

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Факультет «Заочный»

Кафедра «Оборудование и технология сварочного производства»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ М.А. Иванов

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

Технология сборки и сварки труб диаметром 219 мм с внутренним антикоррозионным покрытием  
Сварка кольцевых швов труб с антикоррозионным покрытием

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ-15.03.01.2017. ПЗ ВКР**

Руководитель работы  
Ярославцев С.И.,

доцент каф. ОиТСП

\_\_\_\_\_ Подпись И.О., Фамилия

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

Автор работы  
студент группы ПЗ-540  
Семенов Алексей Анатольевич

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

Нормоконтролёр  
преподаватель кафедры ОиТСП

\_\_\_\_\_ Ю.В. Безганс

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

Челябинск, 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ .....	8
1.1 Описание сварной конструкции .....	8
1.2 Описание применяемых материалов .....	9
1.3 Применяемый процесс сборки и сварки .....	12
1.4 Несовершенство базового технологического процесса .....	24
1.5 Цели квалификационной работы .....	25
1.6 Описание предлагаемой технологии .....	25
1.7 Описание сварочных материалов .....	26
1.8 Расчет режимов сварки .....	28
1.8.1 Расчет параметров режима сварки корневого слоя .....	29
1.8.2 Расчет параметров режима сварки заполняющего слоя .....	36
1.8.3 Расчет параметров режима сварки облицовочного слоя .....	38
1.9 Выбор оборудования для сварки .....	41
2 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ.....	45
3 КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА .....	46
4 ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ.....	51
4.1 Расчет фондов рабочего времени .....	51
4.2 Расчет норм штучного времени .....	53
4.3 Организация производства .....	57
4.4 Расчет расхода материалов .....	60
5 ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ.....	62
5.1 Правила электрической безопасности .....	63
5.2 Техника безопасности при сварочных работах .....	65
5.3 Работа в особо опасных условиях .....	66
5.4 Правила пожарной безопасности .....	66
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	69

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	70
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	71

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

## ВВЕДЕНИЕ

В Российской Федерации система промышленного транспортирования нефти и нефтепродуктов является не менее важной, чем магистральная, особенно в настоящее время при возрастающих объемах добычи и перекачки нефти.

При этом растет число аварий на промышленных трубопроводах и проблема надежности при эксплуатации трубопроводов является наиболее актуальной. Причинами отказов являются меры, недостаточные для защиты трубопроводов от коррозии. При транспортировании нефти и нефтепродуктов особое внимание уделяется сохранению целостности линейной части промышленных нефтепроводов, а также предупреждению появления отказов и аварий. Следовательно, основной задачей при обеспечении надежности и безопасности нефтепроводов, как и любой другой опасной технической системы является надежность на всех стадиях ее жизненного цикла.

В настоящее время разрабатывается комплекс мер для защиты трубопроводов от влияния коррозии на основной металл. Одной из таких мер является применение антикоррозионного покрытия как снаружи так и внутри трубопровода. Это позволяет избежать появления очагов коррозии, которая негативно сказывается на работоспособности промышленных и не только трубопроводов. Но, в то же время, качество изготовления сварных швов труб с антикоррозионным покрытием должно соответствовать требованиям НД. При этом, производительность при строительстве должна быть на требуемом уровне.

Целью выпускной квалификационной работы является модернизация технологии сборки и сварки кольцевых швов труб с антикоррозионным покрытием. Задачами работы являются анализ технологии сборки и сварки, замена существующего способа сварки на более производительный, который должен также обеспечивать качество сварных соединений.

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

# 1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

## 1.1 Описание сварной конструкции

Изготовление нефтепровода промышленного производится из труб типоразмером 219×12 мм. Общий вид труб, используемых при строительстве промышленного нефтепровода, изображен на рисунке 1.1.

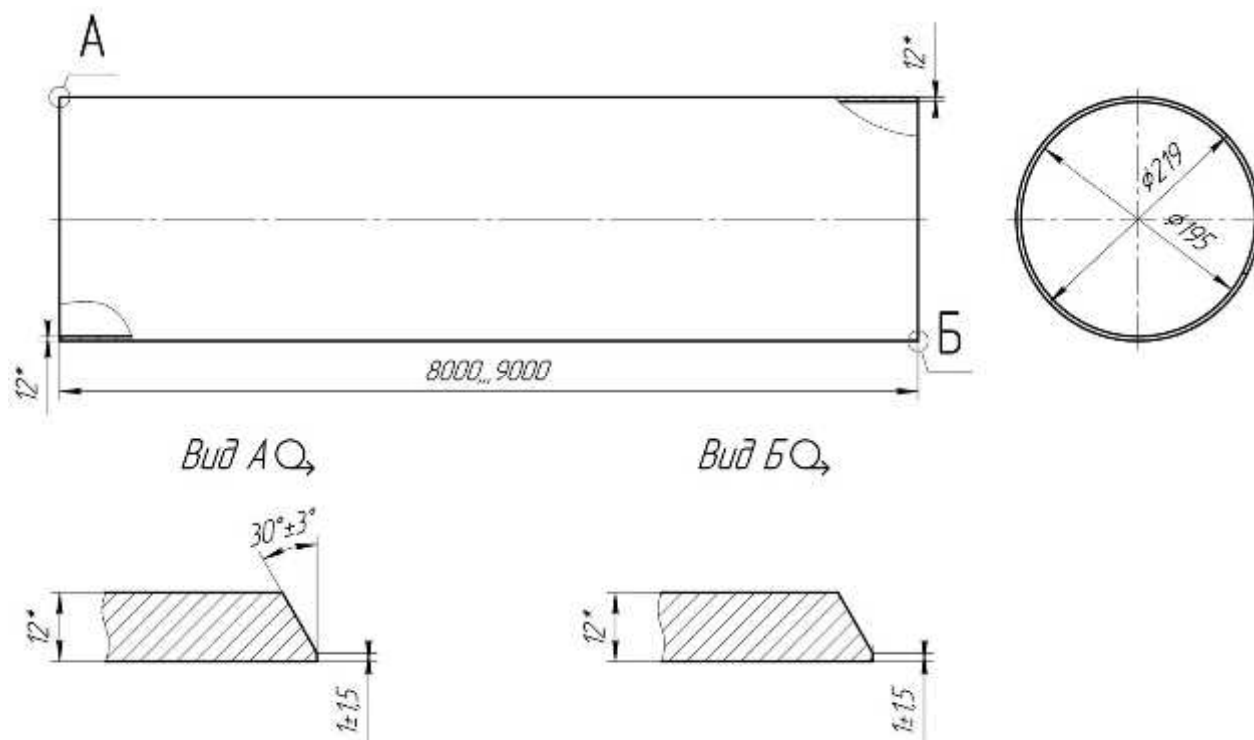


Рисунок 1.1 – Общий вид труб, используемых при строительстве промышленного нефтепровода

Трубы, которые поставляются на объект строительства промышленных нефтепроводов являются бесшовными. Документом, регламентирующим геометрические параметры и качество поверхности труб, является ГОСТ 8732-78 «Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Сортамент». Точность изготовления обычная.

Длина труб, применяемых при изготовлении нефтепровода, находится в диапазоне 8000 – 9000 мм. В то же время допускается поставка труб длиной менее 8000 мм в количестве не более 10% от партии.

Как видно из рисунка 1.1, на обоих торцах трубы присутствует одноугловая

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

фаска с углом скоса  $30^{\circ} \pm 3^{\circ}$ . Данная фаска применяется для соединения деталей толщиной стенки не более 15 мм. При сварке указанный тип фаски обеспечивает требуемое условие равнопрочности. При этом, в расчетах учитывается оптимальное количество наплавленного металла при данном типе фаски.

Трубы, поставляемые на объект строительства промышленного нефтепровода при проведении контроля качества должны соответствовать следующим геометрическим параметрам:

- косина реза не должна превышать значение 2 мм;
- предельное отклонение по наружному диаметру не должно превышать значения 2,19 мм либо 1% от значения диаметра;
- предельное отклонение по толщине стенки не должно превышать значения 15% в меньшую сторону и 12,5% в большую (1,8 мм и 1,5 мм соответственно);
- значение овальности не должно быть более 2 мм;
- значение кривизны любого участка трубы на 1 м не должна быть более 1,5 мм.

## 1.2 Описание применяемых материалов

Основным материалом для промышленного нефтепровода служит сталь марки 10Г2, поставляемая согласно требованиям ГОСТ 8731-74\* «Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Технические требования». Указанная сталь является низколегированной перлитного класса. Обладает хорошими технологическими свойствами и хорошей свариваемостью. Химический состав стали 10Г2 регламентируется требованиями ГОСТ 19281-2014.

Химический состав стали 10Г2 показан в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Химический состав стали 10Г2 (ГОСТ 19281-2014)

В процентах

Химический элемент	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	S	P
				Не более				
Количество	0,09 – 0,12	0,17 – 0,37	1,4 – 1,8	0,3	0,3	0,3	0,02	0,025

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ				Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					10

Механические свойства стали 10Г2 показаны в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Механические свойства стали 10Г2 (ГОСТ 8731-74\*)

Предел текучести $\sigma_T$ , МПа, не менее	Предел временного сопротивления $\sigma_B$ , МПа, не менее	Относительное удлинение $\delta_5$ , %, не менее	Твердость, НВ, не более
265	421	21	197

Свариваемость стали 10Г2 определяется по формуле (1) из ГОСТ 19281-2014:

$$C_{\Sigma} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2}, \quad (1)$$

где С, Мn, Si, Cr, Ni, Cu, P – массовые доли в стали углерода (С), марганца (Mn), кремния (Si), хрома (Cr), никеля (Ni), меди (Cu) и фосфора (P) по результатам ковшовой пробы, %.

При расчете свариваемости всегда пользуются фактическими значениями содержания химических элементов, которое приведено в сертификате качества. Для выпускной работы такие данные отсутствуют, следовательно, расчет свариваемости будем производить по максимальному значению содержания химических элементов в соответствии с требованиями ГОСТ 19281-2014.

Подставим значения содержания химических элементов для стали 10Г2, указанные в таблице 1.1, в формулу (1) и получим, что значение  $C_{\Sigma}$  составляет

$$C_{\Sigma} = 0,12 + \frac{1,8}{6} + \frac{0,37}{24} + \frac{0,3}{5} + \frac{0,3}{40} + \frac{0,3}{13} + \frac{0,025}{2} = 0,54 \text{ \%}.$$

Допустимое значение  $C_{\Sigma}$ , при котором не применяется предварительный подогрев, составляет 0,43%. Полученное значение  $C_{\Sigma}$  превышает требуемое. Поэтому, при сварке труб из стали 10Г2 требуется проведение предварительного подогрева.

Определим температуру предварительного подогрева по формуле (2) из [2]

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$T_0=350 \cdot (|C|_{\text{Э}}-0,25)^{0,5}, \quad (2)$$

где  $|C|_{\text{Э}}$  – полный эквивалент углерода, %.

Определим полный эквивалент углерода  $|C|_{\text{Э}}$  по формуле (3) из [2]

$$|C|_{\text{Э}}=|C|_{\text{Х}}+|C|_{\text{Р}}, \quad (3)$$

где  $|C|_{\text{Х}}$  – химический эквивалент углерода, %;

$|C|_{\text{Р}}$  – размерный эквивалент углерода, %.

Определим химический эквивалент углерода  $|C|_{\text{Х}}$  по формуле (4) из [2]

$$|C|_{\text{Х}}=C+\frac{\text{Mn}+\text{Cr}}{9}+\frac{\text{Ni}}{18}+\frac{7\text{Mo}}{90}, \quad (4)$$

где С, Мп, Сг, Мо, Ni – массовые доли в стали углерода (С), марганца (Мп), хрома (Сг), молибдена (Мо), никеля (Ni) по результатам ковшовой пробы, %.

Подставляя значения содержания химических элементов в формулу (4) получим, что химический эквивалент углерода  $|C|_{\text{Х}}$

$$|C|_{\text{Х}}=0,12+\frac{2,1}{9}+\frac{0,3}{18}=0,37 \text{ \%}.$$

Определим размерный эквивалент углерода  $|C|_{\text{Р}}$  по формуле (5) из [2]

$$|C|_{\text{Р}}=0,005S|C|_{\text{Х}}, \quad (5)$$

где  $S = 12$  – толщина деталей, подлежащих сварке, мм.

Тогда, по формуле (5) получим, что

$$|C|_{\text{Р}}=0,005 \cdot 12 \cdot 0,37=0,022 \text{ \%}.$$

									Лист
									12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2017.971.00 ПЗ				



Подставим полученные значения  $|C|_X$  и  $|C|_P$  в формулу (3) и получим, что полный эквивалент углерода  $|C|_Э$

$$|C|_Э = 0,37 + 0,022 = 0,392 \%$$

Таким образом, температура предварительного подогрева  $T_0$  равна

$$T_0 = 350 \cdot (0,392 - 0,25)^{0,5} = 131,9 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Примем, что минимальная температура предварительного подогрева составляет  $135 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

### 1.3 Применяемый процесс сборки и сварки

Технологический процесс строительства промышленного нефтепровода начинается с проведения входного контроля. Входной контроль производится на перевалочной базе, куда складированы трубы после первичной доставки.

Входной контроль производится согласно нормативным документам, регламентирующим изготовление продукции для строительства. Так при входном контроле труб для промышленного нефтепровода первично производится проверка сертификатных данных. В сертификате должна быть указана следующая информация:

- наименование завода-изготовителя труб;
- типоразмер поставляемых труб;
- номера поставляемых труб;
- номера плавок основного металла;
- сведения о химическом составе;
- сведения о механических свойствах;
- отметка ОТК о приемке.

По окончании проверки сертификатных данных начинается проверка

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

геометрических параметров труб, а также визуальный осмотр наружной и внутренней поверхностей на наличие дефектов металла, выводящих толщину стенки за пределы допуска. Проверка сертификатов и паспортов труб производится на изделиях в количестве 100%, контроль геометрических параметров производится на изделиях в количестве 10% от партии. Если выявлено несоответствие хотя бы по одному параметру, количество контрольных изделий удваивается. Если повторно обнаружено несоответствие, то вся партия бракуется и к месту строительства собирается комиссия для расследования причин.

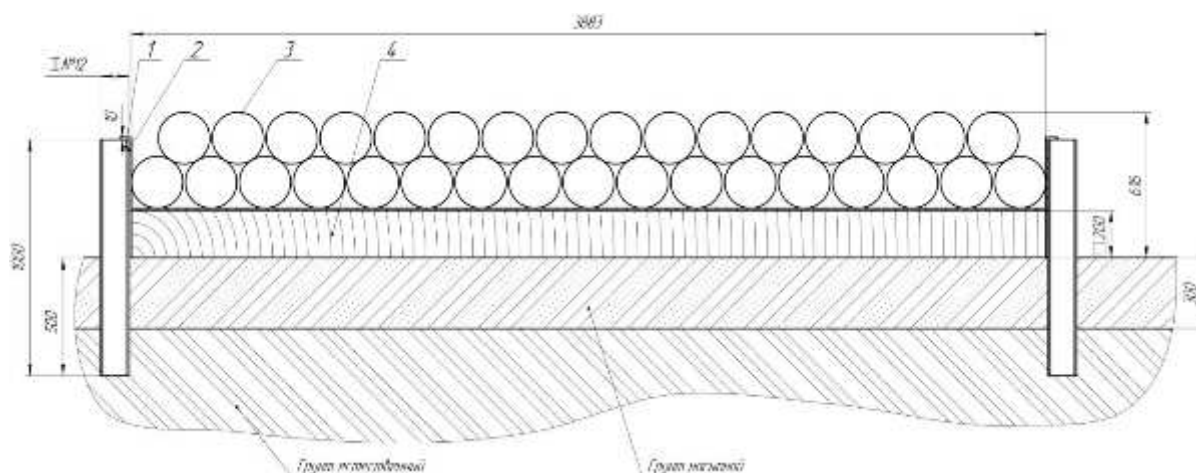
После проведения входного контроля трубы отправляются к месту монтажа. Доставка труб до места производится при помощи плетевозов, общий вид которых показан на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 – Общий вид плетевоза для доставки труб к месту монтажа

При строительстве промысловых трубопроводов в местности, в которой преобладают болотистые участки и водные переходы, трубы складированы на специально сооруженной линейной базе, на которой имеется площадка складирования. Складирование производится в штабеле. Общий вид штабеля показан на рисунке 1.3.

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14



1 – свая; 2 – прокладка резиновая; 3 – труба; 4 – брус

Рисунок 1.3 – Общий вид штабеля

Штабель представляет собой площадку из насыпного грунта с заколоченными сваями в количестве 6 шт. Поперек каждой сваи укладывается деревянный брус сечением 200×200 мм. На брус прибивается гвоздями прокладка резиновая толщиной 10 мм.

Такие базы располагаются на участках длиной по 25 км. Доставка труб непосредственно к месту строительства осуществляется в количестве, необходимом для изготовления в течение одной смены. По завершении строительства рассматриваемого участка длиной 25 км база передислоцируется на следующее место.

В штабеле производится осмотр торцов труб и при необходимости их ремонт. Допускается при наличии забоин фасок глубиной до 5 мм производить ремонт сваркой.

Из штабеля трубы поставляются при помощи плетевозов к месту монтажа. Выкладка труб в нитку производится на предварительно подготовленные насыпи. Так как на трубах имеется защитное наружное антикоррозионное покрытие, то на насыпи также укладываются резиновые прокладки.

Расстояние между крайними трубами не должно быть менее 500 мм. Схема расположения труб показана на рисунке 1.4.

Схема укладки труб на песчаные насыпи показана на рисунке 1.5.

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

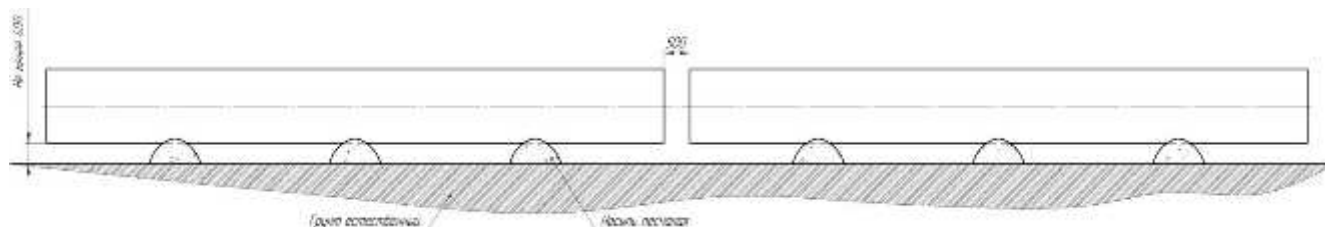


Рисунок 1.4 – Схема расположения труб

Перед сборкой труб внутренняя полость их очищается от земли и других загрязнений. В это же время производится осмотр поверхности и кромок. При обнаружении недопустимых дефектов производится ремонт. Царапины, риски, а также задиры на неизолированных участках труб глубиной свыше 0,2 мм, но не более 0,8 мм устраняются шлифованием. Забоины и задиры фасок глубиной до 5 мм подлежат ремонту электродами с основным покрытием марки МТГ 01К диаметром 3 мм. Отремонтированные участки подлежат зачистке и визуальному контролю.

При обнаружении на концах труб вмятин глубиной до 50 мм производится их правка безударным разжимным устройством с местным подогревом до температуры не менее 100 °С. Подогрев производится при любой температуре окружающей среды.

После осмотра труб начинается их сборка. Сборка производится при помощи крана-трубоукладчика. Общий вид крана-трубоукладчика показан на рисунке 1.5.



Рисунок 1.5 – Общий вид крана-трубоукладчика

Для строповки используются текстильные стропы.

После строповки труб производится их сборка. Сборка производится при

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

помощи наружного центратора ЦЗН-219. Общий вид центратора ЦЗН-219 показан на рисунке 1.6.



Рисунок 1.6 – Общий вид центратора ЦЗН-219

Для защиты внутреннего антикоррозионного покрытия применяется втулка, показанная на рисунке 1.7.

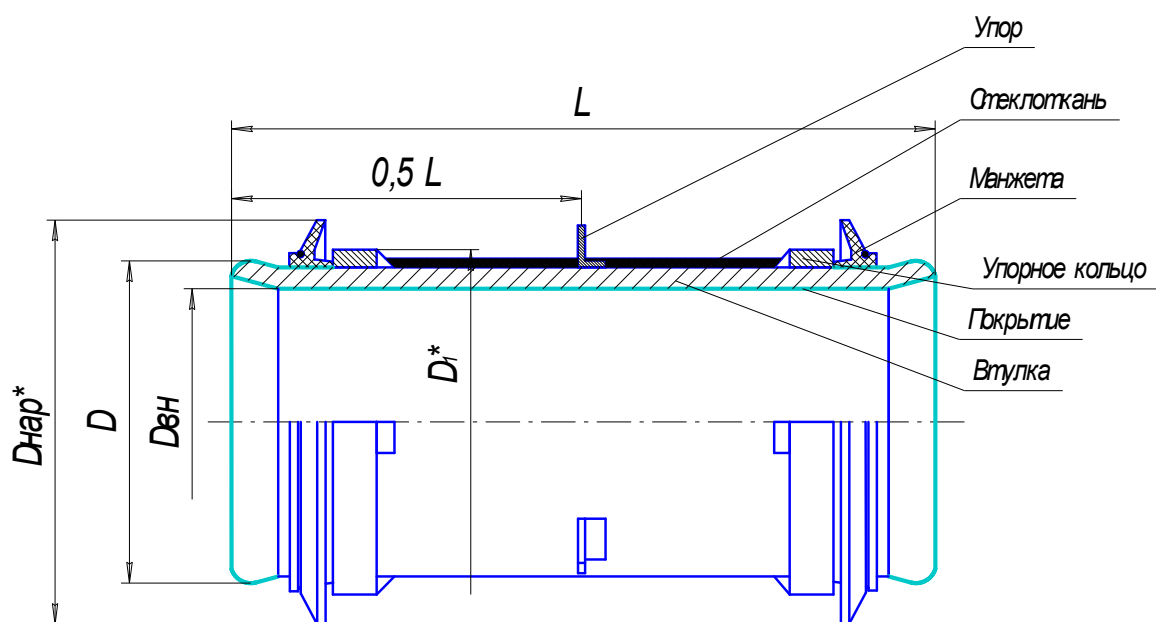


Рисунок 1.7 – Общий вид втулки для защиты внутреннего антикоррозионного покрытия

Втулка представляет собой полый цилиндр для прохождения рабочей среды. Цилиндр изготавливается из стали 20. На этом цилиндре установлены манжеты для защиты непосредственно внутреннего антикоррозионного покрытия. Для фиксации манжет применяются упорные кольца. Для правильной фиксации

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

втулки используются металлические упоры. Наружная поверхность втулки покрыта стеклотканью, а внутренняя антикоррозионным покрытием.

Порядок сборки следующий:

– внутренняя полость очищается от загрязнений, а кромки неизолированных участков, а также прилегающие к ним внутренняя и наружная поверхности труб зачищаются до металлического блеска шлифовальной машинкой на ширину не менее 10 мм;

– к торцу первой трубы устанавливается втулка. Для ее выравнивания применяются клиновые прижимы. Упор прихватывается;

– далее при помощи крана-трубоукладчика производится стыковка второй трубы с первой. При этом должен быть обеспечен требуемый зазор.

При сборке величина наружного смещения кромок не должна превышать 20 % от фактической толщины стенки трубы, но в любом случае не должна превышать значения 3 мм.

Общий вид сборки втулки с трубой показан на рисунке 1.8.

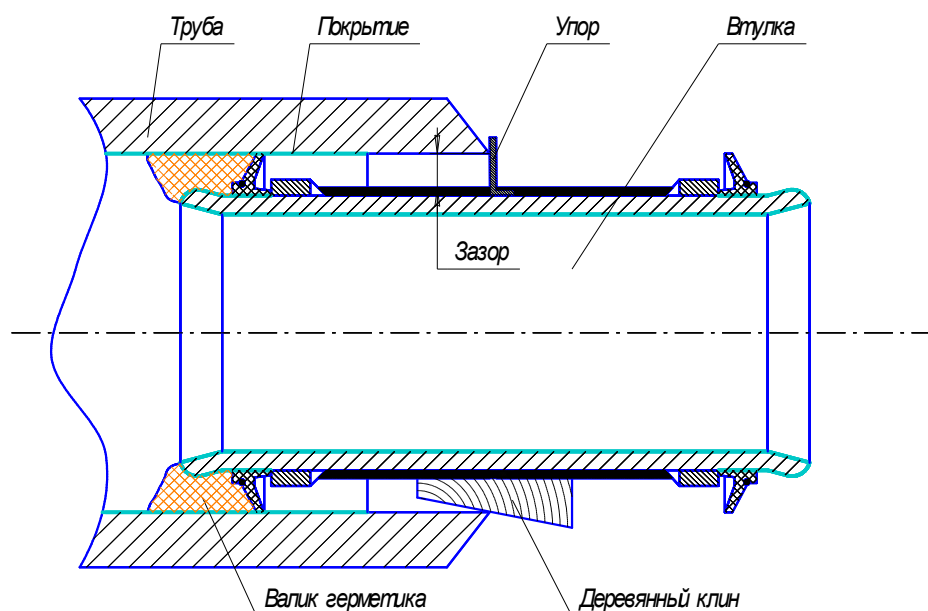


Рисунок 1.8 – Общий вид сборки втулки с трубой

В зависимости от способа сварки в стыке выставляется значение зазора. Согласно существующему варианту технологии изготовления сварка стыков труб производится ручной дуговой сваркой штучными электродами. Для сварки

корневого прохода и установки прихваток применяются электроды марки МТГ-01К диаметром 3 мм производства «Сычевского электродного завода». Химический состав металла, наплавленного электродами МТГ-01К, показан в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Химический состав металла, наплавленного электродами МТГ-01К

В процентах

С	Si	Mn	S	P
			Не более	
0,04...0,08	0,25...0,5	1,2...1,45	0,03	0,035

Механические свойства металла, наплавленного электродами МТГ-01К, показаны в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Механические свойства металла, наплавленного электродами МТГ-01К

Предел текучести $\sigma_T$ , МПа, не менее	Предел временного сопротивления $\sigma_B$ , МПа, не менее	Относительное удлинение $\delta_5$ , %, не менее	Относительное сужение $\psi$ , %, не менее
390	510	26	65

Так как значение диаметра электрода составляет 3 мм, то величина зазора в стыке выставляется 2...3 мм.

После выставления зазора производится сварка прихваток. Прихватки варятся электродами марки МТГ-01К диаметром 3 мм. Длина каждой отдельной прихватки не должна быть менее 20 мм. Количество прихваток не менее 2 шт.

Режимы сварки прихваток приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Режимы сварки прихваток

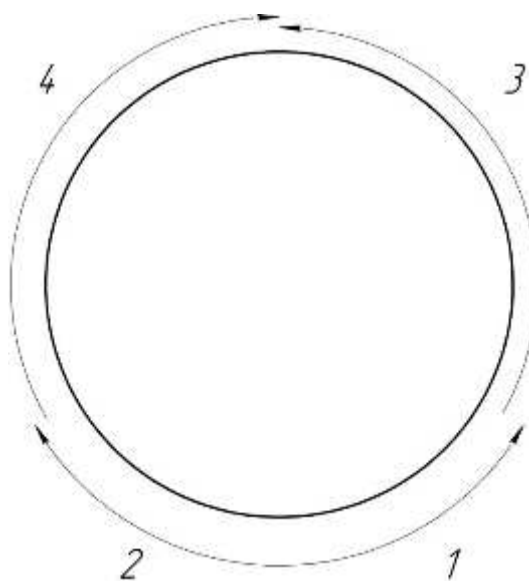
Положение в пространстве	$d_{э}$ , мм	$I_{св}$ , А
Вертикальное	3	70...90

После установки прихваток производится их осмотр на предмет отсутствия трещин, кратеров, несплавлений. При обнаружении пор, трещин прихватка удаляется и устанавливается заново. Концевые участки прихваток зачищаются шлифовальной машинкой. Участок прихватки втулки с трубами также подлежит зачистке.

По окончании осмотра производится просушка торцов труб газовой пропановой горелкой до температуры не менее 135 °С. Контроль температуры производится при помощи термометра ТП-1 на расстоянии 10-15 мм от торцов стыкуемых труб.

После просушки производится сварка первого слоя шва (корневого). Корневой слой варится электродами марки МТГ-01К диаметром 3 мм, химический состав и механические характеристики которых приведены в таблицах 1.3 и 1.4 соответственно. Корневой слой варится методом «на подъем». Ток постоянный обратной полярности.

Порядок сварки корневого слоя показан на рисунке 1.8.



1...4 – Порядок сварки

Рисунок 1.8 – Порядок сварки корневого слоя

Режимы сварки корневого слоя шва показаны в таблице 1.6.



Таблица 1.6 – Режимы сварки корневого слоя шва

Положение в пространстве	$d_{\text{э}}$ , мм	$I_{\text{св}}$ , А	$U_{\text{д}}$ , В
Нижнее	3	90...130	20...24
Вертикальное		80...120	
Потолочное		90...110	

Корневой слой проваривается не полностью, а в зените стыка должен остаться участок длиной не более 10 мм для выхода сварочных газов. После сварки провести зачистку сваренного корневого слоя от остатков шлака и прочих загрязнений шлифмашинкой. Провести осмотр сваренного слоя. При обнаружении дефектов провести их зашлифовку и заварить ремонтный участок заново.

После сварки корневого прохода производится сварка «горячего» слоя. Время между началом сварки следующего слоя и окончания сварки корневого прохода должно быть не более 5 мин. Если условие не выдерживается, то производится сопутствующий подогрев до требуемой температуры.

Сварка «горячего» слоя производится при помощи электродов марки МТГ-02 диаметром 4 мм производства «Сычевского электродного завода».

Химический состав металла, наплавленного электродами МТГ-02, показан в таблице 1.7.

Таблица 1.7 – Химический состав металла, наплавленного электродами МТГ-02

В процентах

С	Si	Mn	S	P
			Не более	
0,04...0,08	0,3...0,55	1,2...1,55	0,04	0,035

Механические свойства металла, наплавленного электродами МТГ-02, показаны в таблице 1.8.

Таблица 1.8 – Механические свойства металла, наплавленного электродами МТГ-02

Предел текучести $\sigma_T$ , МПа, не менее	Предел временного сопротивления $\sigma_B$ , МПа, не менее	Относительное удлинение $\delta_5$ , %, не менее	Относительное сужение $\psi$ , %, не менее
390	530	26	65

Порядок сварки «горячего» слоя аналогичен корневому. Параметры режима сварки «горячего» слоя показаны в таблице 1.9.

Таблица 1.9 – Режимы сварки «горячего» слоя шва

Положение в пространстве	$d_э$ , мм	$I_{св}$ , А	$U_d$ , В
Нижнее	4	140...180	22...26
Вертикальное		110...170	
Потолочное		150...180	

При сварке «горячего» слоя также в зените должен остаться неповаренный участок. Далее слой зачищается механическим способом шлифовальной машинкой и осматривается на наличие либо отсутствие дефектов.

После сварки и проверки «горячего» слоя начинается сварка заполняющих слоев. Таких в стыке 2 шт. Сварка производится методом «на подъем», как показано на рисунке 1.8. Параметры режима сварки соответствуют приведенным в таблице 1.9 для «горячего» слоя шва. Каждый заполняющий слой после сварки тщательно зачищается и проверяется.

Облицовочный слой шва варится аналогично заполняющим слоям (метод «на подъем», режимы сварки приведены в таблице 1.9).

Общий вид сварного шва показан на рисунке 1.9. Тип шва С17 согласно ГОСТ 16037-80.

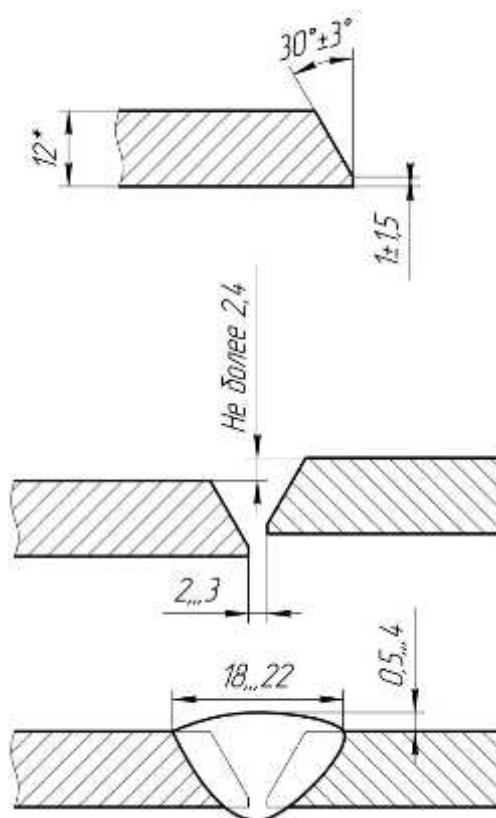


Рисунок 1.9 – Общий вид сварного шва

По окончании сварки всех слоев шва и после остывания стыка производится заварка неспроваренного участка. Для этого производится его зачистка и разделка кромок и производится сварка электродами МТГ-02 диаметром 4 мм.

После сварки стыка и его полного остывания проводится визуальный и измерительный контроль, а также ультразвуковой контроль.

Общие требования к проведению процесса сборки и сварки:

- зажигание дуги должно производиться в разделке свариваемых кромок или на поверхности ранее сваренных участков шва;

- удаление наружного центриатора допускается после выполнения не менее 60% от всего периметра корневого слоя. При этом участки корневого прохода должны равномерно располагаться по периметру стыка;

- допускается демонтировать наружный центриатор после сварки прихваток.

Поэтому они удаляются в процессе сварки корневого слоя шва;

- при сварке шва производится зачистка шлифовальной машинкой всех слоев от шлака и брызг металла;

- незаконченными сварные соединения оставлять не допускается.

При отсутствии возможности полностью завершить сварку стыка должны соблюдаться следующие требования:

- заполнение стыка не должно быть меньше 2/3 от толщины стенки;
- стык должен быть накрытым водонепроницаемым теплоизолирующим поясом, способствующим медленному и более равномерному остыванию;
- перед началом сварки производится предварительный подогрев до требуемой температуры;
- стык должен быть полностью сварен за 24 часа.

Заземление, обеспечивающее получение энергии от источника питания должно быть присоединено на различные контактные устройства, исключающие образование искр на основном металле трубы в процессе сварки. Токоподвод должен осуществляться в разделку кромок.

В качестве источника питания при сварке используется выпрямитель марки ВД-506ДК. Общий вид выпрямителя ВД-506ДК показан на рисунке 1.10.



Рисунок 1.10 – Общий вид выпрямителя ВД-506ДК

Технические характеристики выпрямителя ВД-506ДК представлены в таблице 1.10.

Таблица 1.10 – Технические характеристики выпрямителя ВД-506ДК

Характеристика	Значение
Напряжение питающей сети, В	3×380

Продолжение таблицы 1.10.

Частота питающей сети, А	50
Диапазон сварочного тока, А	60...500
Напряжение холостого хода, В	95
Потребляемая мощность, не более, кВА	36
Габариты, мм	615×400×670
Вес, кг	160

Источником энергии служит самоходный сварочный агрегат на гусеничном ходу марки TWM-180. Общий вид агрегата TWM-180 показан на рисунке 1.11.



Рисунок 1.11 – Общий вид агрегата TWM-180

#### 1.4 Несовершенство базового технологического процесса

В настоящее время в условиях импортозамещения, а также строительства новых и реконструкции старых нефтепроводов возникает необходимость в увеличении объемов строительства.

В этом случае рассмотренная выше технология проведения работ является неэффективной из-за негативного влияния следующих факторов:

– малая величина производительности при требуемом количестве свариваемых

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

нефтепроводов;

– неповоротное положение изделия при сварке, что является причиной неудобного положения при ведении процесса;

– использование ручной дуговой сварки, что увеличивает влияние человеческого фактора на получение качественного сварного соединения;

### 1.5 Цели квалификационной работы

Для снижения влияния негативных факторов на производительность и на качество сварного шва приварки катушки к магистрали возможно применение следующих мероприятий:

– замена ручной дуговой сварки штучными электродами на автоматическую орбитальную сварку;

– замена сварочных материалов и пересмотр параметров режимов сварки.

### 1.6 Описание предлагаемой технологии

В базовом варианте технологического процесса строительства промышленного нефтепровода применяется метод ручной дуговой сварки штучными электродами. Данный процесс имеет несовершенства, поэтому предлагается его заменить на автоматическую орбитальную сварку в среде защитных газов.

При сборке должны выполняться те же требования, что и при применении базового варианта технологии изготовления:

– величина зазора составляет 2...3 мм;

– относительное смещение кромок не должно превышать 2,4 мм;

– прихватки устанавливаются в количестве 2 шт длиной не менее 20 мм.

Сборка производится при помощи наружного центратора. После установки прихваток центратор снимается и на стык устанавливается сварочная головка для орбитальной сварки. Начинается процесс сварки. После сварки корневого слоя шва сварочная головка снимается и осуществляется переход к следующему стыку.

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

На стык со сваренным корневым слоем шва устанавливается вторая головка с проволокой другого диаметра и начинается процесс сварки заполняющих и облицовочного слоя шва.

По окончании сварки головка снимается и производится контроль качества.

### 1.7 Описание сварочных материалов

Для автоматической орбитальной сварки в среде защитных газов при сварке корневого слоя шва предлагается использовать сварочную проволоку марки Св-08ГСМТ диаметром 1,2 мм, поставляемую по ГОСТ 2246-70.

Химический состав проволоки Св-08ГСМТ приведен в таблице 1.11.

Таблица 1.11 – Химический состав проволоки Св-08ГСМТ

В процентах

Химический элемент	C	Si	Mn	Mo	Ni	Cr	S	P
	Не более							
Количество	0,06 – 0,11	0,4 –0,7	1 – 1,3	0,2 –0,4	0,3	0,3	0,025	0,03

Механические свойства металла, наплавленного проволокой Св-08ГСМТ, показаны в таблице 1.12.

Таблица 1.12 – Механические свойства металла, наплавленного проволокой Св-08ГСМТ

Предел текучести $\sigma_T$ , МПа, не менее	Предел временного сопротивления $\sigma_B$ , МПа, не менее	Относительное удлинение $\delta_5$ , %, не менее
448	560	24

Склонность сварного соединения к образованию горячих трещин определяется по формуле (6) из [3]

$$HCS = \frac{C \left( S + P + \frac{Si}{25} + 0,01Ni \right) 10^3}{3Mn + Cr + Mo + V}, \quad (6)$$

где С, S, P, Si, Ni, Mn, Cr, Mo, V – массовые доли химических элементов в сварочной проволоке, %.

Тогда, по формуле (6)

$$HCS = \frac{0,11 \cdot \left( 0,025 + 0,03 + \frac{0,7}{25} + 0,01 \cdot 0,3 \right) \cdot 10^3}{3 \cdot 1,3 + 0,3 + 0,4} = 2,1 \text{ ед.}$$

Так как  $2,1 < 4$ , то сварное соединение не склонно к образованию горячих трещин.

Для автоматической орбитальной сварки в среде защитных газов при сварке остальных слоев шва предлагается использовать газозащитную порошковую проволоку марки ПП-АН13 диаметром 2,4 мм, поставляемую по ГОСТ 26271-84\*.

Химический состав проволоки ПП-АН13 приведен в таблице 1.13.

Таблица 1.13 – Химический состав проволоки ПП-АН13

В процентах

Химический элемент	C	Si	Mn	S	P
Количество	0,08 – 0,12	0,15 – 0,25	1 – 1,4	0,022 – 0,024	0,024 – 0,03

Механические свойства металла, наплавленного проволокой ПП-АН13, показаны в таблице 1.14.

Таблица 1.14 – Механические свойства металла, наплавленного проволокой ПП-АН13

Предел текучести $\sigma_T$ , МПа, не менее	Предел временного сопротивления $\sigma_B$ , МПа, не менее	Относительное удлинение $\delta_5$ , %, не менее
448	560	24



Склонность сварного соединения к образованию горячих трещин определяется по формуле (6)

$$HCS = \frac{0,12 \cdot \left( 0,024 + 0,03 + \frac{0,25}{25} \right) \cdot 10^3}{3 \cdot 1,4} = 1,8 \text{ ед.}$$

Так как  $1,8 < 4$ , то сварное соединение не склонно к образованию горячих трещин.

В качестве защиты сварочной ванны будем использовать смесь газовую марки К20, в которой содержание аргона (Ar) составляет 80%, а содержание углекислоты (CO<sub>2</sub>) составляет 20%.

### 1.8 Расчет режимов сварки

Общий вид сварного шва приварки труб показан ранее на рисунке 1.9.

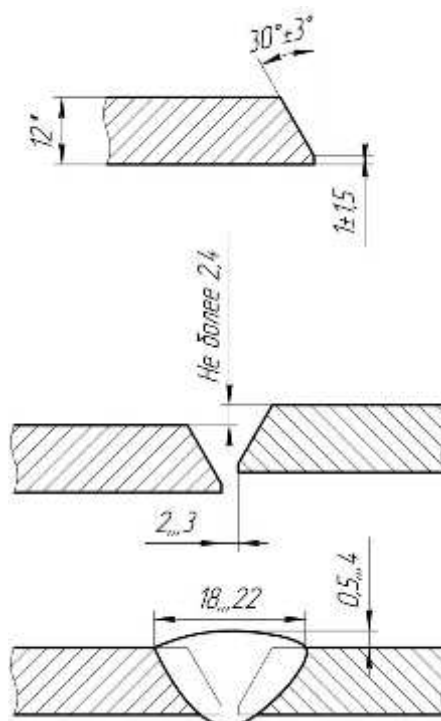


Рисунок 1.9 – Общий вид сварного шва

Сварной шов стыковой, тип С17 согласно ГОСТ 16037-80 «Соединения сварные стальных трубопроводов. Основные типы, конструктивные элементы и

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

размеры».

Требуемая площадь наплавленного металла рассчитывается по формуле (7) из [2]

$$F_H = pS + h^2 \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2} + 0,73C(2h \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + p + 6) \quad (7)$$

где  $p = 2$  – величина зазора, мм;

$S = 12$  – толщина соединяемых элементов, мм;

$h = 11$  – величина глубины разделки, мм;

$\alpha = 60$  – угол разделки, град;

$C = 2$  – требуемая высота валика усиления, мм.

Тогда, по формуле (7) получим, что

$$F_H = 2 \cdot 12 + 11^2 \cdot \operatorname{tg}^2 30^\circ + 0,73 \cdot 2 \cdot (2 \cdot 11 \cdot \operatorname{tg} 30^\circ + 2 + 6) = 125 \text{ мм}^2 = 1,25 \text{ см}^2.$$

Так как полученное значение площади наплавленного металла составляет  $1,25 \text{ см}^2$ , то сварку будем вести за три прохода:

- корневой;
- заполняющий;
- облицовочный.

### *1.8.1 Расчет параметров режима сварки корневого слоя*

Рассчитаем параметры режима сварки корневого слоя шва. Примем, что вылет электродной проволоки составляет 12 мм. Ток постоянный прямой полярности.

Согласно положениям [2] оптимальное значение площади металла для корневого (первого) слоя должно составлять  $0,3 \dots 0,35 \text{ см}^2$ .

Сила сварочного тока зависит от диаметра проволоки и плотности сварочного тока. Примем, что значение сварочного тока составляет 220 А.

Определим плотность сварочного тока по формуле (8) из [2]

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$j = \frac{4I_{CB}}{\pi d_{\Theta}^2} = \frac{4 \cdot 220}{3,14 \cdot 1,2^2} = 195 \frac{A}{mm^2}. \quad (8)$$

При диаметре электродной проволоки 1,2 мм и плотность сварочного тока находится в интервале 60...270 А/мм<sup>2</sup> [2]. Полученное значение входит в указанный интервал.

Рассчитаем напряжение на дуге по формуле (9) из [2]

$$U_{Д} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{d_{\Theta}}} I_{CB} \pm 1, \text{ В}, \quad (9)$$

где  $d_{\Theta} = 1,2$  – диаметр сварочной проволоки, мм;

$I_{CB} = 220$  – значение силы сварочного тока, А.

Тогда, по формуле (9) получим, что

$$U_{Д} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{1,2}} \cdot 220 \pm 1 \approx 30 \pm 1 \text{ В}.$$

Рассчитаем скорость подачи электродной проволоки  $V_{ПОД}$  по формуле (10) из [3]

$$V_{ПОД} = \frac{\alpha_p I_{CB}}{3600 F_{ЭЛ} \gamma} \frac{см}{с}, \quad (10)$$

где  $\alpha_p$  – коэффициент расплавления, г/Ач;

$F_{ЭЛ} = 0,011$  – площадь сечения электродной проволоки, см<sup>2</sup>;

$\gamma = 7,85$  – плотность металла, г/см<sup>3</sup>.

Определим коэффициент расплавления по формуле (11) из [2]

$$\alpha_p = \alpha_p' + \Delta \alpha_p, \quad (11)$$

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где  $\alpha'_p$  – составляющая, обусловленная тепловложением дуги, г/Ач;

$\Delta\alpha_p$  – составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током, г/Ач.

Составляющая, обусловленная тепловложением дуги  $\alpha'_p$  при постоянном токе прямой полярности определяется по формуле (12) из [2]

$$\alpha'_p = 6,3 + \frac{0,0702 I_{CB}}{d_{\text{Э}}^{1,035}} = 6,3 + \frac{0,0702 \cdot 220}{1,2^{1,035}} = 19,1 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}. \quad (12)$$

Составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током  $\Delta\alpha_p$  определяется по формуле (13) из [2]

$$\Delta\alpha_p = \frac{3600 Q_{\text{ПП}}}{q_{\text{Э}} I_{CB}}, \quad (13)$$

где  $Q_{\text{ПП}}$  – количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током, кал;

$q_{\text{Э}} = 325$  – количество теплоты, необходимое для расплавления 1 г электродной проволоки, кал/г.

Рассчитаем значение  $Q_{\text{ПП}}$  по формуле (14) из [2]

$$Q_{\text{ПП}} = 0,1884 j^2 \rho_0 d_{\text{Э}}^2 \left( \frac{V_{\text{Э}}}{\alpha \alpha \beta} (e^{-p_2 l} - 1) - \frac{\alpha (T_{\text{ПЛ}} - T_0)}{p_1} \right), \quad (14)$$

где  $j = 19500$  – плотность тока в электроде, А/см<sup>2</sup>;

$\rho_0 = 0,000014$  – удельное электрическое сопротивление электродной проволоки при нуле градусов, Ом/см;

$d_{\text{Э}} = 0,12$  – диаметр электродной проволоки, см;

$V_{\text{Э}}$  – условная скорость подачи электрода, см/с;

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

$a = 0,08$  – коэффициент температуропроводности,  $\text{см}^2/\text{с}$ ;

$\alpha = 0,0083$  – коэффициент изменения электрического сопротивления с изменением температуры,  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ;

$\beta$  – коэффициент, ед;

$l = 1,2$  – вылет электродной проволоки, см;

$T_{\text{пл}} = 1500$  – температура плавления проволоки,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$T_0 = 20$  – начальная температура проволоки,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\rho_1$  и  $\rho_2$  – коэффициенты, ед.

Определим коэффициент  $\beta$  по формуле (15) из [2]

$$\beta = \frac{0,24j^2 \rho_0}{a\gamma} = \frac{0,24 \cdot 19500^2 \cdot 0,000014}{0,08 \cdot 1,25} = 12776 \text{ ед.} \quad (15)$$

где  $\gamma = 1,25$  – объемная теплоемкость,  $\text{кал}/\text{см}^3$ .

Определим условную скорость подачи проволоки по формуле (16) из [2]

$$V_{\text{Э}} = \frac{4\alpha_p I_{\text{СВ}}}{3600\pi\gamma d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 19,1 \cdot 220}{3600 \cdot 3,14 \cdot 7,85 \cdot 0,12^2} = 13,2 \text{ см/с.} \quad (16)$$

Определим коэффициенты  $\rho_1$  и  $\rho_2$  исходя из условия (17) из [2]

$$\begin{cases} \rho_1 = -\frac{V_{\text{Э}}}{2a} - \sqrt{\frac{V_{\text{Э}}^2}{4a^2} - \alpha\beta} = -\frac{13,2}{2 \cdot 0,08} - \sqrt{\frac{13,2^2}{4 \cdot 0,08^2} - 0,0083 \cdot 12776} = -164,4 \text{ ед;} \\ \rho_2 = -\frac{V_{\text{Э}}}{2a} + \sqrt{\frac{V_{\text{Э}}^2}{4a^2} - \alpha\beta} = -\frac{13,2}{2 \cdot 0,08} + \sqrt{\frac{13,2^2}{4 \cdot 0,08^2} - 0,0083 \cdot 12776} = -0,65 \text{ ед.} \end{cases} \quad (17)$$

Тогда, по формуле (14) получим, что

$$Q_{III} = 0,1884 \cdot 19500^2 \cdot 0,000014 \cdot 0,12^2 \cdot \left( \frac{13,2}{0,08 \cdot 0,0083 \cdot 12776} (e^{-0,65 \cdot 1,2} - 1) - \frac{0,0083 \cdot (1500 - 20)}{-164,4} \right) = 27,6 \text{ кал.}$$

Следовательно, по формуле (13)

$$\Delta\alpha_p = \frac{3600 \cdot 27,6}{325 \cdot 220} = 1,4 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

Тогда, по формуле (11) коэффициент расплавления

$$\alpha_p = 19,1 + 1,4 = 20,5 \text{ г/Ач.}$$

Следовательно, по формуле (10)

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{20,5 \cdot 220}{3600 \cdot 0,011 \cdot 7,85} = 14,5 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

Скорость сварки определяется по формуле (18) из [2]

$$V_{\text{СВ}} = \frac{V_{\text{ПОД}}}{F_{\text{Н}}} \cdot F_{\text{ЭЛ}}, \frac{\text{см}}{\text{с}}, \quad (18)$$

где  $V_{\text{ПОД}} = 14,5$  – скорость подачи проволоки, см/с;

$F_{\text{Н}} = 0,35$  – площадь поперечного сечения наплавленного металла, см<sup>2</sup>;

$F_{\text{ЭЛ}} = 0,011$  – площадь сечения электродной проволоки, см<sup>2</sup>.

Тогда, по формуле (18) получим, что

$$V_{\text{СВ}} = \frac{14,5}{0,35} \cdot 0,011 = 0,46 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

Определим погонную энергию по формуле (19) из [2]

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 U_{\text{Д}} I_{\text{СВ}} \eta}{V_{\text{СВ}}}, \frac{\text{кал}}{\text{см}}, \quad (19)$$

где  $\eta=0,85$  – эффективный КПД нагрева изделия дугой.

Тогда, по формуле (19) получим, что

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 \cdot 30 \cdot 220 \cdot 0,85}{0,46} = 2927 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Скорость охлаждения для многопроходной сварки кольцевых швов для первого слоя определяется по формуле (20) из [2]

$$\omega = \bar{\omega} 2\pi\lambda \frac{(T_{\text{М}} - T_0)^2}{k_1 q_{\text{ПОГ}}}, \frac{^{\circ}\text{С}}{\text{с}}, \quad (20)$$

где  $k_1$  – коэффициент приведения при сварке многопроходных соединений, ед;

$\bar{\omega}$  – безразмерный критерий процесса, ед;

$\lambda = 0,1$  – коэффициент теплопроводности, кал/см с  $^{\circ}\text{С}$ ;

$T_{\text{М}} = 500$  – температура наименьшей устойчивости аустенита,  $^{\circ}\text{С}$ ;

$T_0 = 135$  – начальная температура изделия,  $^{\circ}\text{С}$ .

Безразмерный критерий процесса  $\bar{\omega}$  зависит от другого безразмерного критерия, который определяется по формуле (21) из [2]

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta^2 k_2) c \gamma (T_{\text{М}} - T_0)}, \quad (21)$$

где  $c \gamma = 1,25$  – объемная теплоемкость, кал/см<sup>3</sup> $^{\circ}\text{С}$ ;

$k_2$  – коэффициент приведения при сварке многопроходных соединений, ед.

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

Для стыковой сварки с разделкой кромок значения коэффициентов приведения определяются из условия (22) из [2]

$$k_1=k_2=\frac{180^\circ}{180^\circ-\alpha}, \quad (22)$$

где  $\alpha = 60$  – угол разделки в зоне корневого слоя, град.

Тогда, по формуле (22) получим, что

$$k_1=k_2=\frac{180^\circ}{180^\circ-60^\circ}=1,5.$$

Следовательно, по формуле (21) получим, что

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 2927}{3,14 \cdot (1,2 \cdot 1,5)^2 \cdot 1,25 \cdot (500-135)} = 1,9.$$

При значении безразмерного критерия 1,9 получим, что  $\bar{\omega}=0,35$  [2].

Тогда, по формуле (20) получим, что

$$\omega = 0,35 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500-135)^2}{1,5 \cdot 2927} = 6,7 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

Для стали 10Г2 интервал мгновенных скоростей охлаждения составляет 0,1...7 °С/с. Таким образом, при температуре предварительного подогрева 135 °С и при рассчитанных параметрах режима сварки обеспечивается требуемая скорость охлаждения при сварке корневого прохода.

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36



### 1.8.2 Расчет параметров режима сварки заполняющего слоя

Произведем расчет параметров процесса сварки заполняющего слоя шва. Сварочный ток постоянный прямой полярности. Диаметр электродной проволоки равен  $d_{\text{Э}} = 2,4$  мм. Примем, что вылет электродной проволоки 25 мм, площадь сечения электродной проволоки  $F_{\text{ЭЛ}} = 0,045$  см<sup>2</sup>, площадь поперечного сечения наплавленного металла  $F_{\text{Н}}^3 = 0,6$  см<sup>2</sup>.

Примем, что значение сварочного тока составляет 450 А. Определим плотность сварочного тока по формуле (8)

$$j = \frac{4I_{\text{СВ}}}{\pi d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 450}{3,14 \cdot 2,4^2} = 99,5 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

При диаметре электродной проволоки 2,4 мм плотность сварочного тока находится в интервале 65...210 А/мм<sup>2</sup> [2]. Полученное значение входит в указанный интервал.

Определим напряжение на дуге согласно формуле (9)

$$U_{\text{Д}} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{2,4}} \cdot 450 \pm 1 \approx 35 \pm 1 \text{ В}.$$

Рассчитаем скорость сварки при выбранных параметрах режима по формуле (18) с учетом формул (10)...(17). Тогда получим, что:

- составляющая, обусловленная тепловложением дуги  $\alpha'_{\text{Р}} = 19,1$  г/Ач;
- условная скорость подачи проволоки  $V_{\text{Э}} = 6,7$  см/с;
- коэффициент  $\beta = 3327$  ед;
- коэффициент  $p_1 = -83,4$  ед,  $p_2 = -0,33$  ед;
- количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током  $Q_{\text{ПП}} = 60,7$  кал;
- составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

нагрева вылета электрода протекающим током  $\Delta\alpha_p = 1,5$  г/Ач;

- коэффициент расплавления  $\alpha_p = 20,6$  г/Ач;
- скорость подачи проволоки  $V_{\text{ПОД}} = 7,3$  см/с;
- расчетная скорость сварки  $V_{\text{СВ}} = 0,55$  см/с.

Далее по формуле (19) определяем погонную энергию

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 \cdot 35 \cdot 450 \cdot 0,85}{0,55} = 5842 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Определим коэффициент, зависящий от рода и полярности тока по формуле (23) из [2]

$$k' = \frac{2,82}{j^{0,1925}} = \frac{2,82}{99,5^{0,1925}} = 1,2. \quad (23)$$

Определим коэффициент формы провара по формуле (24) из [2]

$$\Psi_{\text{ПР}} = \frac{k'(19 - 0,01I_{\text{СВ}})d_{\text{Э}}U_{\text{Д}}}{I_{\text{СВ}}}, \quad (24)$$

где  $k' = 1,2$  – коэффициент, зависящий от плотности и полярности тока, ед.

Тогда, по формуле (23) получим, что

$$\Psi_{\text{ПР}} = \frac{1,2 \cdot (19 - 0,01 \cdot 450) \cdot 2,4 \cdot 35}{450} = 3,3 \text{ ед.}$$

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
						38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

### 1.8.3 Расчет параметров режима сварки облицовочного слоя

Произведем расчет параметров процесса сварки облицовочного прохода. Сварочный ток постоянный прямой полярности. Диаметр электродной проволоки равен  $d_{\text{Э}} = 2,4$  мм. Примем, что вылет электродной проволоки 25 мм, площадь сечения электродной проволоки  $F_{\text{ЭЛ}} = 0,045$  см<sup>2</sup>, площадь поперечного сечения наплавленного металла (площадь валика)  $F_{\text{Н}}^0 = 0,3$  см<sup>2</sup>.

Примем, что значение сварочного тока составляет 450 А. Определим плотность сварочного тока по формуле (8)

$$j = \frac{4I_{\text{СВ}}}{\pi d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 450}{3,14 \cdot 2,4^2} = 99,5 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

При диаметре электродной проволоки 4 мм плотность сварочного тока находится в интервале 65...210 А/мм<sup>2</sup> [2]. Полученное значение входит в указанный интервал.

Определим напряжение на дуге согласно формуле (9)

$$U_{\text{Д}} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{2,4}} \cdot 450 \pm 1 = 35 \pm 1 \text{ В}.$$

Рассчитаем скорость сварки при выбранных параметрах режима по формуле (18) с учетом формул (10)...(17). Тогда получим, что:

- составляющая, обусловленная тепловложением дуги  $\alpha'_{\text{р}} = 19,1$  г/Ач;
- условная скорость подачи проволоки  $V_{\text{Э}} = 6,7$  см/с;
- коэффициент  $\beta = 3327$  ед;
- коэффициент  $p_1 = -83,4$  ед,  $p_2 = -0,33$  ед;
- количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током  $Q_{\text{ПП}} = 60,7$  кал;
- составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

нагрева вылета электрода протекающим током  $\Delta\alpha_p = 1,5$  г/Ач;

- коэффициент расплавления  $\alpha_p = 20,6$  г/Ач;
- скорость подачи проволоки  $V_{\text{ПОД}} = 7,3$  см/с;
- скорость сварки  $V_{\text{СВ}} = 1,1$  см/с.

Далее по формуле (19) определяем погонную энергию

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 \cdot 35 \cdot 450 \cdot 0,85}{1,1} = 2921 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Определим коэффициент, зависящий от рода и полярности тока по формуле (23)

$$k' = \frac{2,82}{j^{0,1925}} = \frac{2,82}{99,5^{0,1925}} = 1,2.$$

Для облицовочного прохода определяем глубину провара по формуле (25) из [2]

$$h = 0,0165 \sqrt{\frac{q_{\text{П}}}{\psi_{\text{ПР}}}}, \quad (25)$$

где  $q_{\text{П}}$  – величина погонной энергии, кал/см;

$\psi_{\text{ПР}}$  – коэффициент формы провара, ед.

По формуле (24) определяем значение коэффициента формы провара

$$\psi_{\text{В}} = \frac{1,2 \cdot (19 - 0,01 \cdot 450) \cdot 2,4 \cdot 35}{450} = 3,3 \text{ ед.}$$

Тогда, по формуле (25) глубина провара

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

$$h=0,0165 \cdot \sqrt{\frac{2921}{3,3}}=0,5 \text{ см.}$$

Определим ширину усиления сварного шва по формуле (26) из [2]

$$B=\psi_{\text{ПР}}h=3,3 \cdot 0,5=1,5 \text{ см.} \quad (26)$$

Определим высоту усиления сварного шва по формуле (27) из [2]

$$C=\frac{F_{\text{Н}}}{0,73B}=\frac{0,3}{0,73 \cdot 1,5}=0,27 \text{ см.} \quad (27)$$

Полученное значение ширины валика выходит из требуемого интервала 18...22 мм. Следовательно, требуется изменить параметры режима сварки. Примем, что напряжение на дуге составляет 38 В, а скорость сварки составляет 0,8 см/с. Тогда:

- $q_{\text{П}} = 4361 \text{ кал/см;}$
- $\psi_{\text{В}} = 3,53 \text{ ед;}$
- $h = 0,58 \text{ см;}$
- $B = 2,05 \text{ см;}$
- $C = 0,2 \text{ см.}$

Полученные значения геометрических параметров шва удовлетворяют требованиям.

Скорость охлаждения для многопроходной сварки кольцевых швов для облицовочного прохода определяется по формуле (28) из [2]

$$\omega=\bar{\omega}2\pi\lambda\frac{(T_{\text{М}}-T_0)^2}{q_{\text{ПОГ}}}, \frac{\text{°С}}{\text{с}}, \quad (28)$$

При этом первый безразмерный критерий процесса  $\bar{\omega}$  зависит от другого

										Лист
										41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2017.971.00 ПЗ					

безразмерного критерия, определяемого по формуле (29) из [2]

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2q_{\text{ПОГ}}}{\pi\delta^2 c\gamma(T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 4361}{3,14 \cdot 1,2^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 135)} = 4,2. \quad (29)$$

При значении безразмерного критерия 4,2 другой безразмерный критерий определяется по формуле (30) из [2]

$$\bar{\omega} = \frac{2}{\pi \cdot 1/\theta} = \frac{2}{3,14 \cdot 4,2} = 0,152. \quad (30)$$

Тогда, по формуле (28) получим, что

$$\omega = 0,152 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500 - 135)^2}{4361} = 2,9 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

Для стали 10Г2 интервал мгновенных скоростей охлаждения составляет 0,1...7 °С/с. Таким образом, при температуре предварительного подогрева 135 °С и при рассчитанных параметрах режима сварки обеспечивается требуемая скорость охлаждения при сварке облицовочного слоя.

### 1.9 Выбор оборудования для сварки

В предлагаемом варианте технологии производства работ на монтажной площадке применяется автоматическая орбитальная сварка в среде защитных газов.

Наиболее подходящей головкой при орбитальной сварке труб диаметром 219 мм с толщиной стенки 12 мм является сварочная головка марки OrbiWeld TP 1000. Общий вид сварочной головки OrbiWeld TP 1000 показан на рисунке 1.10.

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42



Рисунок 1.10 – Общий вид сварочной головки OrbiWeld TP 1000

Выбранная сварочная головка является головкой открытого типа. Технические характеристики сварочной головки OrbiWeld TP 1000 приведены в таблице 1.15.

Таблица 1.15 – Технические характеристики сварочной головки OrbiWeld TP 1000

Характеристика	Значение
Габаритные размеры головки, мм	430×453×160
Масса головки, кг	16,9
Диапазон диаметров свариваемых труб, мм	12...220
Диапазон толщин стенки трубы, мм	4...16
Скорость перемещения каретки, см/мин	7,6...154
Скорость колебаний горелки, мм/с	10,2...111,8
Диаметр сварочной проволоки, мм	0,8...2,6
Время задержки на кромках, с	0...1
Диапазон рабочих температур, °С	-40...+70
Допустимая сила тока, А, при ПВ=100%	500

В качестве источника питания при автоматической орбитальной сварке в среде защитных газов будем использовать Aristo 1000 AC/DC. Общий вид источника питания Aristo 1000 AC/DC показан на рисунке 1.11.



Рисунок 1.11 – Общий вид источника питания Aristo 1000 AC/DC

Технические характеристики источника питания Aristo 1000 AC/DC представлены в таблице 1.16.

Таблица 1.16 – Технические характеристики источника питания Aristo 1000 AC/DC

Характеристика	Значение
Напряжение питающей сети, В, при 50/60 Гц	380...575
Максимальное значение силы сварочного тока, А, при ПВ 100 %	1000
Напряжение холостого хода, В	130
КПД при полной загрузке, ед	0,88
Габаритные размеры, мм	865×610×1320
Масса, кг	330

Управление параметрами процесса при сварке осуществляется при помощи

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44



контроллера Esab PEK, показанного на рисунке 1.12.



Рисунок 1.12 – Общий вид контроллера Esab PEK

Вывод по разделу 1:

В разделе 1 была проведен анализ технологии производства работ в условиях монтажной площадки промышленного нефтепровода. Произведен анализ конструкции, описан применяемый материал. Подробно описана применяемая технология изготовления, в которой выявлены несовершенства. Для их устранения была предложена и описана технология автоматической орбитальной сварки в среде защитных газов. Для нее рассчитаны параметры режима сварки и выбрано оборудование.

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

## 2 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ

При сборке и при сварке применяется втулка, защищающая внутреннее покрытие труб от повреждений. Общий вид втулки показан на рисунке 2.1.

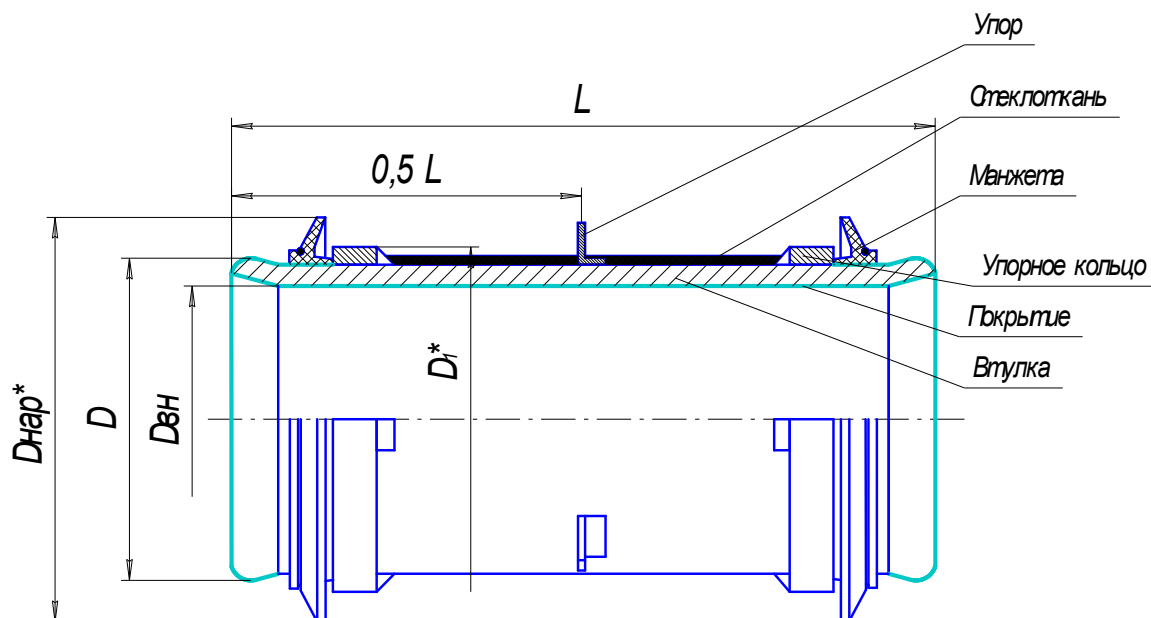


Рисунок 2.1 – Общий вид втулки для защиты внутреннего антикоррозионного покрытия

Втулка представляет собой полый цилиндр для прохождения рабочей среды. Цилиндр изготавливается из стали 20. На этом цилиндре установлены манжеты для защиты непосредственно внутреннего антикоррозионного покрытия. Для фиксации манжет применяются упорные кольца. Для правильной фиксации втулки используются металлические упоры. Наружная поверхность втулки покрыта стеклотканью, а внутренняя антикоррозионным покрытием.

Геометрические размеры втулки сведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Геометрические размеры втулки

Характеристика	Значение
D, мм	179,5...181,5
D <sub>1</sub> , мм	187*
L, мм	240
D <sub>НАР</sub> , мм	202...205

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

15.03.01.2017.971.00 ПЗ

Лист

46

Продолжение таблицы 2.1.

Д <sub>вн</sub> , мм	169
Масса втулки, кг	4,85

Выводы по разделу 2:

В разделе 2 рассмотрена втулка, предназначенная для защиты внутреннего антикоррозионного покрытия от воздействия сварки.

### 3 КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА

Технологический процесс строительства промышленного нефтепровода состоит из следующих операций:

- входной контроль труб;
- входной контроль сварочных материалов;
- контроль сборки;
- контроль режимов сварки;
- контроль сварного шва.

При входном контроле труб производится проверка, в первую очередь, паспортов и сертификатов. В них проверяется следующее:

- завод-изготовитель трубы;
- типоразмер поставляемой трубы;
- номер поставляемой трубы;
- номер плавки основного металла;
- сведения о химическом составе;
- сведения о механических свойствах, в том числе ударной вязкости;
- отметка ОТК о приемке.

После проверки сертификатных данных производится контроль геометрических параметров труб, а также визуальный осмотр наружной и внутренней поверхностей на наличие дефектов металла, выводящих толщину стенки за пределы допуска. При обнаружении дефектов на поверхности

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

производится их замер глубиномером с индикатором часового типа. При размере дефекта более допускаемого составляется акт и на завод-изготовитель трубы готовится претензия. До тех пор труба остается непринятой в изоляторе брака.

При контроле геометрических параметров труб проверяются:

- длина трубы;
- толщина стенки;
- овальность;
- геометрические параметры фаски;
- общая кривизна.

Контроль геометрических параметров производится при помощи рулетки, линейки, штангенциркуля.

При обнаружении несоответствий хотя бы по одному параметру, также готовится претензия.

Входной контроль сварочных материалов производится по сертификатным данным. Здесь производится сверка соответствия партии и плавки проволоки по сертификату и по факту. Также при поступлении новой партии либо новых сварочных материалов производится сварка контрольных образцов и на них проводятся металлографические исследования, исследования механических свойств, а также технологические свойства. Также при помощи штангенциркуля производится контроль диаметра проволоки.

При сборке производится контроль геометрических параметров стыка, таких как зазор и относительное смещение свариваемых кромок. Зазор проверяется при помощи набора щупов №4 либо универсального шаблона сварщика №3 (УШС-3). Смещение кромок проверяется при помощи УШС-3 либо угольника поверочного с набором щупов №4.

При контроле режимов сварки проверяется их соответствие расчетным.

При контроле сварного шва проверяются:

- ширина валика;
- высота валика.

Контроль производится шаблонами либо УШС-3.

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

При визуальном осмотре в сварном шве должны отсутствовать следующие дефекты:

- поры, выходящие на поверхность;
- трещины всех видов и направлений;
- подрезы глубиной более 0,5 мм;
- наплывы;
- неполное заполнение разделки.

После визуального и измерительного контроля производится ультразвуковой контроль сварного шва. Он производится при помощи ультразвукового дефектоскопа марки Olympus Epoch 650. Общий вид дефектоскопа показан на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Общий вид дефектоскопа Olympus Epoch 650

Технические характеристики дефектоскопа Olympus Epoch 650 представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Технические характеристики дефектоскопа Olympus Epoch 650

Характеристика	Значение
Развертка, мкс:	
– минимальная	0...2,67
– максимальная	0...1000
Шаг развертки, мкс	0,01 / 0,1/ 1/ 10/ 100

Продолжение таблицы 3.1.

Задержка, мкс	-4...1000
Шаг задержки, мкс	0,01 / 0,1/ 1/ 10/ 100
Максимальная длина контролируемого материала, мм	6000
Диапазон скоростей распространения ультразвуковых колебаний, м/с	1000...9999
Задержка в призме преобразователя, мкс	0..100
Шаг задержки в призме преобразователя, мкс	0,01 / 0,1/ 1 и 10
Демпфирование, Ом	25/ 50/ 1000
Входной импеданс, Ом	50/600
Усилитель, МГц	0,4...20
Диапазон регулировки усиления, дБ	100
Временная регулировка чувствительности (ВРЧ), дБ	0...70
Напряжение питания, В	3,5
Диапазон рабочих температур, °С	-30...+55
Габаритные размеры, мм	236×167×70
Масса, кг	1,6

По результатам ультразвукового контроля в сварном шве должны отсутствовать следующие дефекты:

- поры диаметром более 1,6 мм;
- трещины;
- непровары;
- несплавления;
- цепочки пор длиной более 50 мм с расстоянием между крайними порами менее трех диаметров наибольшей из них.

Для радиографического метода контроля качества будем использовать рентгеновский аппарат АРИНА-3. Он предназначен для радиографического

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

контроля качества сварных соединений магистральных газо– и нефтепроводов.

Аппарат АРИНА-3 показан на рисунке 3.2.



Рисунок 3.2 – Аппарат АРИНА-3

Технические характеристики аппарата АРИНА-3 приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Технические характеристики аппарата АРИНА-3

Характеристика	Значение
Экспозиционная доза рентгеновского излучения на расстоянии $500 \pm 20$ мм от торца рентгеновского блока в прямом пучке за 1,5 мин, не менее, мкКал/кг	206
Толщина стали, доступная для рентгенографирования с помощью рентгеновских пленок с флуоресцентными усиливающими экранами, мм	40
Толщина стали, доступная для рентгенографирования с помощью высоконтрастных рентгеновских пленок, мм	20
Напряжение питания, В	$220 \pm 22$

По результатам радиографического контроля в сварном шве должны отсутствовать следующие дефекты:

- поры диаметром более 1,6 мм;
- трещины;
- непровары;
- несплавления;
- цепочки пор длиной более 50 мм с расстоянием между крайними порами

менее трех диаметров наибольшей из них.

Выводы по разделу 3:

В разделе 3 рассмотрены методы контроля качества, применяемое оборудование, а также классификация недопустимых дефектов.

#### 4 ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ

##### 4.1 Расчет фондов рабочего времени

Для определения производительности при сварке промышленного нефтепровода требуется определить номинальный фонд рабочего времени. Номинальный фонд рабочего времени определяется по календарной продолжительности сезона проведения работ и, в рассматриваемом случае, не зависит от количества выходных, праздничных и предпраздничных дней, так как строительство нефтепровода ведется в непрерывном режиме круглосуточно вахтовым методом. Тогда номинальный фонд рабочего времени определяется по формуле (31) из [3]

$$F_H = \frac{D_{\Gamma} t_H}{D_H}, \quad (31)$$

где  $D_{\Gamma} = 182$  – количество рабочих дней в сезоне, шт;

$D_H = 7$  – количество рабочих дней недели, шт;

$t_H = 168$  – продолжительность рабочей недели, ч.

Тогда, по формуле (31) получим, что

$$F_H = \frac{182 \cdot 168}{7} = 4368 \text{ ч.}$$

Фонд времени работы оборудования действительный зависит от номинального фонда времени, учитывающего сменность работы оборудования и потери времени, связанные с его ремонтом и определяется по формуле (32) из [3]

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52



$$F_{Д} = F_{Н} \left( 1 - \frac{P}{100} \right), \quad (32)$$

где  $F_{Н} = 4368$  – номинальный годовой фонд рабочего времени, ч;

$P = 3,8$  – процент, учитывающий потери времени на ремонт оборудования, %.

Тогда, по формуле (32) получим, что годовой фонд времени работы оборудования фактический

$$F_{Д} = 4368 \left( 1 - \frac{3,8}{100} \right) = 4202 \text{ ч.}$$

Определим номинальный фонд рабочего времени одной бригады при работе в одну смену по формуле (33) из [3]

$$F_{Н.БР.} = \frac{F_{Н}}{n}, \quad (33)$$

где  $F_{Н} = 4368$  – номинальный годовой фонд рабочего времени, ч;

$n = 8$  – количество бригад, занятых на объекте, шт.

Тогда, по формуле (33) получим, что

$$F_{Н.БР.} = \frac{4368}{8} = 546 \text{ ч.}$$

Эффективный фонд времени для одной бригады при работе в одну смену определяется вычитанием из номинального фонда планируемых дневных и внутрисменных фондов времени. К таким потерям времени относятся [3]:

- основной и дополнительный отпуск всех видов;
- болезни;
- выполнение государственных обязанностей;
- сокращение рабочего дня в соответствии с действующим законодательством.

Расчет эффективного фонда времени работы одного рабочего производится по формуле (34) из [3]:

$$F_{\text{ДР}} = F_{\text{Н.БР.}} \cdot [1 - 0,01 (P_{\text{Н}} + P_{\text{О}} + P_{\text{ОТП}} + P_{\text{Р}})], \quad (34)$$

где  $F_{\text{Н.БР.}} = 546$  – номинальный фонд рабочего времени одной бригады, ч;

$P_{\text{Н}} = 4$  – планируемый процент невыхода на работу, %;

$P_{\text{О}} = 6$  – процент перерывов на отдых, %;

$P_{\text{ОТП}}$  – процент невыхода на работу в связи с отпуском, %;

$P_{\text{Р}} = 3$  – процент потерь времени, связанных с ремонтом оборудования в рабочее время, %.

Тогда, по формуле (34), эффективный фонд времени работы одного рабочего

$$F_{\text{ДР}} = 546 \cdot [1 - 0,01 \cdot (4 + 6 + 3)] = 475 \text{ ч.}$$

#### 4.2 Расчет норм штучного времени

Время на операцию обработки фасок, осмотр, зачистку прикромочной зоны и исправление обнаруженных визуально дефектов составляет 15 мин.

При расчете норм времени для автоматической сварки примем серийный тип производства. Сварка производится сварочной орбитальной головкой. Установка и поворот изделий относительно оси при подготовке под сварку производится с участием электросварщика. Настройку автоматического оборудования производит электросварщик [3].

Для дальнейших расчетов по нормированию требуется рассчитать подготовительно-заключительное время. Оно представляет собой сумму следующих элементов при подготовительно-заключительной работе:

1. Получение производственного задания – 5 мин;
2. Ознакомление с работой – 3 мин;
3. Подъем трубы трубоукладчиком – 1 мин;

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

4. Установка трубы в монтажное положение – 3 мин;
5. Установка наружного центриатора – 1 мин;
6. Выставление требуемой геометрии стыка – 3 мин;
7. Установка сварочной головки – 2 мин;
8. Установка укрывного тента – 2 мин;
9. Настройка сварочной головки – 1,9 мин, из которых:
  - выставление положения сварочной проволоки относительно стыка – 1 мин;
  - установка величины сварочного тока – 0,2 мин;
  - установка скорости сварки – 0,2 мин;
  - установка скорости подачи проволоки – 0,2 мин;
  - установка оптимального расхода газа – 0,3 мин;
10. Демонтаж сварочной головки – 0,5 мин;

Таким образом, подготовительно-заключительное время на сварку определяется по формуле (35) из [3]

$$T_{ПЗ} = \sum t_{оп.пз}, \quad (35)$$

где  $t_{оп.пз}$  – сумма времени на операциях при подготовке и завершении работ, мин.

Тогда, по формуле (35)

$$T_{ПЗ} = 5 + 3 + 1 + 3 + 1 + 3 + 2 + 2 + 1,9 + 0,5 = 22,4 \text{ мин.}$$

Процесс проведения подготовительно-заключительных работ является важным этапом при повышении производительности для строительства нефтепроводов и других типов трубопроводов.

Произведем расчет основного времени, необходимого для сварки одного стыка по формуле (36) из [3]

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

$$T_{\text{ОСН}}=60 \cdot \frac{L}{V_{\text{СВ}}}, \quad (36)$$

где  $L = 0,688$  – длина шва, м;

$V_{\text{СВ}}$  – скорость сварки, м/ч.

Определим основное время сварки для корневого слоя шва при скорости  $0,46$  см/с =  $16,56$  м/ч согласно формуле (36)

$$T_{\text{ОСН}}^{\text{К}}=60 \cdot \frac{0,688}{16,56}=2,5 \text{ мин.}$$

Основное время при сварке заполняющего слоя шва при скорости  $0,55$  см/с =  $19,8$  м/ч по формуле (36)

$$T_{\text{ОСН}}^{\text{З1}}=60 \cdot \frac{0,688}{19,8}=2,1 \text{ мин.}$$

Основное время при сварке облицовочного слоя шва при скорости  $0,8$  см/с =  $28,8$  м/ч по формуле (36)

$$T_{\text{ОСН}}^{\text{О}}=60 \cdot \frac{0,688}{28,8}=1,4 \text{ мин.}$$

Таким образом, общее основное время сварки одного стыка составляет 6 мин. По существующему варианту технологии изготовления при ручной дуговой сварке штучными электродами основное время сварки одного стыка составляет 10 мин.

Рассчитаем вспомогательное время, зависящее от длины шва. Для этого примем, что время на:

- зачистку и осмотр свариваемых кромок составляет 1 мин;
- возврат сварочной головки в исходное положение составляет 1,5 мин;

									Лист
									56
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2017.971.00 ПЗ				

– очистка шва от шлака, осмотр и промер шва при послойном проведении операции составляет суммарно 10 мин.

Тогда, вспомогательное время составит

$$T_{\text{ВШ}}=1+1,5+10=12,5 \text{ мин.}$$

В выпускной работе принят серийный тип производства. Исходя из этого, коэффициент, который учитывает затраты времени на обслуживание рабочего места, на отдых и естественные надобности составляет  $k=1,19$ .

Норма штучного времени на изготовление одной секции рассчитывается по формуле (37) из [3]:

$$T_{\text{ШТ}} = \left( \sum T_{\text{ОСН}} + T_{\text{ВШ}} \right) k, \quad (37)$$

где  $T_{\text{ОСН}} = 6$  – суммарное основное время на проведение сварочных работ, мин;

$T_{\text{ВШ}} = 12,5$  – вспомогательное время на обслуживание, мин;

$k = 1,19$  – коэффициент, учитывающий затраты времени на обслуживание рабочего места, на отдых и естественные надобности, ед.

Тогда, по формуле (37) получим, что

$$T_{\text{ШТ}} = (6 + 12,5) \cdot 1,19 = 22 \text{ мин.}$$

Произведем расчет штучного времени на операции контроля качества по формуле (38) из [3]:

$$T_{\text{ШТ}}^{\text{КОН}} = (T_{\text{О}} + t_{\text{всп}}) k, \quad (38)$$

где  $T_{\text{О}}$  – время проведения контроля, мин;

$t_{\text{всп}}$  – время на подготовку оборудования и детали, мин;

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
						57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$k = 1,19$  – коэффициент, учитывающий затраты времени на обслуживание рабочего места, на отдых и естественные надобности, ед.

Время контроля определим по формуле (39) из [3]

$$T_0 = \frac{L}{V_K}, \quad (39)$$

где  $L_{Ш} = 0,688$  – длина сварного шва, м;

$V_K$  – скорость проведения контроля, м/мин. Примем, что при визуальном контроле скорость составляет 0,8 м/мин, при ультразвуковом скорость контроля составляет 0,3 м/мин.

Тогда, по формуле (39) получим, что

$$T_0 = \frac{0,688}{0,8} + \frac{0,688}{0,3} = 3,15 \text{ мин.}$$

Тогда, по формуле (38) получим, что

$$T_{ШТ}^{Кон} = (3,15 + 2) \cdot 1,19 = 6,2 \text{ мин.}$$

#### 4.3 Организация производства

Количество сварочных источников питания при производстве работ определяется расчетом и зависит от трудоемкости изготавливаемой продукции и действительного фонда времени работы оборудования.

Загрузка оборудования рассчитывается по формуле (40) из [3]

$$C_P = \frac{T_{ШТ} N}{60 F_D K_{ВН} n}, \quad (40)$$

где  $T_{ШТ}$  – штучное время проведения операции для одного изделия, мин;

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

$N = 19000$  – годовая программа изготовления стыков, шт;

$F_d = 4202$  – действительный фонд времени оборудования при двухсменном графике в сутки, ч;

$K_{BH} = 1,1$  – коэффициент выполнения норм выработки;

$n = 2$  – количество смен.

Полученное значение  $C_p$  округляется до ближайшего целого числа  $C_{ПР}$ , которое является принятым количеством оборудования.

Коэффициент загрузки оборудования определяется по формуле (41) из [3]

$$K_3 = \frac{C_p}{C_{ПР}}, \quad (41)$$

где  $C_p$  – расчетное количество оборудования, шт;

$C_{ПР}$  – принятое количество оборудования, шт.

Расчет количества применяемого оборудования приведен в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Количество применяемого оборудования

Наименование операции	$T_{шт}$ , мин	$C_p$	$C_{ПР}$	$K_3$
Автоматическая сварка в среде защитных газов	22	0,75	1	0,75
Контроль качества	6,2	0,2	1	0,2

Как видно из таблицы, коэффициент загрузки оборудования на изготовление узла достаточно высоки для того, чтобы перекрыть требуемую загрузку при производстве.

Численность основных производственных рабочих меняется в зависимости от трудоемкости работ, норм выработки или нормам обслуживания оборудования.

Количество рабочих рассчитывается по формуле (42) из [3]:

$$R_p = \frac{T_{шт} N}{60 F_{дР} K_{вS}}, \quad (42)$$

где  $T_{шт}$  – штучное время проведение операции для одного изделия, мин;

$N = 19000$  – годовая программа изготовления стыков, шт;

$F_{др} = 475$  – действительный годовой фонд времени работы при двухсменном графике в сутки, час/год;

$S = 2$  – количество смен работы оборудования, шт;

$K_B = 1,1$  – коэффициент выполнения норм выработки, ед.

Полученное значение  $R_p$  округляем до ближайшего целого числа  $R_{пр}$ , которое является принятым количеством оборудования.

Коэффициент занятости рабочего определяется по формуле (43) из [3]:

$$K_3 = \frac{R_p}{R_{пр}}, \quad (43)$$

где  $R_p$  – расчетное количество рабочих, чел;

$R_{пр}$  – принятое количество рабочих, чел.

Расчеты численности основных производственных рабочих и их занятости сведены в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Численность рабочих

Наименование операции	Профессия / специальность	$T_{шт}$ , мин	$R_p$	$R_{пр}$	$K_3$
Автоматическая сварка в среде защитных газов	Сварщик	22	6,7	8	0,84
Контроль качества	Контролер	6,2	1,9	2	0,95



#### 4.4 Расчет расхода материалов

Расчет норм расхода материалов и энергоносителей зависит от количества наплавленного металла. Вес наплавленного металла определяется по формуле (44) из [3]:

$$Q_{\text{э}}=Q_{\text{н}}k, \quad (44)$$

где  $k = 1,2$  – безразмерный коэффициент, который учитывает потери металла на угар и разбрызгивание при сварке в среде защитных газов, ед;

$Q_{\text{н}}$  – вес металла, наплавленного на одно изделие, кг.

Вес наплавленного металла определяется по формуле (45) из [3]

$$Q_{\text{н}}=F_{\text{н}}L\gamma, \quad (45)$$

где  $F = 1,25$  – площадь сечения наплавленного металла шва в поперечном разрезе,  $\text{см}^2$ ;

$L = 68,8$  – длина шва, см;

$\gamma = 7,85$  – удельный вес наплавленного металла,  $\text{г}/\text{см}^3$ .

Тогда, по формуле (45)

$$Q_{\text{н}}=1,25 \cdot 68,8 \cdot 7,85=675,1 \text{ г.}$$

Следовательно, по формуле (44), вес наплавленного металла на одно изделие:

$$Q_{\text{э}}=675,1 \cdot 1,2=810,1 \text{ г.}$$

Расход электродной проволоки на годовую программу определяется по формуле (46) из [3]

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
						61
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$Q_{\text{Э ОБЩ}} = Q_{\text{Э}} N, \quad (46)$$

где  $Q_{\text{Э}}$  – вес наплавленного металла, г;

$N = 4750$  – количество стыков, шт.

Тогда, по формуле (46) получим, что

$$Q_{\text{Э ОБЩ}} = 810,1 \cdot 4750 = 3848 \text{ кг.}$$

Расход газа на одно изделие определяется по формуле (47) из [3]

$$Q_{\text{ГАЗ}} = Q_{\text{Э}} k, \quad (47)$$

где  $k = 1,2$  – коэффициент, учитывающий расход газа, ед.

Тогда, по формуле (47) получим, что

$$Q_{\text{ГАЗ}} = 810,1 \cdot 1,2 = 972,1 \text{ г.}$$

Расход защитного газа, потраченного на сварку на годовую программу

$$Q_{\text{ГАЗ ОБЩ}} = 972,1 \cdot 4750 = 4617,5 \text{ кг.}$$

Расход энергоносителей для обеспечения работы сварочных машин и аппаратов в общем виде определяется согласно по техническим характеристикам оборудования и потерям энергии. Расход энергоносителей при сварке на годовую программу находится из выражения (48) из [3]

$$Q_{\text{ЭЛ}} = Q_{\text{Э ОБЩ}} g_{\text{Э}}, \quad (48)$$

где  $g_{\text{Э}} = 2,5$  – удельный расход электроэнергии, кВт/кг.

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
						62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Тогда, по формуле (48) получим, что

$$Q_{эл}=3848 \cdot 2,5=9620 \text{ кВт.}$$

Выводы по разделу 4:

В разделе 4 произведено нормирование по времени работ, в том числе подготовительных и сварочных. Произведен расчет затрат сварочных материалов, а также рассчитано необходимое количество сварочного оборудования и оборудования для контроля. Также рассчитана необходимая численность персонала.

## 5 ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

При производстве сварочных работ на исполнителей оказывают воздействие разные опасные и вредные производственные факторы.

К вредным производственным факторам относятся следующие:

- повышенная загазованность и запыленность воздуха рабочей зоны;
- видимое, инфракрасное и ультрафиолетовое излучение сварочной дуги при сварке, а также инфракрасное излучение самой ванны и изделий, подвергшихся сварке;
- электромагнитное поле;
- ионизирующее излучение;
- повышенный уровень шума.

При сварке в зоне дыхания производителей работ присутствуют различные сварочные аэрозоли, которые содержат в своем составе окислы металлов и иные химические соединения. При воздействии на организм различных вредных веществ возможно получение острых и хронических профессиональных заболеваний и отравлений.

При отсутствии защиты от излучения сварочной дуги появляется высокая вероятность поражения органов зрения, а также ожоги кожных покровов.

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

Инфракрасное излучение от изделий, подвергшихся предварительному подогреву, оказывает на здоровье негативное воздействие.

Источниками повышенного шума являются компрессоры, генераторы, вакуумные насосы и т. д. Источниками ультразвука являются ультразвуковые генераторы, рабочие органы установок и т. д.

К опасным производственным факторам относятся:

- электрический ток;
- брызги расплавленного металла;
- вероятность взрыва баллонов и систем, которые находятся под давлением;
- движущиеся изделия и механизмы.

### 5.1 Правила электрической безопасности

При эксплуатации электрооборудования с нарушением техники безопасности возможно поражение электрическим током.

При эксплуатации установок, предназначенных для проведения сварочных работ, применяют разные средства защиты, которые подразделяются на:

- изолирующие;
- ограждающие;
- заземление электрооборудования;
- вспомогательные.

Изолирующие средства защиты делятся на:

- основные;
- дополнительные.

Основные средства защиты позволяют выдерживать напряжение электрической установки, поэтому при обмундировании ими допускается касание токоведущих частей, находящихся под напряжением. К таким средствам защиты относятся:

- резиновые перчатки диэлектрические;
- инструмент с изолирующими рукоятями и токоискателями.

Дополнительные средства защиты не позволяют защитить человека от

										Лист
										64
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2017.971.00 ПЗ					

поражения электрическим током из-за того, что у них недостаточная электрическая прочность. К таким средствам относятся:

- обувь резиновая;
- коврики;
- подставки изолирующие.

Коврики и обувь резиновая используются при операциях, которые выполняются с применением основных защитных средств.

К ограждающим средствам защиты относятся:

- щиты;
- клетки;
- прокладки изолирующие;
- изолирующие колпаки.

Вспомогательные средства защиты предназначаются для защиты от воздействий света, тепла, а также от механических воздействий. К таким средствам защиты относятся очки защитные, рукавицы и прочее.

Перед началом проведения работ производится осмотр и проверка надежности контакта, а также крепления заземляющих проводов с корпусом сварочных трансформаторов, исправность пусковых и отключающих устройств, например, рубильников, магнитных пускателей, включателей. Параллельно проверяется изоляция токоведущих проводников, наличие необходимого исправного инструмента, стеллажей, производится замер освещенности.

При применении сварочных источников питания в одно время их расположение должно быть с расстоянием между ними не менее 40 см.

Сечение проводов, питающих сварочную установку должно строго соответствовать силе тока в сварочной цепи. От превышения тока автоматы защищаются предохранителями с плавкими вставками.

Все металлические части оборудования, которое «питается» от электросети, следует надежно заземлять.

Сварочные провода должны быть подвешены на высоте более 2,5 м от уровня земли.

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

Источники питания и различные сварочные установки должны быть защищены предохранителями или автоматическими выключателями со стороны питающей сети.

Многопостовые сварочные агрегаты должны иметь автоматический выключатель, который располагается в общем проводе к сварочному посту.

Передвижные сварочные установки подлежат обязательному заземлению перед началом работ и до включения установки в цепь.

Рабочие места сварщиков, которые расположены под открытым небом, должны быть ограждены переносными ширмами. Сварочные машины должны быть установлены под навесом легкого типа.

## 5.2 Техника безопасности при сварочных работах

При работах с применением сварки электросварщики должны быть снабжены специальной одеждой, комбинезоном из плотной материи или брезентовой курткой и брюками. Карманы у куртки должны закрываться клапанами. Заправлять куртку в брюки. Брюки должны быть длинными, закрывать ботинки и носить их нужно навыпуск.

Спецодежда должна быть пропитана огнеупорной пропиткой. Обувь должна быть плотно зашнурована, чтобы в ботинки не попали брызги расплавленного металла. Голова должна быть покрыта головным убором без козырька.

Для защиты глаз от интенсивного ультрафиолетового и инфракрасного излучения применяют светофильтры. Они используются в очках, щитках, масках, без которых электросварочные работы запрещаются.

Группа электробезопасности сварщика должна быть не ниже второй.

Перед началом проведения сварочных работ электросварщик проверяет:

- защитные приспособления,
- шлем;
- щиток;
- диэлектрический коврик или диэлектрические боты.

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

После проверки необходимо надеть костюм брезентовый с огнестойкой пропиткой, ботинки, головной убор, диэлектрические перчатки или брезентовые рукавицы.

При сварочных работах на открытом воздухе в холодное время года спецодежда дополняется теплозащитными подстежками в соответствии с климатическими зонами.

### 5.3 Работа в особо опасных условиях

При сварке в особо опасных условиях, таких как внутри металлической емкости, на открытом воздухе при смене сварочной проволоки применяют блокирующие устройства.

При сварочных работах на высоте исполнитель работ должен быть снабжен предохранительным поясом и сумкой для инструментов.

### 5.4 Правила пожарной безопасности

Пожарная безопасность при выполнении сварочных работ обеспечивается совокупностью мероприятий, которые направлены на предупреждение пожаров, предотвращение распространения огня (при его возникновении) и создание условий, которые способствуют оперативной ликвидации пожара.

Мероприятия, которые устраняют причины возникновения пожаров подразделяются на следующие виды:

- организационные;
- эксплуатационные;
- технические;
- режимные.

К организационным мероприятиям относятся:

- обучение сварщиков противопожарным правилам;
- беседы;

										Лист
										67
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2017.971.00 ПЗ					

- инструктажи;
- организация добровольных дружин и прочее.

К эксплуатационным мероприятиям относятся:

- правильная эксплуатация оборудования;
- плановые профилактические ремонты, осмотры и испытания сварочного оборудования и устройств и прочее.

К техническим мероприятиям относятся такие, которые обеспечивают соблюдение противопожарных норм и правил при установке сварочного оборудования, устройств системы вентиляции, защитного заземления, зануления и отключения, подводе электропроводки.

К режимным мероприятиям относят запрещение сварочных и других работ в пожароопасных местах, а также курение в не установленных местах.

Сварка во время дождя и грозы запрещается. Применение в местах производства сварочных работ огнеопасных материалов запрещается.

В местах, где возможно образование и скопление вредных газов, должна устанавливаться вентиляция, а рабочие должны снабжаться респираторами, противогазами, кислородными приборами или шланговыми противогазами.

Запрещается выполнять сварочные работы на сосудах, находящихся под давлением.

Сварщик должен знать, где расположены ближайший пожарный кран, рукава, стволы, огнетушители, песок и другие средства огнетушения, и уметь пользоваться первичными средствами огнетушения.

Пожарную технику, предназначенную для защиты строительного-монтажных объектов, подразделяют на следующие группы:

- пожарные машины (автомобили, мотопомпы и прицепы);
- установки пожаротушения;
- установки пожарной сигнализации;
- огнетушители;
- пожарное оборудование;
- пожарный ручной инвентарь;

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68



– пожарные спасательные устройства.

Для ликвидации очага возгорания в электропроводке, электрических машинах и трансформаторах применяются углекислотные огнетушители. Очаги возгорания предварительно обесточиваются. При возникновении пожара незамедлительно должны быть приняты меры к его ликвидации имеющимися средствами и при необходимости вызвать пожарную команду.

Использовать инвентарь пожаротушения для других целей запрещается.

Выводы по разделу 5:

В разделе рассмотрены правила техники безопасности при проведении сварочных работ и поведению на участке. Рассмотрены вопросы по электробезопасности, безопасности при сварочных работах, воздействие шума, пожарная безопасность, требования к специально одежде и защитным приспособлениям при проведении работ.

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
						69
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рассматриваемой работе предложено усовершенствовать существующую технологию сборки и сварки труб при строительстве промышленного нефтепровода с наружным и внутренним антикоррозионным покрытием.

Согласно существующей технологии сварка нитки производится ручной дуговой сваркой штучными электродами. При анализе технологии можно сделать вывод о том, что в условиях строительства на монтажной площадке она низкоэффективна, так как даже при использовании ручной дуговой сварки наблюдается низкая производительность, а также возникает повышенная вероятность образования дефектов.

Для усовершенствования технологии предложен способ автоматической орбитальной сварки в среде защитных газов. В качестве источника энергии для сварочных автоматов применяется сварочный агрегат на гусеничном ходу.

При техническом нормировании и сравнении двух технологий было выявлено, что согласно предлагаемой технологии время на изготовление одного стыка уменьшается примерно на 5 мин, что позволяет увеличить количество стыков, сваренных за одну смену.

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
						70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Акулов, А. И. Технология и оборудования сварки плавлением. Учебник для студентов вузов/ А. И. Акулов, Г. А. Бельчук, В. П. Демянцевич. – М.: «Машиностроение», 1977. – 432с. с ил.
2. Зайцев, Н. Л. Теоретические основы сварки плавлением: учебное пособие/ Н.Л. Зайцев. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 78 с.
3. Шахматов, М. В. Технология изготовления и расчет сварных оболочек/ М. В. Шахматов, В. В. Ерофеев, В. В. Коваленко – Уфа: Полиграфкомбинат, 1999. – 272 с.
4. Николаев, Г.А. Сварные конструкции. Расчет и проектирование: Учеб. для вузов/ Г. А. Николаев, В. А. Винокуров/Под ред. Г. А. Николаева – М.: Высш.шк., 1990. – 446 с.
5. Куркин, С. А. Сварные конструкции. Технология изготовления, механизация, автоматизация и контроль качества в сварочном производстве: Учебник для студентов вузов/ С. А. Куркин, Г. А. Николаев – М.: Высш. шк., 1991. – 398 с., ил.
6. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением/ Под. ред. Б. Е. Патона. – М.: «Машиностроение», 1974. – 768 с., ил.
7. СТО ЮУрГУ 04-2008. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению. Компьютерная версия. – 2-е изд. перераб./ Составители: Т. И. Парубочая, Н. В. Сырейщикова, В. И. Гузеев, Л. В. Винокурова. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2008. – 56 с.
8. <http://uraltermosvar.ru>
9. <http://www.lincolnweld.ru>
10. <http://t-ndt.ru>
11. ГОСТ 19281-2014. Прокат повышенной прочности. Общие технические условия, 2015. – 47 с.

					15.03.01.2017.971.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71