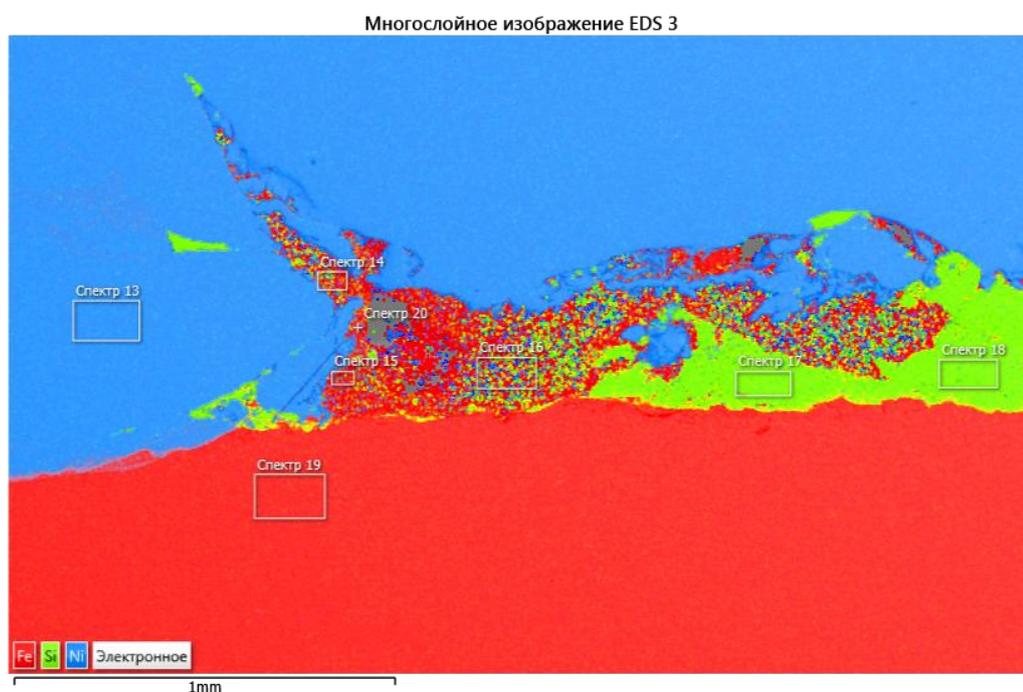


Рисунок 1.15 – Граница взаимодействия расплавленного металла и эмалевого покрытия при использовании электродной проволоки НП 2

Еще более перспективно в качестве присадочного материала применение не никеля, а сплавов на основе никеля, в частности нихромов. Хром, согласно данным П.Л. Грузина, повышает энергию связи атомов в твердом растворе системы Ni-Cr-Fe. Сплавы системы Ni-Cr могут содержать до 10% железа и при этом значительно не изменяются технологические и механические свойства, в том числе и при высоких температурах. Легирование до 40% железа снижает прочностные свойства сплавов при повышенных температурах, но прочность при температуре 750 °С составляет не менее 230 Мпа [19].

Перспективность применения никеля и нихромов в качестве присадочных материалов при сварке сталей с эмалированным покрытием повышается вследствие их высокой коррозионной стойкости и жаростойкости. Это позволяет не создавать эмалированное покрытие на металле шва после сварки [19].

#### 1.4.4 Применение проволоки на основе нихрома для сварки труб с эмалированным покрытием

Применение электродной проволоки на основе сплава X20H80 объясняется стремлением к снижению температуры сварочной ванны. Нихромы отличаются более низкой температурой плавления, чем никель. Диаграмма состояния никель-хром относится к диаграммам эвтектического типа с максимальной растворимостью хрома в никеле около 48 % (Рисунок 1.16). Температура ликвидус сплава X20H80 составляет порядка 1415 °С [19].

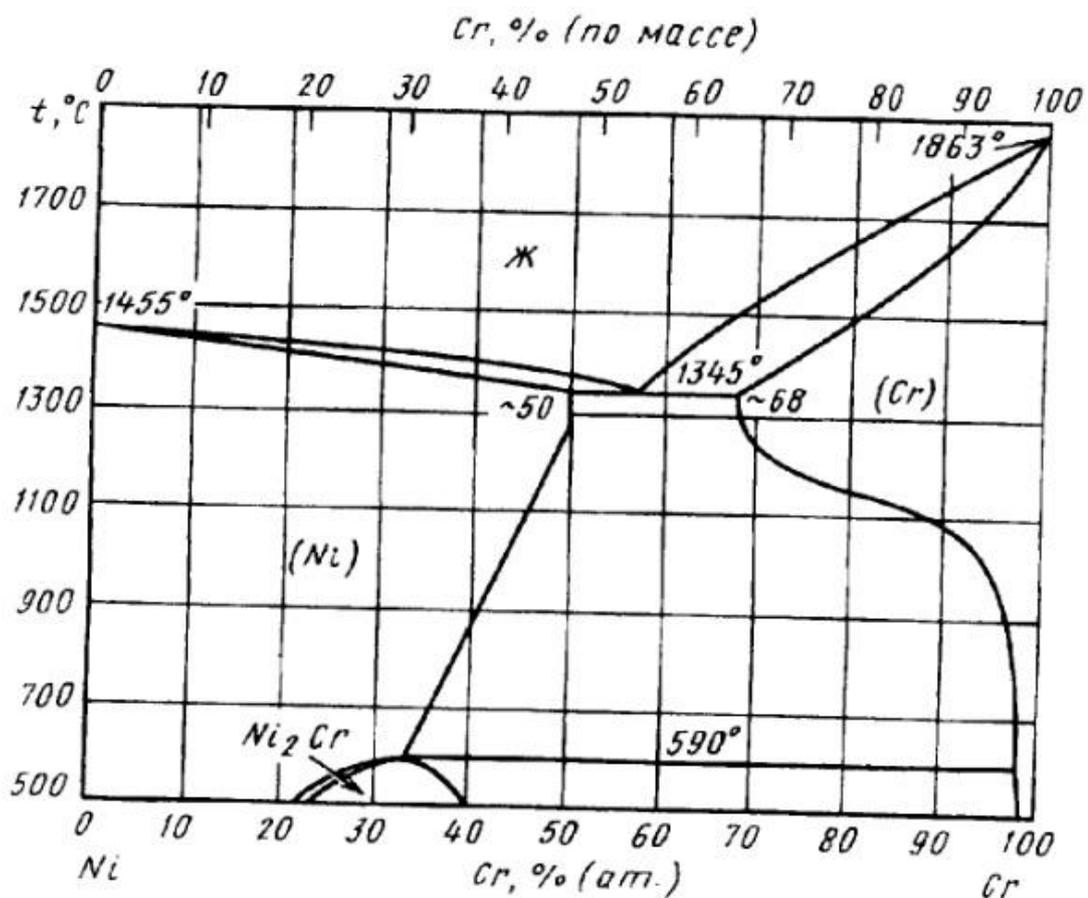
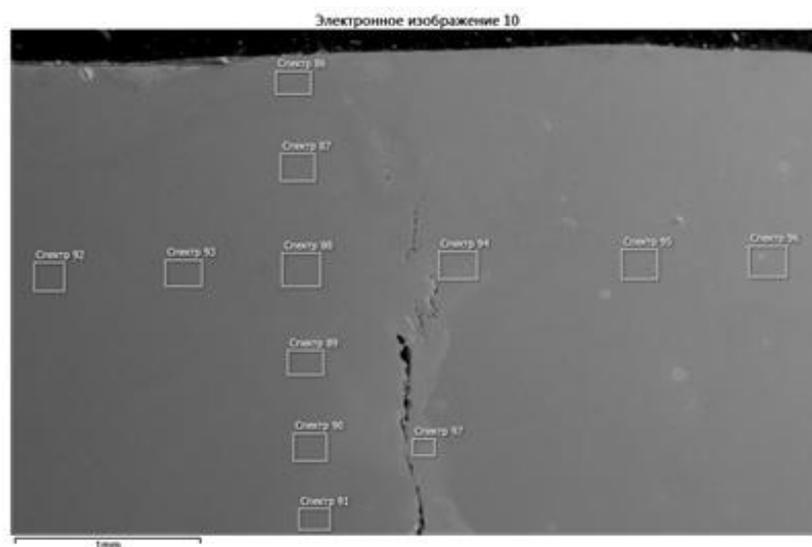


Рисунок 1.16 Диаграмма состояния системы никель-хром [27]

Структура металла шва при сварке проволокой Х20Н80 однофазная на никелевой основе (Рисунок 1.17). Распределение железа, никеля и хрома соответствует распределению этих элементов при применении аустенитной стали. Содержание никеля от 40,8 % до 66,78 %, железа – 12,35-45 %, хрома 19,73-12,2 %. Технологические примеси – кремний, марганец, а также встречается титан и алюминий, которые попадают в металл шва из нихромовой проволоки. Содержание кремния выше, чем в предыдущих случаях, что так же является следствием применения нихрома [19].

Эмалевое покрытие при сварке с нихромом оплавляется. Покрытие взаимодействующее с металлом изменяет свой химический состав. В составе покрытия отсутствуют соединения бора. Покрытие насыщается оксидами хрома, алюминия, титана, железа и никеля (Рисунок 1.18) [19].



Название спектра	Al	Si	Ti	Cr	Fe	Ni	Сумма
Спектр 86		1.14		19.73	12.35	66.78	100.00
Спектр 87		1.15		19.69	12.56	66.60	100.00
Спектр 88		1.19		19.77	12.64	66.40	100.00
Спектр 89		1.14		18.79	16.52	63.54	100.00
Спектр 90	0.22	1.12	0.27	18.79	16.59	63.01	100.00
Спектр 91		1.12	0.17	19.03	16.61	63.07	100.00
Спектр 92		1.14		19.35	13.77	65.74	100.00
Спектр 93		1.17		19.63	12.79	66.41	100.00
Спектр 94		1.22		19.73	12.57	66.48	100.00
Спектр 95		1.18		19.37	13.86	65.60	100.00
Спектр 96		1.23	0.21	19.15	15.16	64.25	100.00
Спектр 97		1.16		18.70	16.48	63.66	100.00

Рисунок 1.17 - Структура и химический состав металла шва при использовании электродной проволоки X20H80

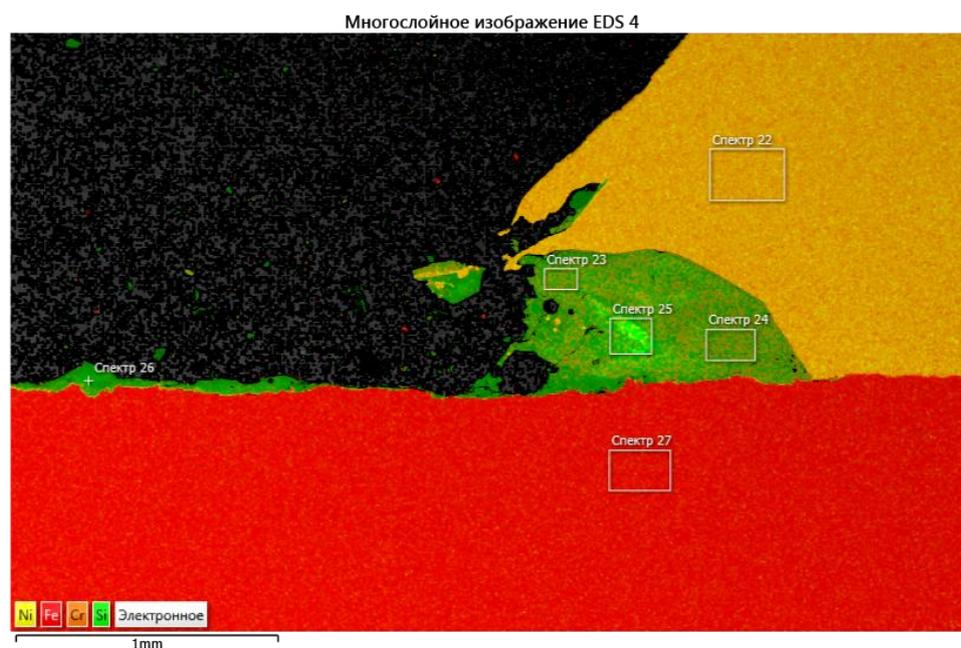


Рисунок 1.18 - Граница взаимодействия расплавленного металла и эмаливого покрытия при использовании электродной проволоки X20H80

#### 1.4.5 Применение цинка для сварки труб с эмалированным покрытием

Цинк относится к широко применяемым цветным металлам. Цинк при нормальных условиях отличается высокой коррозионной стойкостью. При наличии в воздухе паров воды и углекислого газа металл покрывается тонкой и очень плотной пленкой  $ZnCO_3 \cdot Zn(OH)_2$ , которая практически полностью прекращает процесс дальнейшего окисления [28]. Это свойство цинка широко используется в технике для нанесения антикоррозионных защитных покрытий главным образом на железных изделиях. Это и позволяет рекомендовать цинк в качестве присадочного материала при сварке сталей с эмалированным покрытием. Цинк, кроме того, имеет низкую температуру плавления равную  $419,5^{\circ}C$ , что упрощает процесс создания неразъемных соединений. [19].

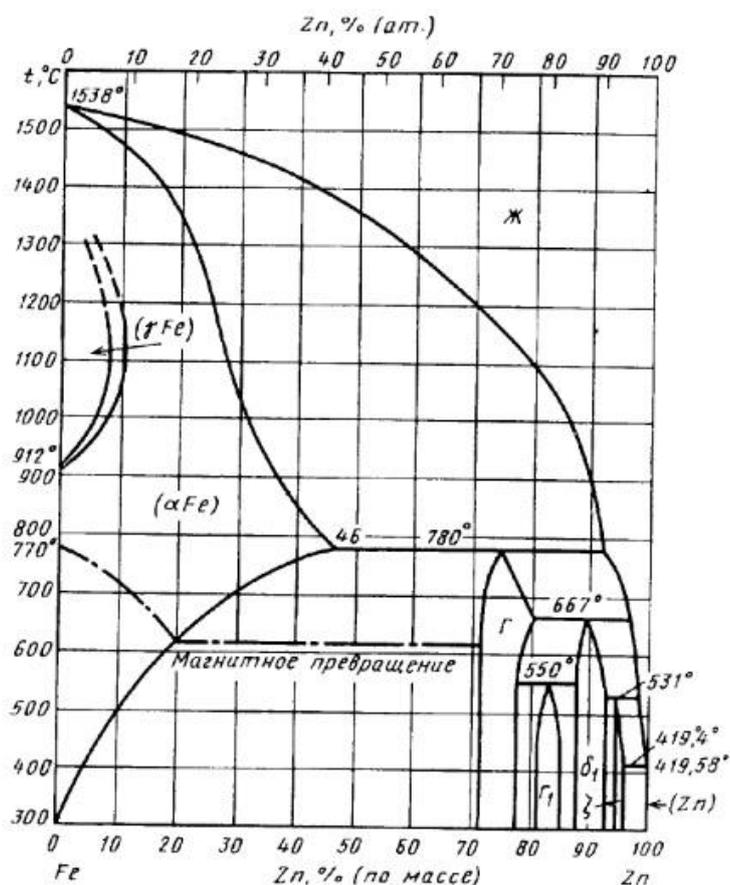
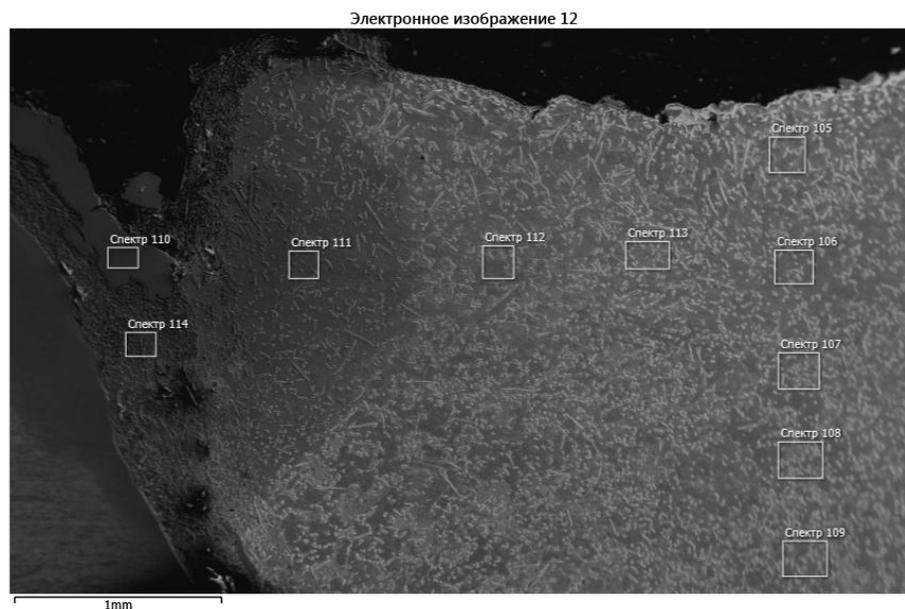


Рисунок 1.19 - Диаграмма состояния железо-цинк [27]

С железом цинк образует систему с широкой областью существования твердого раствора на основе  $\alpha$ -Fe и существования четырех соединений в богатой цинком части диаграммы состояния, обозначенных  $\Gamma$ ,  $\Gamma_1$ ,  $\delta$  и  $\zeta$  ( $\text{FeZn}_{13}$ ) (Рисунок 1.19) [27]. Наличие в системе интерметаллидных фаз, может привести к выделению областей этих фаз при сварке, что снизит механические свойства сварных соединений [19].

Радикальное снижение температуры сварочной ванны может быть достигнуто при применении в качестве электродной проволоки цинка. Однако низкая прочность сварных соединений ограничивает перспективу применения цинка. Химический и структурный анализ металла шва показывает, что структура двухфазная (Рисунок 1.20). В цинковой матрице равномерно распределены включения равноосной или пластинчатой формы с максимальным размером не более 100 мкм. Исходя из диаграммы состояния, включения представлены фазой  $\zeta$ . Содержание цинка по сечению шва изменяется в пределах 97,65-99,52 % [19].

Эмалевое покрытие практически не разрушается (Рисунок 1.21). Однако, химический состав покрытия изменяется. В составе покрытия явно присутствуют оксиды цинка, что, вероятно, изменяет и свойства покрытий [19].



Название спектра	Si	Fe	Zn	Сумма
Спектр 105		0.60	99.40	100.00
Спектр 106		0.72	99.28	100.00
Спектр 107		0.68	99.32	100.00
Спектр 108		0.75	99.25	100.00
Спектр 109		0.82	99.18	100.00
Спектр 110	0.19	99.37	0.43	100.00
Спектр 111		0.48	99.52	100.00
Спектр 112		0.39	99.61	100.00
Спектр 113		0.54	99.46	100.00
Спектр 114		2.35	97.65	100.00

Рисунок 1.20 - Структура и химический состав металла шва при использовании электродной проволоки Ц1

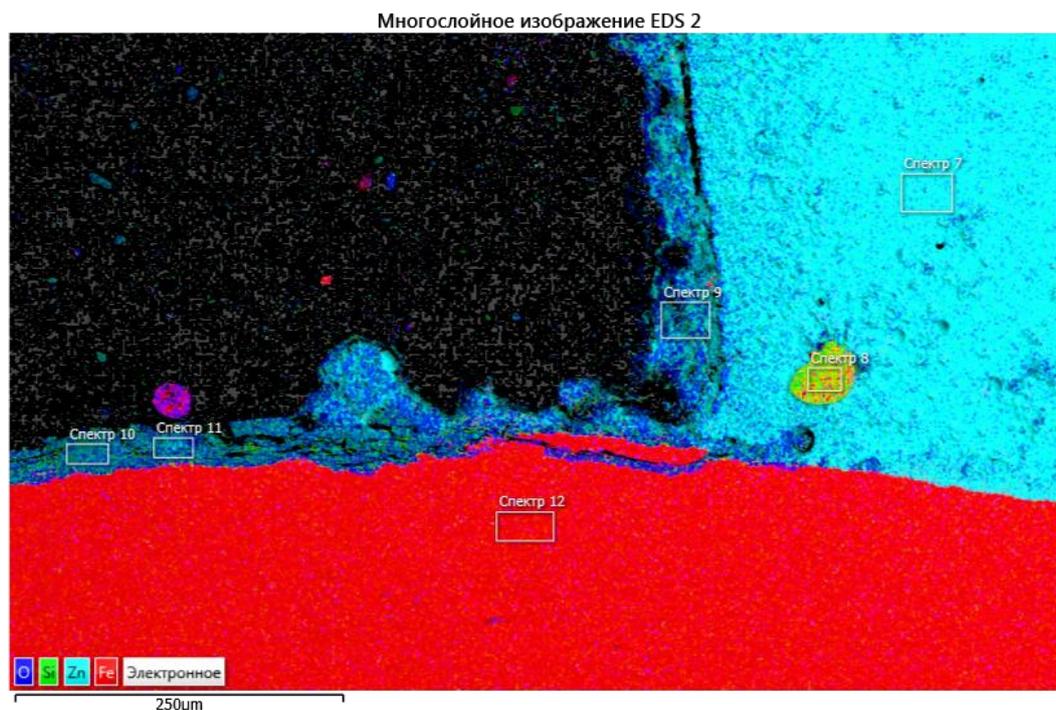


Рисунок 1.21 - Граница взаимодействия расплавленного металла и эмалевого покрытия при использовании электродной проволоки Ц1

Анализ применяемых присадочных материалов показал, что получение качественного сварного соединения без разрушения эмалевого покрытия или без возникновения в нем дефектов (поры, пузыри, макро и микротрещины) достичь не удалось. Поэтому задачами магистерской диссертации являются:

1. Разработка методики исследования процессов сварки-пайки труб с силикатно-эмалевым покрытием с применением электродных материалов из меди и медных сплавов.
2. Проведение исследования процессов сварки-пайки труб с силикатно-эмалевым покрытием с применением электродных материалов на основе меди и медных сплавов.
3. Разработка технологии сварки-пайки труб с силикатно-эмалевым покрытием.

## 2 Методика исследования процессов сварки-пайки труб с силикатно-эмалевым покрытием

### 2.1. Исследование процессов сварки-пайки стали с эмалевым покрытием

Сварка-пайка проводилась на специально разработанной установке. Установка для исследования процесса сварки-пайки элементов трубопровода предназначена для исследования влияния режимов аргонодуговой сварки неплавящимся электродом и механизированной сварки в инертных защитных газах плавящимся электродом труб с различного рода присадочными проволоками на химический состав и структуру сварного соединения. Установка обладает следующими техническими характеристиками:

- Применяемые способы сварки механизированная/аргонодуговая;
- Диаметры сварных образцов 10-300мм;
- Диапазон частоты вращения об/мин 1,25-25 об/мин
- Высота подъема горелки 0-200мм;
- Перемещение горелки вдоль образца 300мм;
- Напряжение питания 220 В.

Установка (Рисунок 2.1) состоит из основания – 1, двигателя постоянного тока - 2, планшайбы - 3, блока питания - 4, держателя горелки - 5, зубчатой передачи - 6, источник питания - 7, сварочная горелка - 8.

Установка устроена таким образом, что на основании 1 жестко закреплены двигатель постоянного тока 2, блок питания 4, основание держателя горелки 5, в которой закреплена горелка 8. На валу двигателя постоянного тока 2 жестко закреплена малая шестерня зубчатой передачи 6. Большая шестерня зубчатой передачи 6 жестко закреплена на планшайбе 3. Планшайба 3 с большой шестерней зубчатой передачи 6 установлена на основание через элемент, обеспечивающий свободное вращение последней. Большая и малая шестерни зубчатой передачи 6 находятся в зацеплении.

Блок питания 4 соединен с двигателем постоянного тока 2 и источником питания 7 электрически.



Рисунок 2.1 - Установка для полуавтоматической сварки в среде защитных газов

Установка работает следующим образом. В планшайбу 3 устанавливается собранный стык трубопровода. Горелка сварочного аппарата 8 посредством держателя горелки 5 выставляется под требуемым углом точно по оси стыка, так как установка предусматривает выполнение сварки ниточным швом без колебаний. Далее по соотношению требуемой скорости вращения (скорости сварки) выставляется напряжение блока питания 4 при помощи источника питания 7, после чего он подключается к двигателю постоянного тока 2. Последний приводит в движение планшайбу 3 с зажатым сварным образцом посредством зубчатой передачи 6.

Основание выполнено из уголков 15x15 мм. Вертикальная стенка выполнена из листа толщиной 6 мм. В ней предварительно вырезаны крепежные отверстия под двигатель с редуктором и корпус подшипника, а также для вала редуктора и подшипникового узла.

Для регулировки скорости перемещения каретки электродвигатель запитан от регулируемого источника питания НУ3005 (Рисунок 2.2). Он является настольным регулируемым стабилизированным источником питания постоянного тока. Уровень стабилизированного постоянного выходного напряжения и величина ограничения выходного тока имеют возможность плавной регулировки вращением регуляторов на передней панели.



Рисунок 2.2 - Источник питания НУ3005

Держатель горелки выполнен из профиля квадратного сечения 15x15 мм с возможностью подъема горелки на от 0 до 200 мм и перемещения горелки вдоль сварного образца на расстояние до 300 мм. Зажим держателя горелки универсальный и подходит как для механизированной, так и для аргонодуговой сварки.

Зубчатая передача с передаточным числом 9/111.

Для проведения сварочных работ применяли полуавтомат «MIGATRONIC BDH PS – 550» (Рисунок 2.3, Таблица 2.1)



Рисунок 2.3. - Полуавтомат «MIGATRONIC BDH PS – 550»

Таблица 2.1 - Технические характеристики полуавтомата «MIGATRONIC BDH PS – 550»

Напряжение питания	380В, 50Гц
Максимальная потребляемая мощность, КВт	12,5
Диапазон регулирования скорости подачи электродной проволоки, м/мин	1,5..14 ±10%
Диаметр сварочной проволоки, мм	0,8...1,4

Максимальный сварочный ток при ПВ=45%, А	400
Диапазон регулирования сварочного тока, А	5...550
Максимальный вес скомплектованного полуавтомата (без проволоки), кг	160
Габаритные размеры, мм (не более)	500x950x1600

Для исследования процессов сварки-пайки использовали заготовки труб диаметром 108 мм и толщиной 4 мм с силикатно-эмалевым покрытием (Рисунок 2.4). Сборку труб проводили во вращателе в соответствии с ГОСТ16038-80. Тип соединения в соответствии с указанным ГОСТом С17.



Рисунок 2.4 - Труба из стали с эмалевым покрытием

После сварки при использовании электродной проволоки Св-08Г2С возникает необходимость нанесения покрытия на зону сварного соединения для придания ему необходимых эксплуатационных свойств, что в данном случае практически невозможно реализовать с обратной стороны сварного соединения.

Сварку-пайку проводили с применением электродной проволоки на основе меди и медных сплавов.

С целью сравнения производили сварку образцов проволокой Св-08Г2С по ГОСТ 2246-70, с сечением 1,2 мм. Напряжение на дуге изменялось в пределах 21...26 В, скорость сварки-пайки варьировалась в пределах 0,20...0,25 м/мин, а скорость подачи проволоки оставалась постоянной и составляла 3,00 м/мин.

Сварка-пайка с присадочной проволокой из меди М1 по ГОСТ 859-78 (Таблица 2.2), диаметром 0,85 мм, проводилась в среде аргона на постоянном токе обратной полярности: изменение напряжения производилось в пределах 21...26 В, скорость сварки изменялась в пределах 0,20...0,25 м/мин, скорость подачи проволоки составляла 3,00 м/мин и оставалась постоянной.

Таблица 2.2 - Химический состав проволоки М1

Cu, не менее %	Bi, %	Sb, %	As, %	Fe, %	Ni, %	Pb, %
99,90	0,001	0,002	0,002	0,005	0,002	0,005

Сварка-пайка с электродной проволокой CuSi3 (Таблица 2.3), диаметром 1 мм, так же, как и проволокой М1, проводилась в среде аргона на постоянном токе обратной полярности: напряжение изменялось в пределах 20...27 В, скорость сварки в пределах 0,20...0,30 м/мин, скорость подачи проволоки оставалась постоянной и составляла 3,00 м/мин.

Таблица 2.3 - Химический состав проволоки CuSi3

Cu, %	Mn, %	Mg, %	Si, %	Sn, %
≥ 95	≤ 1,0	4,5-5,5	≤ 3,0	≤ 0,2

Сварка-пайка электродной проволокой на основе марганцовистой бронзы Dt 2.1367 выполняли на постоянном токе обратной полярности при напряжении 18...21В, а скорость подачи проволоки составляла 3,7...4,2м/мин

Таблица 2.4 - Химический анализ проволоки

Cu, %	Al, %	Mn, %	Fe, %	Ni, %
основа	7,5	13	2,5	2,2

Таблица 2.5 - Механические свойства

Предел текучести	R <sub>p</sub>	> 400	N/мм <sup>2</sup>
Предел прочности	R <sub>m</sub> :	> 650	N/мм <sup>2</sup>
Относительное удл.	A <sub>5</sub> :	> 10	%
Твердость	НВ:	290	Brinell

Для исследования физико-химических процессов при взаимодействии расплавленного металла шва и эмалевого покрытия из трубы с покрытием вырезали образцы и со стороны эмали проводили наплавку с гарантированным натеканием расплава на эмаль (Рисунок 2.5).

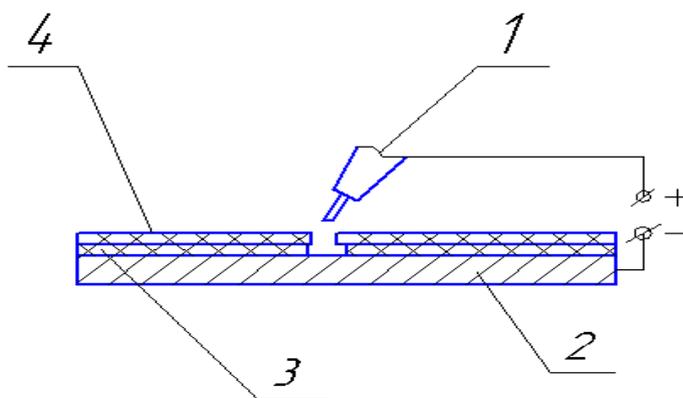


Рисунок 2.5 - Схема наплавки где: 1- сварочная горелка; 2 - основной металл, 3 - эмалевое покрытие, 4 – слой флюса

## 2.2. Определение механических свойств сварных соединений

Механические свойства сварного соединения определялись испытаниями на статическое растяжение и статический изгиб в соответствии с ГОСТ 6996-66. Испытания проводились на вырезанных из труб плоских образцах.

Испытания на статическое растяжение проводились на разрывной машине WAW-1000 (Рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 - Универсальная испытательная машина WAW-1000

Были определены следующие характеристики механических свойств при испытаниях сварных соединений на статическое растяжение и изгиб:

- временное сопротивление разрыву  $\sigma_B$ , МПа (кгс/мм<sup>2</sup>);
- относительное удлинение  $\delta_5$ , %;
- угол изгиба сварного соединения до разрушения  $\alpha$ , (градусы)

Испытания проводились на трех образцах трех типов (Рисунок 2.7): образцы без снятого усиления, образцы со снятым усилением и образцы с U-образной выточкой. Размер поперечного сечения образца измерялся при помощи микрометра с погрешностью до 0,01 мм. Длина образца измерялась с погрешностью до 0,1 мм. Расчетная длина с погрешностью до 1% ограничивалась на рабочей длине образца рисками с помощью штангенциркуля и разметочного приспособления. Измерения проводились в трех местах: в средней части и на границе рабочей толщины образца.



Рисунок 2.7 – Три типа образцов для испытаний на статическое растяжение

Проведенные испытания на статический изгиб позволяют определить способность соединения принимать заданный по размеру и форме изгиб. Эта способность характеризуется углом загиба  $\alpha$ , при котором в растянутой зоне образца образуется первая трещина, развивающаяся в процессе испытания. Если длина трещин, возникающих в процессе испытания в растянутой зоне образца, не превышает 20% его ширины, но не более 5 мм, то они не являются браковочными признаком.

Определяют также место образования трещины или разрушения (металлу шва, металлу околошовной зоны или основному металлу). Трещин не образовалось при угле загиба  $150^{\circ}$  (Рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 - Образцы после испытаний сварных соединений на статический изгиб

Твердость металла сварного соединения определялась с помощью универсального твердомера HBRV – 187.5 (рисунок 2.9) методом измерения по Бринеллю. Измерения проводили в трех зонах сварного соединения: металле шва, зоне термического влияния и основном металле.



Рисунок 2.9 – Универсальный твердомер HBRV – 187.5

Микротвердость металла шва определялась при помощи микротвердомера ПМТ-3 по сечению шва через 0,5 мм.

По предварительным экспериментам выяснили, что сварка электродной проволокой на основе марганцовистой бронзы происходит без образования обратного валика (рисунок 2.10) поэтому было решено применить широко известные флюсы для пайки, составы которых представлены в таблице 2.6.

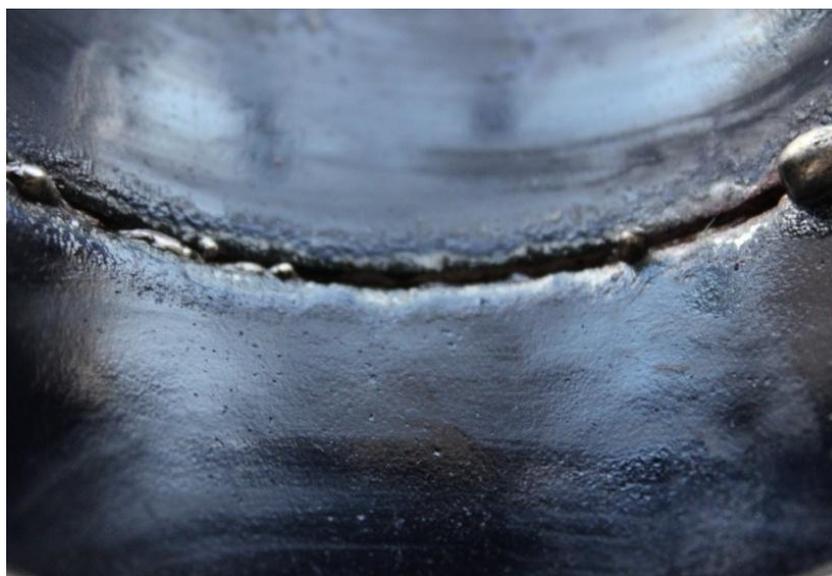


Рисунок 2.10 – Образец сварного соединения трубы с силикатно-эмалевым покрытием без образования обратного валика

Таблица 2.6 – Составы флюсов

Наименование элемента	Флюс №1	Флюс №2	Флюс №3
KBF <sub>4</sub>	-	30-34г	-
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	16-19г	33-14г
KCl	-	9-11г	15-17г
LiCl	-	16-21г	-
SnCl <sub>2</sub>	-	20-24г	8-10г
Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	7-12г	-	9-12г
NaCl	4-6г	-	15-17г
BaCl <sub>2</sub>	-	-	10-15г
CuCl	-	-	2-5г

NaF	-	-	8-10г
H3BO3	25-35г	-	-
KF	15-25г	-	-
Na2CO3	4-6г	-	-
CaF2	16г	-	-

### 2.3. Определение химического состава сварных швов

Для изучения структуры и элементного состава металла зон сварного соединения применялся метод растровой электронной микроскопии (РЭМ), который основан на регистрации различных типов сигналов, генерируемых в образце при сканировании его поверхности сфокусированным электронным зондом.

Исследования проводились в условиях ОАО «АВТОВАЗ» на комплексе, состоящем из автоэмиссионного растрового микроскопа сверхвысокого разрешения Zeiss SUPRA 55VP в комплекте с энергодисперсионным спектрометром Inca Energy 350, волновым спектрометром Inca Wave 500 и системой регистрации и анализа дифракции отраженных электронов HKL EBSD Premium System [29].

Образцы для исследований представляли собой шлифованные поверхности поперечного сечения металла сварного соединения на пластине из стали.

Последовательность проведения измерений была подобной для всех образцов.

На первом этапе регистрировались изображения исследуемой поверхности во вторичных электронах при небольших увеличениях с тем, чтобы определить особенности структурных изменений металла шва по его толщине от корня шва до наружной поверхности.

Далее, как в целом на больших участках поверхности металла шва, так и на её локальных участках проводилось определение элементного состава

покрытия (рисунок 2.11). Одновременный анализ элементного состава и дифракционной картины одного и того же участка поверхности позволяет более достоверно определить принадлежность какого-либо выделения к определённому классу веществ.

Электронное изображение 3

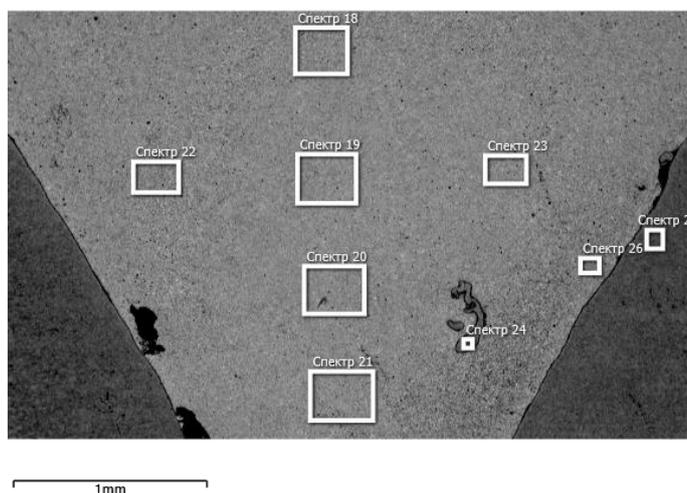
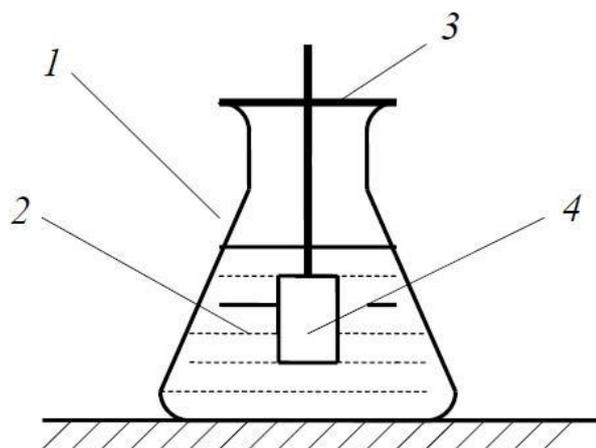


Рисунок 2.11 - Схема отбора мест проб для определения химического состава

#### 2.4. Исследование коррозионной стойкости сварных соединений

Коррозионную стойкость металлов или сплавов определяют весовым методом. Для оценки коррозионной стойкости изготавливались однотипные образцы из сварных соединений труб с эмалевым покрытием, которые предварительно взвешивали на лабораторных весах ВМ-313 ОКБ «Веста». Исследования проводили в кислой (0,1% HCl), нейтральной (3% NaCl) водной (100% H<sub>2</sub>O) средах и 20% раствор пенообразователя ПО-6ТС-М.



- 1 – стеклянная колба для раствора; 2 – раствор для испытаний;  
3 – крышка; 4 – образец

Рисунок 2.12 – Химическая ячейка для определения коррозии металлов в щелочных и нейтральных средах

При подготовке образцов на непокрытые части наносили слой шликера и отверждали в печах сопротивления при температуре  $800^{\circ}\text{C}$ . Металл шва и околошовной зоны при этом оставался открытым. Такая подготовка образцов обеспечивает объективную сравнительную оценку коррозионной стойкости различных вариантов сварных соединений. Образцы погружали в колбы с растворами кислот (рисунок 2.12) и выдерживали в течении заданного времени, извлекали, промывали водой (дистиллированной), сушили на воздухе в течение 5...10 мин и проводили повторные взвешивания на лабораторных весах. Периодический отбор образцов производился через 250 часов. При оценке коррозионной стойкости сравнивалась потеря веса образцов. Исследования коррозионной стойкости сварных соединений с применением марганцовистой бронзы проводили в 20% растворе пенообразователя ПО-6ТС-М, а так же в кислой (0,1% HCl), нейтральной (3% NaCl) водной (100% H<sub>2</sub>O) средах.

### 3. Исследование процессов сварки-пайки стали с силикатно-эмалевым покрытием с применением медных электродных проволок

#### 3.1 Исследование процессов сварки-пайки труб с эмалевым покрытием

Целью исследований являлось определение режимов механизированной сварки-пайки труб с эмалевым покрытием с применением электродной проволоки из меди и медных сплавов. Проведенные исследования показали, что удовлетворительное качество сварных соединений было достигнуто с применением проволоки Dt 2.1367 (CuMn13Al7). Качество наплавленных валиков оценивалось визуально-измерительным контролем, было выявлено что оптимальными режимами являются: напряжение дуги в интервале от 18 до 21 В; скорость подачи электродной проволоки от 3,7 до 4,2 м/мин; скорость сварки от 0,2 до 0,4 м/мин. Сварка-пайка выполнялась на постоянном токе обратной полярности. Однако не удалось получить сварное соединение с образованием обратного валика (корень шва), без нарушения целостности эмали на внутренних стенках трубы (Рисунок 2.10).

Поэтому для улучшения формирования корня шва было предложено активировать поверхность стали флюсами, применяемыми при пайке стали медными припоями. Применялись наиболее известные флюсы для пайки, состав которых приведен в таблице 3.1. Также провели серию экспериментов, с целью выявления флюса при котором будет достигнуто максимальное растекание электродного металла. Эксперимент представлял из себя серию наплавов на стальные пластины с предварительным нанесением флюсов (Рисунок 3.1). Флюс №1 применяется для высокотемпературной пайки стали с медью, флюс №2 применяется для высокотемпературной пайки меди и ее сплавов, флюс №3 применяется для высокотемпературной пайки меди. В

качестве присадочного материала использовали проволоку Dt 2.1367 (CuMn13Al7). Все режимы и условия наплавки при этом были одинаковы.

Сравнивая ширину наплавленных валиков оказалось, что при использовании флюса №1 (для высокотемпературной пайки стали с медью) получился наиболее широкий валик, ширина которого равна 16 мм (Таблица 3.2). Дальнейшие исследования производили при использовании флюса №1.



1 – образец без флюса; 2 – образец с флюсом №1;

3 – образец с флюсом №2; 4 – образец с флюсом №3

Рисунок 3.1 – Наплавленные на сталь валики из сплава CuMn13Al7 (Dt 2.1367)

Таблица 3.1 – Состав применяемых флюсов

Компоненты флюса	Флюс №1	Флюс №2	Флюс №3
KBF <sub>4</sub>	-	30-34 г	-
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	16-19 г	33-14 г
KCl	-	9-11 г	15-17 г
LiCl	-	16-21 г	-

$\text{SnCl}_2$	-	20-24 г	8-10 г
$\text{Na}_2 \text{B}_4 \text{O}_7$	7-12 г	-	9-12 г
$\text{NaCl}$	4-6 г	-	15-17 г
$\text{BaCl}_2$	-	-	10-15 г
$\text{CuCl}$	-	-	2-5 г
$\text{NaF}$	-	-	8-10 г
$\text{H}_3 \text{BO}_3$	25-35 г	-	-
$\text{KF}$	15-25 г	-	-
$\text{Na}_2 \text{CO}_3$	4-6 г	-	-
$\text{CaF}_2$	16 г	-	-

Таблица 3.2 – Ширина наплавленных валиков

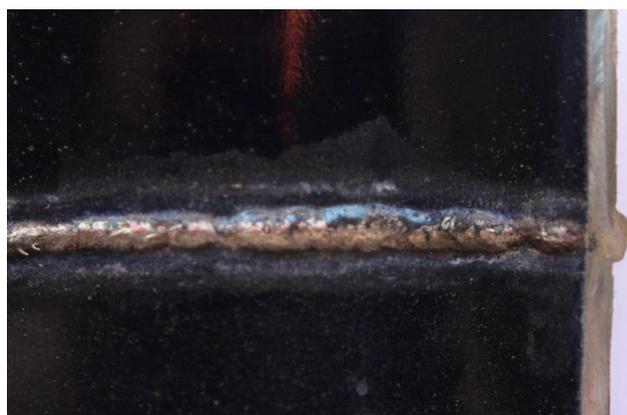
№	Характер наплавки	Ширина наплавленного валика, мм
1	Без флюса	13
2	С флюсом №1	16
3	С флюсом №2	14
4	С флюсом №3	15

При сварке-пайке флюс наносился на торцы труб в виде водного раствора с последующей сушкой. Также для формирования обратного валика перед нанесением флюса удаляли слой эмали на ширину от 1 до 3 мм.

Данные технологические приемы позволили достичь равномерного заполнения зазора между свариваемыми заготовками с образованием обратного валика (корня шва) (Рисунок 3.2)



а)



б)

Рисунок 3.2 – Лицевая (а) и обратная сторона (б) сваренных по слою флюса труб с силикатно-эмалевым покрытием

### 3.2 Исследования структуры и химического состава металла шва

Структура и химический состав металла шва будут определяться химическим составом электродной проволоки используемой при сварке труб с эмалевым покрытием. Сварка электродной проволокой Dt 2.1367 (CuMn13Al7) происходит в интервале температур около 800-1000 °С.

При указанных режимах (в под главе 3.1) обеспечивается качественная адгезионная связь электродного металла с основным (Рисунок 3.3). При этом содержание железа в металле шва увеличивается в среднем на 5 %, что является следствием растворения основного металла и диффузии железа в

металл шва. В околошовной зоне содержание меди достигает до 1% меди, что является следствием диффузии меди из металла шва (Рисунок 3.3а).

На границе основного металла и металла шва формируется практически сплошной слой толщиной 2-5 мкм на основе твердого раствора меди, марганца и алюминия в железе (Рисунок 3.3б). При сварке с использованием бронзового электродной проволоки силикатно-эмалевое покрытие на границе с металлом шва и основным металлом не разрушается (Рисунок 3.4).

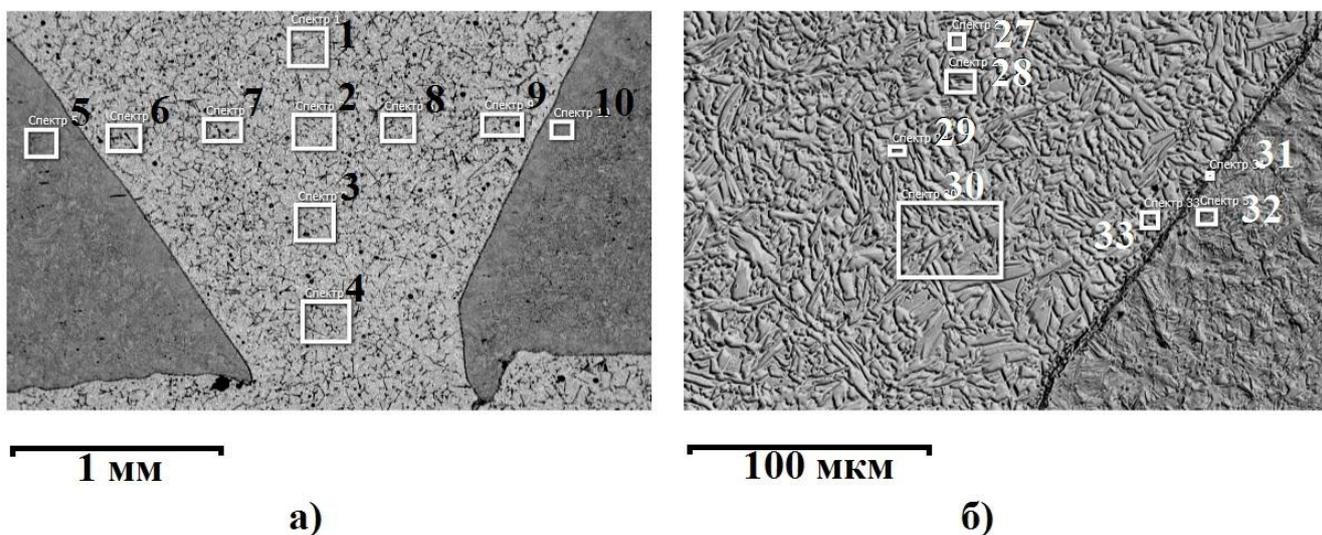


Рисунок 3.3 - Структура металла шва и околошовной зоны

Таблица 3.3 а – Химический анализ шва и околошовной зоны

Номер спектра	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Al, %	7,21	7,35	7,29	7,45		7,19	7,28	7,36	7,20	
Si, %	0,29	-	0,26	0,28			0,27	0,24		
Mn, %	12,2	12,0	12,1	12,0		12,1	12,1	11,9	11,8	
Fe, %	6	1	1	2	99,2	7	8	4	6	100
	7,12	6,92	6,40	7,22	2	7,53	8,77	8,09	8,97	
Ni, %	2,48	2,55	2,48	2,60		2,56	2,52	2,48	2,43	
Cu, %	70,6	71,1	71,4	70,4	0,78	70,5	68,9	69,8	69,5	

	5	7	6	3		4	8	8	4	
--	---	---	---	---	--	---	---	---	---	--

Таблица 3.3 б – Химический анализ шва и околошовной зоны

Номер спектра	27	28	29	30	31	32	33
Al, %	7,05	7,65	8,69	7,50	2,11		7,49
Si, %					0,48	0,67	
Mn, %	11,60	12,13	11,97	12,00	6,96		11,60
Fe, %	3,34	3,04	3,58	4,01	83,04	99,33	3,78
Ni, %	2,34	2,61	2,72	2,77			2,53
Cu, %	75,67	74,58	73,04	73,72	7,42		74,61

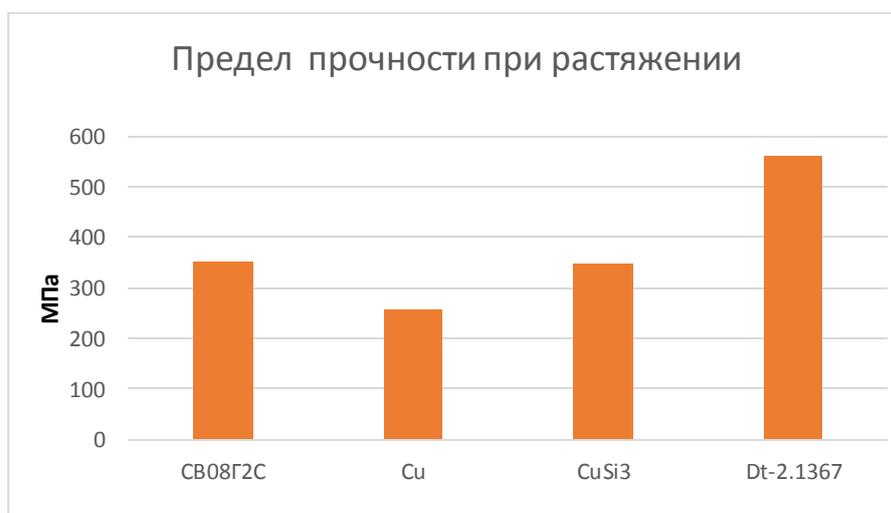


Рисунок 3.4 – Граница металла шва, основного металла и силикатно-эмалевого покрытия

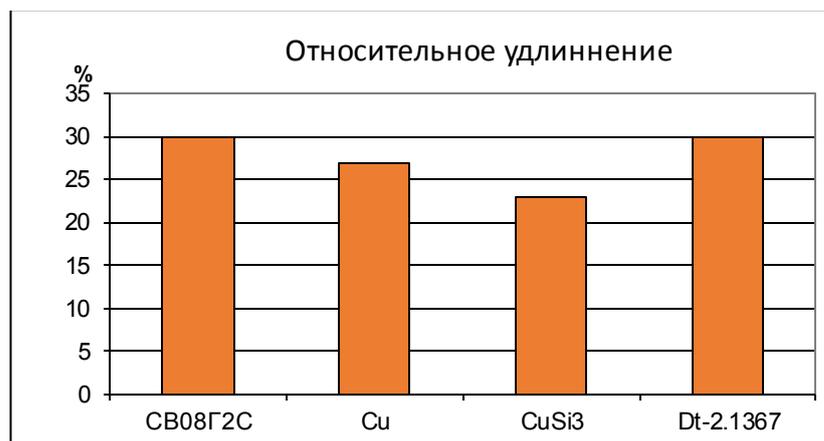
### 3.3 Испытание механических свойств сварных соединений

Исследования процессов сварки сталей с эмалевым покрытием с применением присадочных материалов из меди и медных сплавов показали,

что прочность сварных соединений с применением медной проволоки находилась в пределах 250 МПа, а пластичность на уровне 27 % (Рисунок 3.5). Повышение прочности и снижение пластичности металла шва по сравнению с медью связано с легированием железом в процессе сварки. Для сравнения представлены данные с использованием проволоки Св-08Г2С: прочность металла шва при использовании стальной проволоки Св08Г2С составила 300...400 МПа. Пластичность при использовании проволоки Св-08Г2С доходила до 30%. Использование проволоки из кремнистой бронзы повысило прочность при растяжении до 350 МПа, однако относительное удлинение не превышало 23 %. Сварное соединение, проволокой из марганцовистой бронзы, с прочностью при растяжении более 560 МПа и относительном удлинении 30% показала наилучшие механические характеристики. Исследования твердости металла шва представлены на рисунке 3.6.



a)



б)

а) предел прочности при растяжении; б) относительное удлинение  
 Рисунок 3.5 - Механические свойства сварных соединений труб с эмалевым покрытием

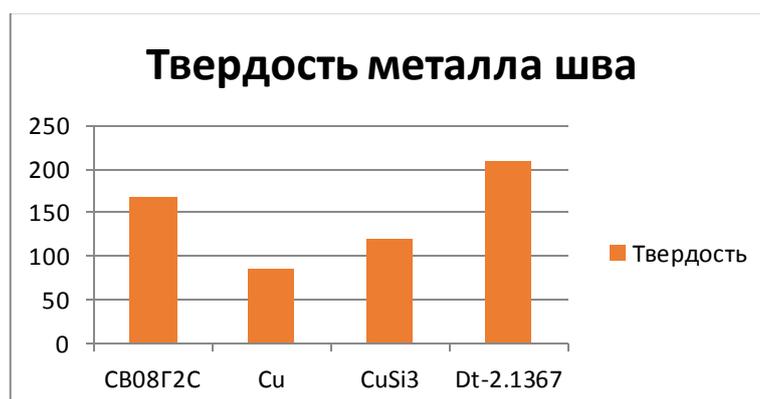


Рисунок 3.6 - Твердость металла шва при сварке труб с эмалевым покрытием

Проведенные механические испытания сварных соединений с использованием в качестве присадочной проволоки Dt 2.1367 (CuMn13Al7) показали наилучшие показатели. Испытания на статическое растяжение показали, что разрушение образцов без снятого усиления и со снятым усилением шва происходит по основному металлу (Рисунок 3.7). Предел прочности при растяжении при этом составляет более 450МПа. При испытаниях образцов с ослабленным сечением металла шва разрушение

наблюдалось по линии сплавления. Значение предела прочности при растяжении составляло более 560 МПа при относительном удлинении 30%.

Испытания на статический изгиб подтвердили целесообразность применения проволоки из сплава CuMn13Al7 для сварки труб с силикатно-эмалевым покрытием. При испытаниях трещины не наблюдались при угле загиба более 160° (Рисунок 7).

Твердость металла шва составляла 190-220 НВ, что на уровне твердости основного металла.



Рисунок 3.7 - Образцы для испытания сварных соединений на статическое растяжение

Исследования коррозионной стойкости сварных соединений с применением марганцовистой бронзы в растворе пенообразователя, а так же в кислой (0,1% HCl), нейтральной (3% NaCl) водной (100% H<sub>2</sub>O) средах также подтвердили рациональность использования проволоки Dt 2-1367 (Таблица 3.4.).

Таблица 3.4. Потеря массы при испытаниях коррозионной стойкости образцов

Среда	Потеря массы, %					
	Стальная проволока Св08А		Стальная проволока Св08Г2С		Проволока CuMn13Al7	
	250 ч	500ч	250 ч	500ч	250 ч	500ч
NaCl 3%	1,5	2,5	2	3,4	0,5	1,1
H <sub>2</sub> O 100%	0,5	1,6	0,7	2,6	0,1	0,2
ПО-6ТС-М 20%	2,1	3,3	1,3	3,6	0,4	0,8
HCl 0,1%	2	3,1	2,5	3,4	20	34

#### 4. Технология сварки-пайки труб с силикатно-эмалевым покрытием

Проведенные исследования показали возможность применения для сварки-пайки эмалевых труб присадочных материалов на основе меди и медных сплавов. Исходя из объема промышленного применения, механических и эксплуатационных свойств в качестве присадочного материала можно рекомендовать электродную проволоку Dt 2.1367 (CuMn13Al7).

Технология сварки-пайки труб состоит из следующих основных операций: очистка труб и деталей трубопровода; подготовка кромок; нанесение флюса с внутренней и внешней стороны трубы; просушка стыка; сборка труб и деталей трубопровода; соединение элементов трубопровода; контроль качества. Основным преимуществом предлагаемой технологии является отсутствие операции восстановления эмалевого покрытия на обратной стороне шва при высоких показателях коррозионной стойкости соединения.

##### 4.1 Очистка труб и деталей трубопровода

В процессе сборки и сварки-пайки технологических трубопроводов с силикатно-эмалевым покрытием, необходимо в полной мере выполнять советы завода производителя данных труб, для чего в технологические карты по сварке обязательно должны быть добавлены особые указания. При отсутствии специальных требований сварку следует выполнять в соответствии с требованиями РД.

Кромки и прилегающие к ним внутренние и наружные поверхности труб должны быть зачищены до металлического блеска на ширину не менее 20 мм, затем обезжирены с помощью спирта и просушены. Для очистки труб могут использоваться шлифовальные машинки, металлические щетки. На этапе очистки, также следует убедиться в целостности силикатно-эмалевого

покрытия.

#### 4.2 Подготовка кромок

Перед подготовкой кромок осматривается поверхность кромок труб и деталей трубопровода. В процессе подготовки труб и соединительных деталей к сборке необходимо производить подбор внутренних диаметров стыкуемых труб таким образом, чтобы отклонения диаметров были минимальными. В противном случае из-за несоосности внутренних кромок могут возникнуть дефекты (непровар, несплавление кромки) которые повлекут за собой снижение коррозионной стойкости сварного соединения.

Геометрические параметры разделки кромок следует принимать по ГОСТ 16037-80 [30] в зависимости от толщины свариваемых деталей. Угол разделки кромок для стыковых соединений следует применять в соответствии с Рисунком 4.1. Для подготовки кромок могут использоваться как ручные шлифовальные машинки, так и более сложное механизированное оборудование (токарные станки, кромкорезы, фаскосниматели и др.).

Для формирования обратного валика с внутренней стороны перед нанесением флюса необходимо удалить слой эмали на 1-3мм от края стыка (Рисунок 4.2).

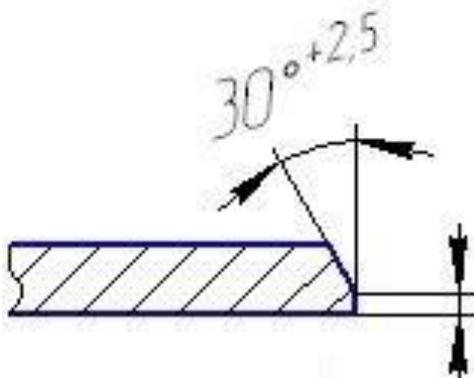


Рисунок 4.1 – Угол разделки кромок

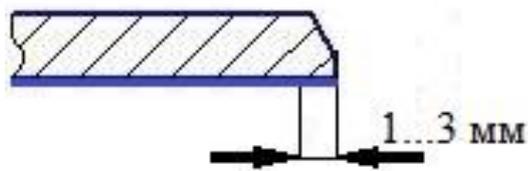


Рисунок 4.2 – Схема удаления эмалевого покрытия

#### 4.3 Нанесение флюса на торцы соединяемых труб

Нанесение водяного раствора флюса для улучшения растекания расплавленного металла в сварном соединении. Флюс наносится на торцы соединяемых труб с внутренней и внешней стороны трубы при помощи кисти на расстоянии 15...25 мм от торца трубы равномерным слоем. Высушить флюс газовой горелкой. Температура нагрева трубы не должна превышать 50...70 °С. Замер температуры проводить на расстоянии 60...75 мм от торца трубы, снятие показаний температуры проводить по периметру трубы не менее чем в четырех точках.

#### 4.4 Сборка труб и деталей трубопровода

Выбранным способом сварки является механизированная аргонодуговая сварка плавящимся электродом. В связи с этим рекомендуемая схема конструкции стыка представлена на рисунке 4.3.

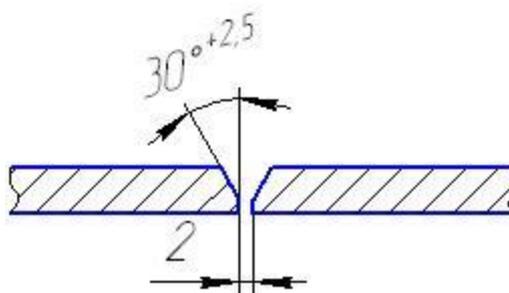


Рисунок 4.3 - Конструкция стыка при механизированной сварке труб с

## эмалевым покрытием присадочной проволокой на основе марганцовистой бронзы

Сборку труб проводят с использованием наружных центраторов. Перед сваркой необходимо проконтролировать величину зазора между свариваемыми кромками стыкуемых труб равномерно по периметру стыка в 4 точках. Прихватки, предназначенные для соединения элементов трубопровода должны обеспечивать их крепление на период сварки стыка. Длина прихваток должна быть не менее 20...30 мм. Должно быть не менее трех прихваток по периметру стыка, прихватки выполнять с полным проваром корня шва. Поверхность сборочных прихваток должна быть тщательно очищена от брызг и подвергнута внешнему осмотру.

Начальный и конечный участки прихваток для обеспечения плавного перехода при сварке корневого слоя шва зачистить электрошлифовальной машинкой. Бракованные прихватки необходимо удалить абразивным инструментом, и сварены вновь. Требования по контролю к прихваткам предъявляются аналогичные, как и к сварному соединению.

Для сварки и установки прихваток используется сварочное оборудование предназначенное для полуавтоматической сварки плавящимся электродом в среде защитных газов.

В процессе сборки стыков должно быть исключено попадание влаги и других загрязнений в места сопряжения соединяемых элементов. Перед нанесением прихваток следует произвести предварительный подогрев до температуры 50...70 °С во избежание повреждений внутреннего силикатно-эмалевого покрытия, нанесенного в заводских условиях.

### 4.5 Сварка-пайка стыков

При соединении трубопровода из стали с эмалевым покрытием зажигание (возбуждение) дуги следует выполнять в разделке кромок

соединения или на ранее выполненной части шва. Запрещается возбуждать дугу и выводить кратер на основной металл за пределы шва.

Ожоги поверхности основного металла дугой не допускаются. В случае их появления они должны быть зачищены абразивным инструментом на глубину 0,3...0,5мм.

Каждый последующий валик (слои) многослойного шва следует выполнять после тщательной очистки предыдущего валика (слоя) от загрязнений и брызг металла. Участки шва с порами, трещинами и раковинами должны быть удалены до наложения последующих слоев.

Начало и конец швов надлежит выводить на наплавленный металл при условии тщательного заплавления кратера и последующей его зачистки абразивным инструментом. Прожоги в процессе наложения первого слоя шва не допускаются.

Сварные соединения труб имеющих эмалевое покрытие выполняются с увеличенным усилением наружной поверхности шва (выпуклость шва). Швы с повышенным усилением сварного шва должны выполняться с усиливающейся наплавкой высотой не менее 3 мм и шириной, равной не менее 2,5 толщин соединяемых труб (Рисунок 4.4).

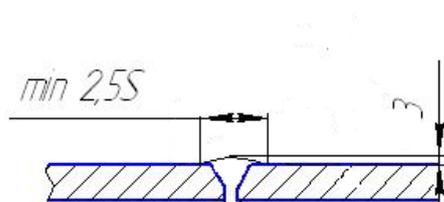


Рисунок 4.4 - Соединение при механизированной сварке труб с эмалевым покрытием электродной проволокой на основе марганцовистой бронзы Dt 2.1367.

По окончании процесса сварки поверхности швов должны быть очищены от брызг электродного металла. Результаты усиления швов должны быть отмечены в исполнительной схеме с указанием их порядкового номера.

Увеличение геометрических размеров швов не является дефектом при условии обеспечения плавного перехода от оси шва к основному металлу.

Для сварки труб с эмалевым покрытием может успешно применяться полуавтомат «MIGATRONIC BDH PS – 550». В качестве присадочной проволоки рекомендуется использовать электродную проволоку из марганцовистой бронзы Dt 2.1367. Диаметр проволоки составляет 0,85...1,2 мм. Проведенные исследования позволили рекомендовать основные режимы сварки: напряжение 18...21 В, постоянный ток обратной полярности, скорость подачи присадочной проволоки 3,7...4,2 м/мин и скорости сварки 0,2...0,4 м/мин.

Непосредственно после сварки следует очистить сварное соединение от остатков флюса, шлака и брызг металла для дальнейшего контроля качества сварного соединения

#### 4.6. Контроль качества соединений

Все сварные соединения труб должны подвергаться контролю неразрушающими методами в объемах указанных в проектной документации. При сварке системы пожаротушения из труб с эмалевым покрытием, которая относится к технологическим трубопроводам в соответствии с РД-19.100.00-КТН-001-10 и РД-25.160.00-КТН-011-10 сварные соединения подвергаются 100% контролю ВИК, ПВК, УЗК.

Временное сопротивление разрыву, определяемое на плоских образцах со снятым усилением, должно быть не ниже нормативного значения временного сопротивления разрыву основного металла труб, регламентированного техническими условиями на их поставку или ГОСТ.

Среднее арифметическое значение угла изгиба образцов (тип ХХУП ГОСТ 6996-66) должно составлять не менее 120°, при минимальном значении для одного образца – 100°.

При испытании на излом соединений прямых врезок поверхность

излома каждого образца должна иметь полный провар и сплавление между слоями шва. Максимальный размер любой газовой поры не должен превышать 2,0 мм, а суммарная площадь всех газовых пор не должна быть более 2 % площади излома образца. Глубина шлаковых включений – не более 1,0 мм, а их длина – не более 3,5 мм. Расстояние между соседними шлаковыми включениями должно быть не менее 13 мм. Любые трещины являются браковочным признаком.

## Заключение

В ходе выполнения магистерской диссертации были проанализированы материалы возможные и используемые для сварки труб с силикатно-эмалевым покрытием, установлено, что при применении всех рассмотренных материалов создаются условия, при которых в процессе сварки происходит выгорание (разрушение) эмалевого покрытия в зоне сварного соединения и ЗТВ. Причиной разрушения эмали является высокотемпературное воздействие дуги, а разрушение эмалевого покрытия приводит к снижению коррозионной стойкости всего трубопровода. Существующие технологии для повышения коррозионной стойкости трубопроводов с силикатно-эмалевым покрытием значительно повышают стоимость строительства (восстановления, ремонта) системы пожаротушения вертикальных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов.

В данной работе для сварки труб с силикатно-эмалевым покрытием предложено использовать электродные проволоки на основе меди и медных сплавов, которые обладают высокой коррозионной стойкостью и позволяют снизить температурное воздействие дуги на свариваемые кромки (эмалевое покрытие).

Для исследования процессов сварки труб с эмалевым покрытием с применением электродных материалов на основе меди и медных сплавов была разработана методика, скомпоновано оборудование и оснастка.

Проведенные исследования показали наибольшую целесообразность применения в качестве электродных материалов марганцовистую бронзу, применение которой не разрушает эмаль в зоне термического влияния, обеспечивает высокие показатели прочности и пластичности металла шва, а также хорошие показатели коррозионной стойкости при испытаниях в растворах пенообразователей.

На основании проведенных исследований была разработана технология сварки труб с эмалевым покрытием с применением электродного материала на основании марганцовистой бронзы CuMn13Al7.

## Список литературы

1. Варгин, В. В. Эмалирование металлических изделий. [Текст] /В.В. Варгин // Л.; Машиностроение – 1972 - 377 С.
2. Варгин, В.В. Технология эмали и эмалирования металлов [Текст] / В. В. Варгин, Е. А. Антонова, Л. Л. Гуторова // М.: Машиностроение - 1958- 342 С.
3. Стеклов О. И. Свариваемость металлов и сплавов. [Текст] /О.И. Стеклов // Итоги науки и техники. Сварка. Т. 14. М.: ВИНТИ – 1982 - 70 С.
4. Стеклов, О.И. Технология сварки трубопроводов с двухсторонним эмалевым покрытием [Текст] / О.И. Стеклов, Сюй Шиго, Ли Гаочаго, А.М. Лошаков, Н.П. Кармазинов, Е.В. Петрусенко // Сварочное производство. – 1998. - № 2. - С. 29-34.
5. Савицкий, А.М. Особенности сварки изделий с защитным эмалевым покрытием [Текст] / А.М. Савицкий, В.Н. Ващенко, И.В. Бобров // Автоматическая сварка. - 2006.- №3 - С.37-39.
6. ГОСТ Р 52910-2008. Национальный стандарт Российской Федерации. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия. [Текст] Введ. 01.01.2009. М.: Стандартиформ, 2009. – 51 с.
7. ГОСТ 27751-14. Межгосударственный стандарт. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. [Текст] – Взамен ГОСТ 27751-88; Введ. 01.07.2015. М.: Стандартиформ, 2015. – 13 с.
8. Строительные нормы и правила: СНиП 2.01.07 – 85. Нагрузки и воздействия [Текст]: нормативно-технический материал. – Москва: [б.и.], 1987. – 36 с.
9. РД-13.220.00-КТН-014-10. Руководящий документ. Нормы проектирования систем пенного пожаротушения и водяного охлаждения объектов магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. [Текст] – Взамен

- РД-19.00-74.20.11-КТН-004-1-05. Введ. 19.09.2005. ОАО Гипротрубопровод, 2005. – 179 с.
10. Свод правил: СП 21-104-98. Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование систем противопожарной защиты резервуарных парков Госкомрезерва России. [Текст] Введ. 12.11.1998. Госкомрезерв России, 1998. – 11 с.
11. СО 03-06-АКТНП-006-2004. Стандарт организации. Нормы пожарной безопасности. Проектирования и эксплуатация систем пожаротушения нефтепродуктов в стальных вертикальных резервуарах системы ОАО «АК «Транснефтепродукт». [Текст] Введ. 29.07.2004. ФГУ ВНИИПО МЧС РФ, 2004. – 59 с.
12. ГОСТ Р 53290-2009. Национальный стандарт Российской Федерации. Техника пожарная. Установки пенного пожаротушения. Генераторы пены низкой кратности для подслоного тушения резервуаров. Общие технические требования и методы испытаний. [Текст] Введ. 01.01.2010. М.: Стандартинформ, 2009. – 14 с.
13. ГОСТ Р 50588-93. Национальный стандарт Российской Федерации. Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний. [Текст] Введ. 01.07.1994. ТК 274 Пожарная безопасность, 1994. – 15 с.
14. Дудко, Д.А. Особенности тепловых процессов при сварке с термоциклированием. [Текст] / Д.А. Дудко, А.М. Савицкий, М.М. Савицкий, Е.М. Олейник // Автоматическая сварка. - 1998.- №4 - С.8-12.
15. Вагнер Ф. А. Термоциклирование при сварке вольфрамовым электродом [Текст] / Ф. А. Вагнер // Сварочное производство. - 1980 - №2 - С.4-6.
16. Макара, А. М. Сварка высокопрочных сталей. [Текст] / А. М. Макара. М. А. Мосндз. - Киев: Техника, 1976. - 140 с.
17. Прохоров, Н. Н. Физические процессы в металлах при сварке. Т2. [Текст] / Н. Н. Прохоров// - М.: Металлургия - 1976 – 600 С.

18. Ковтунов, А. И. Применение медной присадочной проволоки при сварке стали с алюмокремниевым покрытием [Текст] / А. И. Ковтунов, Т. В. Чермашенцева, П. Н. Селянин, Ю. Ю. Хохлов // Сварочное производство. - 2010 - №8 - С. 37-39.
19. Ковтунов, А.И. Сварка труб с силикатно-эмалевым покрытием [Текст] / А.И. Ковтунов, Н.С. Алексеев, Д.И. Плахотный, О.В. Танасов // Вектор науки ТГУ. – 2015. - №3. - С. 60-67.
20. Al-Fe-Ni (Aluminum-Iron-Nickel) [Текст] / V. Raghavan // Journal of Phase Equilibria and Diffusion. – 2009. – Vol. 30, № 1. – P. 85–88.
21. Al-Fe-Ni (Aluminum-Iron-Nickel) [Текст] / V. Raghavan // Journal of Phase Equilibria and Diffusion. – 2009. – Vol. 30, № 4. – P. 375–377.
22. Al-Fe-Ni (Aluminum-Iron-Nickel) [Текст] / V. Raghavan // Journal of Phase Equilibria and Diffusion. – 2005. – Vol. 26, № 1. – P. 70–71.
23. Al-Fe-Ni (Aluminum-Iron-Nickel) [Текст] / V. Raghavan // Journal of Phase Equilibria and Diffusion. – 2006. – Vol. 27, № 5. – P. 489–490.
24. Al-Fe-Ni (Aluminum-Iron-Nickel) [Текст] / V. Raghavan // Journal of Phase Equilibria and Diffusion. – 2008. – Vol. 29, № 2. – P. 180–184.
25. Isothermal Sections in the (Fe, Ni)-Rich Part of the Fe-Ni-Al Phase Diagram [Текст] / Igor Chumak et al. // Journal of Phase Equilibria and Diffusion. – 2008. – Vol. 29, № 4. – P. 300–304.
26. Al-Fe-Ni (Aluminum-Iron-Nickel) [Текст] / V. Raghavan // Journal of Phase Equilibria and Diffusion. – 2009.
27. Диаграммы состояния двойных металлических систем [Текст]: Справочник: В 3 т.: Т.2/Под общ. ред. Н.П. Лекишева. – М.: Машиностроение - 1997 – 1024 с.
28. Кубашевски, О. Диаграммы состояния двойных систем на основе железа [Текст] / О. Кубашевски. пер. с англ. – М.: Metallurgia, 1985. – 184 с.
29. Ковтунов, А.И. Физико-химическая кинетика взаимодействия алюминия со сталью при формировании металла шва с заданными свойствами [Текст]: дисс. док. тех. наук/ А.И. Ковтунов. – Тольятти, 2011. – 357 с.

30. ГОСТ 16037-80. Межгосударственный стандарт. Соединения сварные стальных трубопроводов. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. [Текст] – Взамен ГОСТ 16037-70; Введ. 30.06.1981. М.: Издательство стандартов, 1981. – 23 с.