

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт Электронного образования  
Специальность Оборудование и технология сварочного производства  
Кафедра Оборудование и технология сварочного производства

**ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ/РАБОТА**

Тема работы
<b>Разработка механизма крепления рентгеновского аппарата для контроля сварных швов труб диаметром 108-159 мм</b>
УДК <u>620.179.152.1-229.312.4:621.643.411.4</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
34601	Зворыгин Р.А.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Филишов Н.Я.			

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Петухов О.Н.	К.Э.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гуляев М.В.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Киселев А.С.	К.Т.Н.		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт электронного образования  
 Направление подготовки (специальность) оборудования и технология сварочного производства  
 Кафедра оборудования и технология сварочного производства

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. Кафедрой ОТСП

\_\_\_\_\_  
 (Подпись) (Дата) Киселев А.С.  
 (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Дипломный проект
------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-4601	Зворыгин Роман Андреевич

Тема работы:

Разработка механизма крепления рентгеновского аппарата для контроля сварных швов труб диаметром 108–159 мм
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	
---	--

Срок сдачи студентом выполненной работы:	29.05.2016
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Детали</p> <p>Разработка механизма крепления рентгеновского аппарата для контроля сварных швов труб диаметром 108–159 мм</p> <p>Сравнительный анализ ручной дуговой сварки и механизированной сварки в среде защитных газов</p> <p>Расчет режимов ручной дуговой сварки и механизированной сварки в среде защитных газов</p> <p>Подбор основных и сварочных материалов</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p>	<p>1 Анализ существующих методов контроля качества сварных соединений</p> <p>2 Разработка приспособления для закрепления аппарата Арина – 7 на трубопроводе</p>

<i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	3 Расчет режимов сварки 4 Обоснование выбора основного сварочного оборудования 5 Технология изготовления сварной конструкции 6 Технический контроль качества и исправление брака 7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 8 Социальная ответственность 9 Заключение
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1 Конструкция механизма крепления для аппарата Арина - 7 2 Вид сбоку механизма крепления для аппарата Арина - 7 3 Вид сверху механизма крепления для аппарата Арина - 7
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
1-5. пп - 1-5	Филишов Н.Я.
Финансовый менеджмент, ресурсо-эффективность и ресурсосбережение	Петухов Олег Николаевич
Социальная ответственность	Гуляев Милий Всеволодович

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	20.02.2016
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Филишов Н.Я.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-4601	Зворыгин Р.А.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-4601	Зворыгин Р.А.

Институт	ИнЭО	Кафедра	ОТСП
Уровень образования	Специалист	Направление/специальность	ОТСП

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость применяемого оборудования для проведения сварочных работ, тарифные ставки рабочих, стоимость электроэнергии
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	...
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	...

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)	...
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР	...
3. Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР	Обосновать выбор приобретаемого оборудования и материалов
4. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)	Привести затраты на приобретение оборудования и материалов
5. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков	Рассчитать трудозатраты, энергозатраты, затраты на материалы, эксплуатацию оборудования

**Перечень графического материала** (с точным указанием обязательных чертежей)

1. «Портрет» потребителя
2. Оценка конкурентоспособности ИР
3. Матрица SWOT
4. Модель Кано
5. ФСА диаграмма
6. Оценка перспективности нового продукта
7. График разработки и внедрения ИР
8. Инвестиционный план. Бюджет ИП
9. Основные показатели эффективности ИП
10. Риски ИП

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Петухов О.Н.	К.Э.Н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4601	Зворыгин Р.А.		



	<p>Цеховое помещения, в котором производится сборка балки должно оборудоваться системой отопления в зимний период и охлаждения воздуха в летний период. В помещениях так же должна быть эффективная приточно-вытяжная вентиляция.</p> <p>Помещения должны иметь естественное и искусственное освещение.</p> <p>При подготовке сборочно-сварочных работ необходимо руководствоваться следующими документами:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Правила устройства электроустановок ПУЭ (утв. МинэнергоРоссии) (7-ое издание)</li> <li>- СНиП II-A.9-71 Строительные нормы и правила. Часть II, раздел А. Глава 9. Искусственное освещение. Нормы проектирования"(утв. Госстроем СССР 29.06.1971)</li> <li>- СНиП II-4-79 Естественное и искусственное освещение. Дата актуализации: 01.11.2014</li> <li>- ГОСТ 12.1.003-83* Шум. Общие требования безопасности</li> <li>- СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки</li> <li>- ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно - гигиенические требования к воздуху рабочей зоны</li> <li>- ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты</li> <li>- ГОСТ 12.1.010-76 Взрывобезопасность. Общие требования</li> </ul>
--	--

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гуляев М.В.	доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4601	Зворыгин Р.А.		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 105 страниц, 13 рисунков, 36 таблиц, 34 литературных источника, 16 листов демонстрационного материала (слайды).

Ключевые слова: радиографический контроль, приспособление крепления для Арины-7, сварка в среде защитных газов.

Предметом исследования является методика радиографического контроля кольцевых сварных швов труб промышленных нефтепроводов диаметром 108-159 мм.

Объектом исследования является процесс усовершенствования способа контроля сварных швов труб малого диаметра с помощью отечественного рентгеновского аппарата Арина-7.

Цель работы – разработка приспособления для контроля сварных швов труб малого диаметра и отработка методики неразрушающего контроля сварных соединений при строительстве и ремонте магистральных трубопроводов.

В ходе выполнения дипломной работы были достигнуты следующие результаты:

- разработана конструкция устройства для крепления рентгеновского аппарата Арина-7 на наружной поверхности труб диаметром 108-159 мм;
- произведен выбор основных и сварочных материалов;
- произведен расчет режимов сварки;
- сделан выбор сварочного оборудования для изготовления приспособления для контроля сварных швов труб малого диаметра.

Выпускная квалификационная работа инженера выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 16 и графическом редакторе “КОМПАС-3D V14” и представлена на диске CD-RW (в конверте на обороте обложки).

## Abstract

The final qualifying work contains 105 pages, 13 figures, 36 tables, 34 references, 16 pages of demonstration material (slides).

Keywords: radiographic control, fixing device for Arina-7, welding in protective gases.

The subject of research is the method of radiographic control of girth welds for field pipelines tubes with diameter 108-159 mm.

The object of research is the process of improvement the method of controlling the weld of small diameter tubes by domestic X-ray apparatus Arina-7.

Purpose of the work is to develop the tools for weld inspection of small diameter tubes and to apply the methods of non-destructive testing of weld joints at the main pipelines during its construction and repair.

During execution of the degree project the following results were achieved:

- Design of the fixing device for X-ray apparatus Arina-7 on the outer surface of the tube with diameter of 108-159 mm was developed;
- The selection of basic and welding consumables was made;
- The welding conditions were calculated;
- The selection of welding equipment for the manufacture of devices for weld inspection of small diameter pipes was made.

The final qualifying work of the engineer was made in Microsoft Word processor 16 and the graphic editor "KOMPAS-3D V14" and presented in CD-RW drive (in an envelope on the back cover).

## Содержание

	Введение	12
1	Методы контроля качества сварных соединений, применяемые при строительстве трубопроводов	13
	1.1 Визуальный и измерительный контроль	13
	1.2 Ультразвуковой контроль	14
	1.3 Радиографический контроль	17
2	Общие сведения о радиографическом методе контроля	19
	2.1 Природа и свойства ионизирующих излучений	20
	2.2 Виды радиографического метода контроля	24
3	Основные параметры и техника радиографического контроля	25
	3.1 Назначение метода	25
	3.2 Подготовка к контролю	26
	3.3 Чувствительность радиографического контроля	27
4	Рентгеновские аппараты	29
	4.1 Общие сведения	29
	4.2 Рентгеновский аппарат АРИНА-7	30
5	Разработка приспособления для закрепления аппарата Арина-7	35
	5.1 Конструкция устройства	35
	5.2 Состав и свойства стали	36
	5.3 Оценка свариваемости	36
	5.4 Выбор способа сварки	38
	5.4.1 Ручная дуговая сварка	38
	5.4.2 Механизированная сварка в среде защитных газов	39
	5.5 Выбор сварочных материалов	42
	5.5.1 Материалы для ручной дуговой сварки	42
	5.5.2 Материалы для механизированной сварки	44
	5.6 Расчет режимов	46

	5.6.1 Для ручной дуговой сварки покрытыми электродами	46
	5.6.2 Для механизированной сварки в защитном газе	49
5.7	Выбор источника питания	53
	5.7.1 Выбор источника питания для ручной дуговой сварки	54
	5.7.2 Выбор источника питания для механизированной сварки в среде защитных газов	56
6	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	59
	6.1 Исходные данные для проведения сравнительного анализа	59
	6.2 Достоинства и недостатки сравниваемых процессов производства	60
	6.3 Сварочные материалы	61
	6.4 Режимы сварки	62
	6.5 Обоснование выбора оборудования и приспособлений	63
	6.6 Нормирование технологического процесса	64
	6.7 Экономическая оценка сравниваемых способов сварки	69
	6.8 Экономическая оценка эффективности инвестиций	74
7	Социальная ответственность	80
	7.1 Производственная безопасность	80
	7.1.1 Анализ опасные производственные факторы при сварке	80
	7.1.2 Анализ вредных производственных факторов	81
	7.1.3 Мероприятия по устранению опасных и вредных факторов	82
	7.1.4 Воздушная среда и микроклимат. Вентиляция	83
	7.1.5 Электробезопасность	85
	7.1.6 Система обеспечения безопасных условий труда при радиационном методе контроля	89
	7.1.7 Расчет вентиляции	92
	7.1.8 Пожарная безопасность	93
	7.2 Экологическая безопасность	94
		10

7.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	95
7.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	99
	Заключение	102
	Список используемых источников	103

Диск CD-R

На конверте на обороте обложки

ФЮРА.478190.022 Презентация.

Файл Презентация Зворыгин.ppt в формате PowerPoint 2007

ФЮРА.478190.022 Пояснительная записка.

Файл Диплом Зворыгин.docx в формате Word 2007

## Введение

Повышение долговечности и надежности трубопроводов в значительной степени зависит от применяемых методов и средств технического контроля. Наибольшее применение для этих целей нашли физические методы неразрушающего контроля, основанные на использовании ионизирующих излучений, ультразвуковых колебаний, электромагнитного поля, явлений капиллярности и т.п. Эти методы обеспечивают 100%-ный контроль качества продукции, выявление как внутренних, так и наружных дефектов в материалах, деталях и узлах изделий.

На современном этапе развития промышленности неразрушающий контроль – неотъемлемая часть технологических процессов производства. Объем работ по неразрушающему контролю качества материалов, деталей, узлов и изделий непрерывно возрастает.

Анализ существующих методов неразрушающего контроля показывает, что радиационная дефектоскопия является одним из основных методов контроля качества. Наибольшее распространение получил радиографический метод обнаружения дефектов.

С помощью радиографического метода радиационной дефектоскопии выявляют дефекты литья, сварки, пайки и других технологических процессов. Эти достоинства метода обусловили его широкое внедрение в промышленности.

Целью данной работы является разработка приспособления для аппарата Арина-7 для контроля сварных швов труб диаметра от 108 до 159 мм и отработка методики неразрушающего контроля сварных соединений при строительстве и ремонте трубопроводов.

## 1 Методы контроля качества сварных соединений, применяемые при строительстве трубопроводов

Обязательными методами неразрушающего контроля сварных соединений трубопроводов регламентируются визуальный и измерительный (ВИК), ультразвуковой (УК), радиографический (РК).

### 1.1 Визуальный и измерительный контроль

При подготовке к проведению визуального и измерительного контроля необходимо зачистить поверхность в зоне контроля. Зачистка от продуктов коррозии, а также окалины, краски, грязи, шлака, масла, брызг металла и прочих загрязнений производится до чистого металла. Эти загрязнения могут препятствовать проведению процедуры контроля. Зачистка поверхности зоны контроля может производиться щетками из металла, пневмопескоструйным инструментом, напильниками. После зачистки шероховатость контролируемой поверхности должна быть не более Rz 80.

В соответствии с РД 03-606-03 визуальный контроль проводится визуально, без применения дополнительных инструментов, или с применением оптических приборов (смотровых луп с 4 – 10 кратным увеличением, зеркал, эндоскопов и др.) [3].

При этом проверяется наличие (отсутствие) таких дефектов как: поверхностные трещины всех видов и направлений, поверхностные поры, включения, свищи, наплывы, усадочные раковины, подрезы, несплавления и другие несплошности. Также проверяется величина западаний между валиками, грубая чешуйчатость, прижогов металла, отсутствие поверхностных дефектов в местах зачистки и наличие маркировки шва, и правильность ее выполнения.

Инструменты и приборы измерения характеристик поверхностных дефектов должны быть исправными и прошедшими метрологическую поверку. К ним относятся:

- а) измерительные лупы;
- б) штангенциркули с глубиномером;
- в) шаблоны универсальные, типа УШС;
- г) линейки стальные измерительные, рулетки;
- д) образцы шероховатости (сравнения).

Местоположение дефекта вдоль шва измеряется в миллиметрах относительно точки начала отсчета. За начало отсчета принимается пересечение вертикального и горизонтального стыков. Стыки нумеруются по часовой стрелке, начиная от приемо-раздаточных патрубков [3].

Измерительный контроль сварного соединения выполняется после визуального контроля сварных швов, при этом определяются размеры поверхностных дефектов. При выявлении недопустимых геометрических размеров, измеряется длина участка с отклонением, определяется его координата вдоль шва, измеряется их глубина  $h$ , протяженность  $L$  и координата вдоль шва.

Результаты визуального и измерительного контроля поверхности сварных швов оформляются в виде заключения. К заключению прилагается схема контролируемого сварного соединения с указанием на ней мест расположения выявленных дефектов.

## 1.2 Ультразвуковой контроль

Ультразвуковой контроль проводится в соответствии ГОСТ 12503-75, после проведения визуального и измерительного контроля соединений при строительстве и ремонте магистральных трубопроводов [5].

Контроль необходимо проводить только при температуре окружающего воздуха от  $-20$  до  $+40$  °С и относительной влажностью воздуха от 40 до 80%.

Перед проведением сканирования, необходимо обеспечить доступ к сварному соединению. Околошовную зону, по обе стороны от шва и по всей его длине, следует очистить от пыли, грязи, окалина, застывших брызг металла, забоин и других неровностей; чистота обработки поверхности околошовной зоны должна быть не хуже Ra 6,3 (Rz 40).

Для контроля используются импульсные ультразвуковые дефектоскопы в комплекте с контактными пьезоэлектрическими преобразователями (ПЭП). Проверку технических параметров дефектоскопов и пьезоэлектрических преобразователей, а также основных параметров контроля, осуществляют с помощью стандартных образцов СО-2 и СО-3 по ГОСТ 14782-86. Перед проведением контроля конкретного типа сварного соединения для настройки дефектоскопа и оценки измеряемых характеристик дефектов, следует применять стандартные образцы предприятия (СОП) с искусственными отражателями по ГОСТ 14782-86. Все образцы должны быть аттестованы, а также снабжены технической документацией (паспорт, техническое описание).

Настройка дефектоскопа включает в себя:

- а) регулировку диапазона развертки;
- б) регулировку глубиномера;
- в) регулировку положения строб-импульса;
- г) регулировку чувствительности.

Чтобы обеспечить акустический контакт между ПЭП и контролируемым изделием, используются специальные контактные жидкости или смазки.

Следует применять специализированные пасты отечественного и зарубежного производства, обеспечивающие, надежный и стабильный акустический контакт в рабочем диапазоне температур окружающего воздуха при заданном уровне чувствительности контроля. Пасты должны быть выбраны в зависимости от температуры окружающего воздуха.

Кроме того, для обеспечения акустического контакта допускается

применение контактной смазки следующих видов:

- при температурах выше + 30 °С – солидол, технический вазелин;
- при температурах от -20 до + 40 °С – моторные или другие технические масла [2].

Дополнительно, используются инструменты и приспособления для разметки контролируемого соединения и измерения характеристик выявленных дефектов; вспомогательных средств, необходимых для отметки мест расположения выявленных дефектов, записи результатов контроля, и инструментов для очистки околошовной зоны сварного соединения и пр.

В качестве измерительного инструмента следует применять масштабные линейки, штангенциркули, измерительные пояса, универсальные шаблоны сварщика и др.

Прозвучивание сварного шва выполняется путем возвратно-поступательного перемещения ПЭП, равномерно сканируя площадь поверхности контроля. Скорость сканирования должна быть не более 50 мм/сек, шаг сканирования не должен превышать половины ширины пьезоэлемента. Максимальное перемещение ПЭП от края сварного шва  $L_{\max}$  определяется в зависимости от толщины сварных элементов, угла ввода и рассчитывается следующим выражением:

$$L_{\max} = 2 \times \delta \times \operatorname{tg} \alpha, \quad (1)$$

При обнаружении дефекта оценивается уровень амплитуды эхо-сигнала по отношению к браковочному уровню, после чего измеряется по индикатору расстояния дефектоскопа наибольшая глубина залегания дефекта ( $Y_{\max}$ ) в сечении шва. Затем измеряют условную протяженность дефекта (L) вдоль шва и определяют количество дефектов (n) на оценочном участке. Амплитуда эхо-сигнала от дефекта ( $A_{\text{изм}}$ ) измеряется в % экрана дефектоскопа (80% - браковочный уровень). Наибольшая глубина залегания дефекта ( $Y_{\max}$ ) в мм определяют с помощью глубиномера дефектоскопа в соответствии с инструкцией по его эксплуатации. Условная протяженность

дефекта “L” измеряют в миллиметрах по длине зоны между крайними положениями ПЭП, перемещаемого вдоль шва, при которых амплитуда эхо – сигнала от дефекта достигает поискового уровня. Количество дефектов ( $n$ ) на оценочном участке шва определяется числом дефектов.

Результаты ультразвукового контроля сварных соединений магистральных трубопроводов оформляют в виде заключения установленной формы. К заключению должна быть приложена схема контролируемого участка, с указанием на ней мест расположения выявленных дефектов [5].

### 1.3 Радиографический контроль

Для неразрушающего контроля сварных соединений наиболее широко применяется радиографический метод с использованием рентгеновской пленки.

Любой из известных методов радиационной дефектоскопии предполагает обязательное использование, как минимум, трех основных элементов (рисунок 1): источника  $1$  ионизирующего излучения; контролируемого объекта  $3$  (сварного соединения); детектора  $4$ , регистрирующего дефектоскопическую информацию [1].

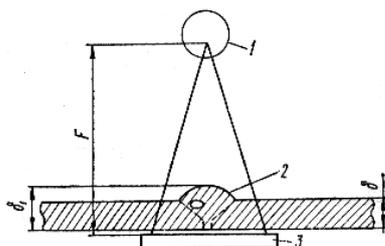


Рисунок 1 – Схема радиографического контроля:

$1$  – источник излучения;  $2$  – сварное соединение;  $3$  – детектор;  $F$  – фокусное расстояние;  $\delta$  – толщина основного металла;  $\delta_1$  – толщина сварного шва

При прохождении ионизирующего излучения через контролируемый объект происходит его ослабление – поглощение и рассеяние. Степень

ослабления зависит от толщины  $\delta$  и плотности материала контролируемого объекта, а также от интенсивности и энергии самого излучения.

В общем случае изменение интенсивности излучения при прохождении его через вещество описывается соотношением:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu d}, \quad (2)$$

где:  $I$  – интенсивность прошедшего излучения;

$I_0$  – интенсивность падающего излучения;

$\mu$  – линейный коэффициент взаимодействия, причем  $\mu \approx \rho, E$ ;

$d$  – толщина объекта.

При наличии в веществе внутренних дефектов изменяются интенсивность и энергия выходящего пучка излучения. Иными словами, выходящий пучок излучения несет дефектоскопическую информацию о внутренней структуре контролируемого объекта [3].

## 2 Общие сведения о радиографическом методе контроля

Теория и практика радиационного контроля в большинстве случаев связана с анализом различного вида изображений. Термин «изображение» обозначает плоскость, физические характеристики которой изменяются от точки к точке.

Так, радиационным изображением называют изображение, сформированное ионизирующим излучением в результате его взаимодействия с ОК, а теневым радиационным – радиационное изображение за ОК, сформированное широким или узким пучком ионизирующего излучения. В радиационных изображениях в качестве изменяющейся физической величины обычно выбирают перенос (плотность потока) ионизирующих частиц, перенос энергии (плотность потока энергии) ионизирующих частиц, дозу, экспозиционную дозу излучения [4].

Световым изображением называют изображение, сформированное видимым излучением, непосредственно воспринимаемое глазом человека. В одноцветном световом изображении указанное выше изменение может быть описано величиной, соответствующей общему количеству света, попадающему из данной точки к наблюдателю.

Качество анализируемого изображения определяется совокупностью многих параметров: энергетических (перенос энергии ионизирующих частиц, мощность экспозиционной дозы, яркость экрана и т.п.), пространственно-частотных (предел разрешения, дисторсия и т.п.), статистических (флуктуационных) (минимальный контраст, отношение сигнал/шум, динамический диапазон и т.п.) и временных (инерционность, динамическая нерезкость и т.п.).

При значительных значениях энергетических параметров флуктуации изображений малозаметны и на качество изображения влияют наиболее сильно пространственно-частотные (геометрические) характеристики [4].

При малых значениях энергетических параметров, наоборот, первостепенное значение приобретают статистические свойства

изображений. Флуктуации могут приводить к заметному отклонению четкости и различности формы изображений от определяемых геометрическими параметрами. Поэтому качество изображения зависит от значения энергетических характеристик при заданной чувствительности системы контроля и от чувствительности при заданных значениях энергетических параметров.

Ввиду взаимосвязанности отмеченных выше характеристик, выработка единого для всех приборов критерия качества изображений представляет значительные трудности. Несмотря на обширную литературу по этому вопросу, общепринятой точки зрения до сих пор нет [6].

Следует отметить, что максимальная чувствительность любого фотонного прибора определяется статистическими флуктуациями числа зарегистрированных фотонов. Во многих диапазонах электромагнитного спектра число регистрируемых фотонов обычно так велико, что максимальная чувствительность достигается редко. Но в рентгеновском и гамма-диапазоне энергия каждого фотона очень велика, поэтому число фотонов, обеспечивающих перенос заданной на детектор энергии, соответственно мало. Статистические флуктуации общего числа зарегистрированных фотонов как фонового излучения, так и полезного сигнала, таким образом, служат сильнейшим ограничением чувствительности радиационных систем.

## 2.1 Природа и свойства ионизирующих излучений

Радиационные методы контроля сварных соединений основаны на применении ионизирующих излучений.

При радиационной дефектоскопии сварных соединений в основном применяют тормозное (рентгеновское), нейтронное и  $\gamma$ -излучение.

Тормозное излучение и  $\gamma$ -кванты представляют собой разновидность электромагнитных колебаний, которые по сравнению с видимым светом и ультрафиолетовым излучением имеют как общие волновые свойства, так и специфические особенности, связанные с их корпускулярными (квантовыми)

свойствами. В частности, длина волны  $\lambda$  равна: для видимого света –  $(4...7)10^{-7}$  м; ультрафиолетового излучения -  $10^{-9} ...4 \cdot 10^{-7}$  м; рентгеновского излучения -  $6 \cdot 10^{-13} ...10^{-9}$  м;  $\gamma$ -квантов -  $10^{-13} ...4 \cdot 10^{-12}$  м [2].

С уменьшением длины волны  $\lambda$  увеличивается энергия излучения. В связи с этим над волновыми свойствами начинают преобладать корпускулярные свойства частиц, и проникающая способность излучения увеличивается.

Источниками рентгеновского излучения служат рентгеновские трубки (рисунок 2). Трубка представляет собой стеклянный вакуумный баллон с двумя впаянными электродами. Рентгеновское излучение генерируется при торможении на аноде  $A$  электронов, испускаемых катодом  $K$ . В результате этого возникают характеристическое и тормозное излучения, имеющие соответственно линейчатый и непрерывный спектры (рисунок 3).

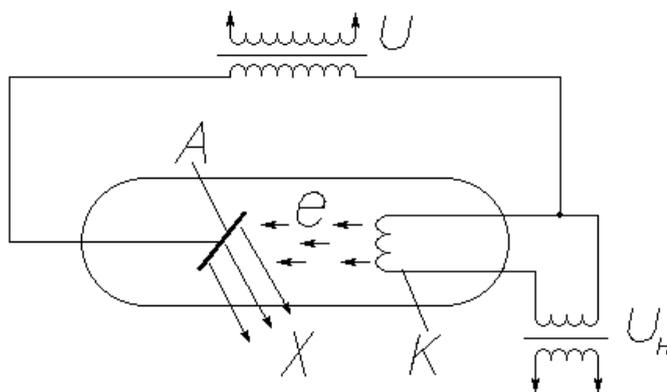


Рисунок 2 – Схема рентгеновской трубки

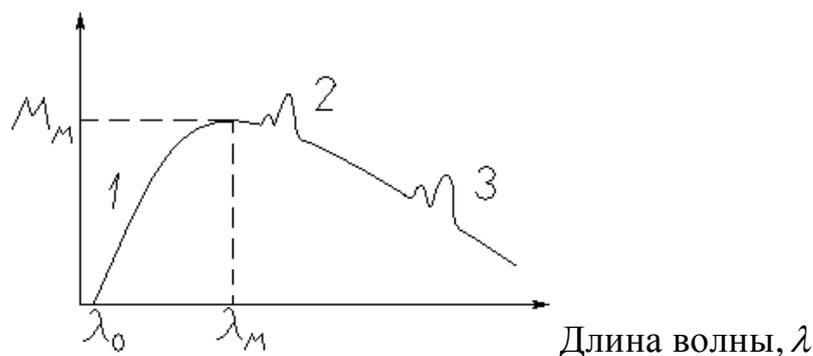


Рисунок 3 – Спектры излучения рентгеновской трубки

Характеристическое излучение – фотонное излучение, возникающее при изменении энергетического состояния атома. При выбивании электрона с внутренней оболочки атома освобождается место в оболочке, которое заполняется электроном с внешних слоев. При этом атом переходит в нормальное состояние и испускает квант характеристического излучения с энергией, равной разности энергии на соответствующих уровнях.

Характеристическое излучение с линейчатым спектром возникает только в том случае, когда быстрые электроны, взаимодействующие с веществом анода, обладают большой энергией, например, достаточной для обеспечения перехода  $K$ -электронов атомов вещества анода на более высокие энергетические уровни. Тогда происходит мгновенный обратный переход электрона, например, с  $L$ -оболочки на  $K$ -оболочку. Это сопровождается характеристическим излучением с частотой  $\nu$ , соответствующей  $\Delta E$  – разности энергий между уровнями  $E_K$  и  $E_L$  [3]:

$$\Delta E = E_K - E_L = h\nu, \quad (3)$$

где  $h$  — постоянная Планка ( $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$  Дж/с).

Характеристическое излучение используют при рентгеноспектральном и рентгеноструктурном анализах состава вещества. Поскольку каждый элемент периодической системы обладает вполне определенными энергиями связи электронов на оболочках атома, то, следовательно, каждому веществу соответствует вполне определенный линейчатый спектр.

Тормозное излучение с непрерывным (сплошным) спектром возникает в результате «постепенного» торможения в материале анода электронов разных энергий, испускаемых катодом. Кинетическая энергия  $E$  электрона у поверхности анода [3]:

$$E = eU, \quad (4)$$

где  $e$  – заряд электрона ( $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$  Кл);

$U$  – анодное напряжение трубки, В.

В связи с тем, что скорости электронов распределены по закону Максвелла, то эти электроны тормозятся постепенно по толщине анода. Поэтому в рентгеновском спектре излучения, генерируемого трубкой, присутствуют кванты со всевозможными энергиями. Полный переход кинетической энергии электронов  $E$  в максимальную энергию рентгеновского излучения  $E_{\max}$  происходит при минимальной длине волны [3]:

$$E = h\nu_0 = h\frac{c}{\lambda_0}. \quad (5)$$

Приравнивая  $E$  и  $E_{\max}$ , получим [3]:

$$\lambda_0 = \frac{hc}{eU} = \frac{1,24 \cdot 10^{-6}}{U}. \quad (6)$$

Из последнего соотношения следует, что с увеличением анодного напряжения  $U$  длина волны  $\lambda_0$  уменьшается, что соответственно приводит к изменению спектрального состава и повышению максимальной энергии непрерывного спектра.

При изменении тока трубки спектральный состав непрерывного спектра не изменяется, однако его интенсивность уменьшается пропорционально уменьшению значения тока  $I$ . Экспозиционная доза рентгеновского излучения  $X$  пропорциональна току трубки и времени просвечивания  $t$  [3]:

$$X = It. \quad (7)$$

Для рентгеновской трубки её КПД пропорционален анодному напряжению  $U$  и в зависимости от него составляет от 1 до 2% полной энергии всех электронов, тормозящихся на аноде. Остальная часть энергии превращается в теплоту.

## 2.2 Виды радиографического метода контроля

Радиография — метод получения на детекторах видимого изображения внутренней структуры изделия, просвечиваемого ионизирующим излучением. На практике этот метод получил наибольшее распространение в связи с его простотой и документальным подтверждением получаемых результатов.

В настоящее время рентгеновское изображение получают, используя широкий спектр различных методов, включающих прямые аналоговые, непрямые аналоговые и цифровые технологии.

Основной принцип прямого аналогового изображения, к которому относят обычную рентгенографию и рентгеноскопию, заключается в формировании информационного содержания объекта на рентгеновской пленке. Пленочная радиография является надежным и испытанным методом, который совершенствовался на протяжении 100 лет. Он характеризуется быстродействием и обладает самым высоким пространственным разрешением.

В зависимости от используемого излучения различают несколько разновидностей радиографии: рентгенографию, гаммаграфию, бетатронную и нейтронную. Каждый из перечисленных методов имеет свою сферу использования.

В частности, рентгенографию применяют в цеховых и в полевых условиях в случаях, когда к контролю качества сварных соединений предъявляются наивысшие требования по чувствительности. Гаммаграфия доминирует при контроле качества сварных соединений, расположенных в труднодоступных местах, в полевых и монтажных условиях. Бетатронную радиографию используют при дефектоскопии сварных соединений большой толщины преимущественно в цеховых условиях. Нейтронная радиография - единственный метод, обеспечивающий контроль качества сварных соединений тяжелых металлов, водородосодержащих материалов и радиоактивных изделий.

Применяя перечисленные методы, возможно просвечивать стальные сварные соединения толщиной от 1 до 700 мм [1].

### 3 Основные параметры и техника радиографического контроля

#### 3.1 Назначение метода

Радиографическим контролем в сварных соединениях обнаруживают следующие внутренние дефекты:

- непровары;
- трещины;
- металлические и неметаллические включения;
- поры.

Кроме того, при помощи радиографического контроля сварных соединений выявляют наружные дефекты, недоступные для внешнего осмотра (утяжины, превышение проплава и т.п.).

Однако при данном методе контроля не обеспечивается выявление следующих видов дефектов:

- любых дефектов, при их протяженности в направлении излучения меньше удвоенной чувствительности контроля в миллиметрах или при изображении дефектов, совпадающих на снимке с другими изображениями, которые затрудняют расшифровку снимков;
- непроваров и трещин с раскрытием менее 0,1мм для сварных соединений с контролируемой толщиной более 40мм;
- непроваров и трещин, плоскость раскрытия которых не совпадает с направлением излучения;
- непроваров и трещин с раскрытием менее 0,25% для сварных соединений с контролируемой толщиной более 40мм;
- металлических и неметаллических включений, коэффициент ослабления излучений в которых близок коэффициенту ослабления излучения для металла сварного соединения [2].

### 3.2 Подготовка к контролю

На контроль принимают сварные, паяные, литые и другие детали и узлы, очищенные от шлака, земли, масла и прочих загрязнений по принятой на предприятии технологии. Перед контролем проводится внешний осмотр и приемка деталей. В результате внешнего осмотра сварных соединений выявляют следующие наружные дефекты: наплывы, прожоги, превышение проплава, подрезы, наружные трещины шва и околошовной зоны, выплески, непровары корня шва и несоответствие конструктивных элементов сварного шва. Наружные дефекты удаляют, чтобы их изображение на снимках не могло помешать выявлению внутренних дефектов.

После зачистки сварного соединения и устранения наружных дефектов должна быть произведена разметка сварного соединения на участки и маркировка (нумерация) участков.

Разметка изделия на участки производится в соответствии с выбранной схемой просвечивания цветным маркером. Если, например, контролю подвергается крупногабаритная сварная конструкция, выбирается система отсчета (по часовой стрелке, справа налево и т. п.) и первый порядковый номер присваивается участку, имеющему какой-либо характерный конструктивный или технологический элемент. Согласно установленному размеру участка наносят его границы и местоположение стрелки, указывающей на границу наплавленного металла и околошовной зоны (обычно в середине сварного участка). Такая разметка делается для того, чтобы легко отыскать требуемый, например, для разметки обнаруженного недопустимого дефекта участок среди ему подобных после получения результатов расшифровки снимка. Поэтому разметка участков обычно сохраняется в течение всего процесса контроля до окончательной приемки сварного узла или изделия [7].

Маркировка снимка устанавливается согласно произведенной разметке изделия с помощью маркировочных знаков.

Маркировочные знаки (цифровые или буквенные) изготавливают из свинца, меди или другого материала, сильно поглощающего используемое при контроле излучение.

Маркировочные знаки устанавливаются на контролируемом участке или непосредственно на кассете с пленкой так, чтобы изображения маркировочных знаков на снимках не накладывались на изображение шва [5].

Гибкие пластиковые и бумажные кассеты с детекторами рентгеновского излучения крепятся к контролируемому объекту с помощью механических прижимов (прищепок) и липкой ленты. При контроле объектов с хорошими магнитными свойствами для крепления кассет можно использовать магнитные держатели.

Для защиты пленки от рассеянного излучения позади кассеты устанавливается свинцовый лист толщиной обычно 2 мм [2].

### 3.3 Чувствительность радиографического контроля

Одним из важных вопросов в практической радиографии является чувствительность метода. Чувствительность характеризует выявляемость дефектов. Абсолютная чувствительность определяется минимальным размером дефекта в мм, выявляемым по радиограмме (снимку) [3].

Относительная чувствительность рассчитывается из соотношения:

$$K = \frac{d}{D} \cdot 100\%, \quad (8)$$

где  $d$  – минимальный размер дефекта;

$D$  – толщина контролируемого изделия.

Чувствительность, равная 1% обозначает, что на толщине материала в 10мм можно рассмотреть дефект размером 0,1 мм.

Для оценки чувствительности радиографического контроля по стандарту [8] применяются проволоочные, канавочные или пластинчатые

эталон чувствительности. Подбор эталонов чувствительности производится в соответствии с ГОСТ 7512-82. Эталоны чувствительности изготавливаются из металла или сплава. Основа материала эталона должна быть аналогична по химическому составу основе контролируемого материала.

Эталон чувствительности следует устанавливать на контролируемый участок сварного соединения с той стороны, которая обращена к источнику излучения. Проволочные эталоны должны устанавливаться непосредственно на шов, направление проволок – поперек шва. Канавочные эталоны устанавливаются рядом со швом, направление эталона – вдоль шва.

Если невозможно установить эталон чувствительности со стороны источника излучения или при проведении контроля сварных соединений пустотелых изделий (цилиндрических, сферических и других) через две стенки с расшивкой только прилегающего к пленке участка сварного соединения, то разрешено устанавливать эталоны чувствительности со стороны кассеты.

Маркировка эталонов чувствительности производится свинцовыми цифрами, которые обозначают материал и номер эталона. При маркировке канавочных эталонов допускается применять вырезы или отверстия [5].

Рентгенографическая чувствительность зависит от множества факторов.

Напряжение, фокус, мощность – это те аппаратные характеристики, от которых напрямую зависит рентгенографическая чувствительность контроля.

## 4 Рентгеновские аппараты

### 4.1 Общие сведения

Для получения рентгеновского излучения в дефектоскопии сварных соединений монтируемых конструкций используют в основном портативные рентгеновские аппараты непрерывного и импульсного действия.

Рентгеновский аппарат состоит из излучателя (рентгеновской трубки и защитного кожуха, заполненного изолирующей средой), источника высокого напряжения и пульта управления.

В пульт управления входят контрольно-измерительные приборы, контролирующие режим работы рентгеновской трубки, приборы управления, аппаратом, цепи сигнализации и другие устройства.

Характерной особенностью переносной (портативной) рентгеновской аппаратуры является наличие следующих основных частей:

- переносного (транспортабельного) блок-трансформатора (моноблок) с рентгеновской трубкой;
- переносного пульта управления чемоданного типа;
- комплекса соединительных низковольтных кабелей.

Современную переносную (портативную) рентгеновскую аппаратуру разрабатывают и изготавливают едиными сериями с учетом возможности просвечивания материалов в широком диапазоне толщин. За базу построения такой серии аппаратов принимают анодное напряжение рентгеновской трубки [6].

В зависимости от формы анодного напряжения рентгеновские аппараты делятся на два вида: непрерывного действия и импульсные. В импульсных аппаратах под действием импульса высокого напряжения в рентгеновских трубках с холодным катодом образуется импульс излучения. Эти аппараты, благодаря малым массе и габаритным размерам, обладают повышенной технологической маневренностью, что позволяет использовать их в условиях стапеля и монтажа.

По конструктивному выполнению рентгеновские аппараты делятся на моноблочные и кабельные. В моноблочных аппаратах рентгеновская трубка и высоковольтный трансформатор помещены в одном блоке. Аппараты такого типа предназначены, в первую очередь, для работы в полевых условиях. Существуют также и стационарные моноблочные аппараты.

В аппаратах кабельного типа рентгеновская трубка размещена в защитном кожухе, а высоковольтный трансформатор — в отдельном блоке, от которого высокое напряжение передается к рентгеновской трубке по высоковольтному кабелю. В этих аппаратах (в отличие от моноблочных аппаратов) на трубку подается выпрямленное и сглаженное напряжения. Аппараты кабельного типа предназначены для работы в цеховых и лабораторных условиях [4].

Так как в промежутках между импульсами, которые генерирует импульсный аппарат, излучение отсутствует, то его средняя мощность намного меньше мощности аппарата непрерывного действия. Во время уменьшения длительности импульса необходимо увеличивать ток или напряжение чтобы сохранить мощность. Увеличение тока является более предпочтительным, потому как увеличение анодного напряжения сопровождается изменением спектрального состава излучения и, как следствие, контраста теневой картины.

Импульсные рентгеновские трубки должны генерировать импульсы возможно меньшей длительности, обеспечивать большую энергию излучения в импульсе, иметь малый размер эффективного фокуса для получения резкой теневой картины.

#### 4.2 Рентгеновский аппарат АРИНА-7

Портативный импульсный рентгеновский аппарат АРИНА-7 предназначен для дефектоскопии промышленных изделий, методом радиографического неразрушающего контроля (методом рентгенографии). Рентгеновский аппарат АРИНА-7 применяют в промышленности для

контроля качества сварных швов трубопроводов, металлических сварных конструкций, листовых и профильных изделий, а также отливок и паковок из цветных и черных металлов. Импульсный рентгеновский аппарат Арина-7 является одним из самых мощных приборов в этой серии с рабочим напряжением анода на рентгеновской трубке не менее 250 кВ. Рентгеновский аппарат этой серии представляет собой компактную переносную модель, в которой учтены последние достижения и разработки в области радиографии.

Импульсный аппарат АРИНА-7 состоит из рентгеновского моноблока и ручного пульта управления (рисунок 4), которые соединены между собой кабелем длиной 20 метров, что обеспечивает полную безопасность оператора. Рентгеновский аппарат АРИНА-7 является самым мощным диагностическим комплексом в линейке рентгеновских аппаратов серии АРИНА. Благодаря высокой мощности рентгеновский аппарат АРИНА-7 позволяет контролировать объекты толщиной стали до 80 мм, что дает этому аппарату широкий спектр применения в области радиографии. Кроме этого, рентгеновский аппарат имеет существенно больший ресурс работы по сравнению с аппаратами предыдущей серии. Рентгеновский аппарат Арина-7 работает на принципе взрывной электронной эмиссии в рентгеновской трубке с холодным катодом.



Рисунок 4 – Рентгеновский аппарат Арина-7

Аппарат АРИНА-7 эксплуатируется в соответствии со следующими условиями: УХЛ1 по ГОСТ 15150-69, но для работы при температурах от минус 40 до плюс 50°С, атмосферном давлении 101,3+5,3-25,6 кПа (760+40-200 мм рт. ст.), относительной влажности воздуха до 100% при температуре плюс 25° С и при более низких температурах без конденсации влаги.

Экспозиционная доза рентгеновского излучения на расстоянии (500±20) мм от торца рентгеновского блока в прямом пучке за 1000 имп. не менее 1500 мР. Интервал времени, в течении которого будут набраны 1000 импульсов, соответствует 1,5 минутам при напряжении питания аппарата (220±2) В.

Амплитуда напряжения на рентгеновской трубке 250 кВ.

Диаметр фокусного пятна: 2 мм

Напряжение питания: сеть переменного тока 220В, 50Гц

Аккумуляторная батарея: 24В

Диапазон экспозиций: (7...300) сек

Основные технические характеристики рентгеновского аппарата Арина-7 приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики рентгеновского аппарата Арина-7

Характеристика	Значение
Рабочее напряжение на рентгеновской трубке, кВ	250
Экспозиционная доза рентгеновского излучения на расстоянии (500±20) мм от торца рентгеновского блока в прямом пучке за 1,5 мин. (не менее), мкКл/кг (мР)	258,7 (1000)
Толщина стали, доступная для рентгенографирования с помощью рентгеновских пленок с флуоресцентными усиливающими экранами, мм	80
Толщина стали, доступная для рентгенографирования с помощью высококонтрастных рентгеновских пленок, мм	40

Частота следования импульсов, Гц	10
Напряжение питания	однофазная сеть переменного тока (220±22) В (50±1) Гц, батарея аккумуляторов 24В
Масса и габаритные размеры составных частей, не более	
Рентгеновский блок	
масса, кг	8
длина, мм	520
ширина, мм	140
высота, мм	220
Пульт управления	
масса, кг	6,5
длина, мм	380
ширина, мм	300
высота, мм	90

Фокусное расстояние, тип рентгеновской пленки и усиливающих экранов должны выбираться потребителем, исходя из конкретных требований, предъявляемых к качеству рентгенографического контроля, в соответствии с существующими нормативно-техническими документами.

Для ориентировочного определения требуемого времени экспозиции при просвечивании стали можно пользоваться номограммами.

Ориентировочная номограмма экспозиций рентгеновского аппарата АРИНА-7 представлена на рисунке 8.

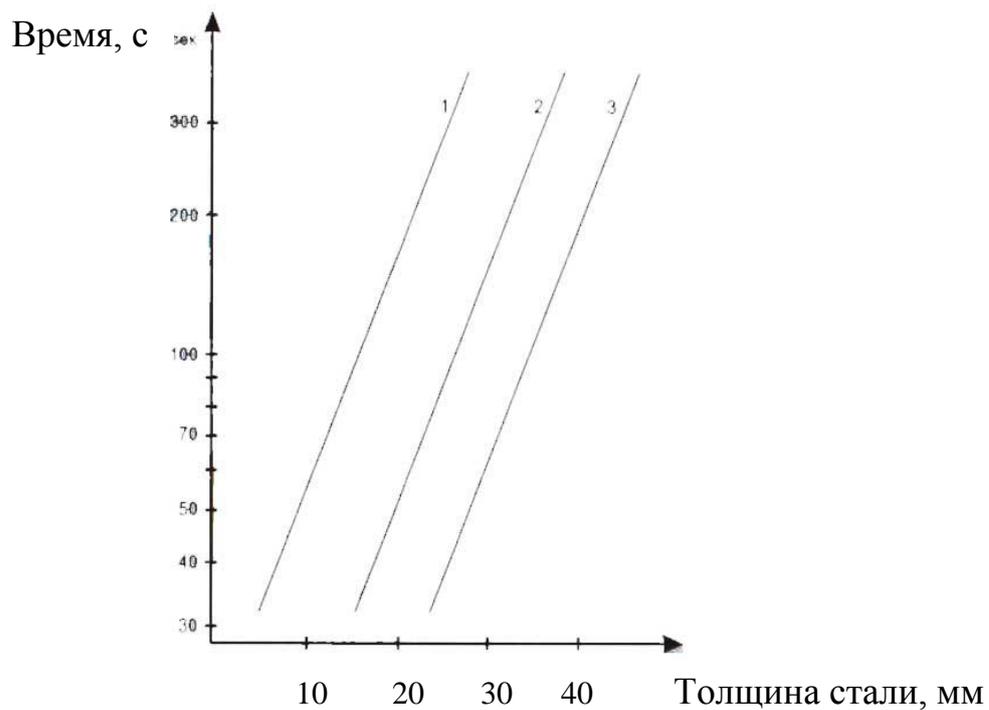


Рисунок 5 – Номограмма экспозиций рентгеновского аппарата АРИНА-7:

1 – D7 со свинцовой фольгой, 2 – D8 с экран RCF,

3 – RT1 и флуоресцентный экран.

## 5 Разработка приспособления для закрепления аппарата Арина-7

### 5.1 Конструкция устройства

Разработанное устройство представляет собой скобу (7), которая крепится к трубе запорным винтом (8). Размер скобы выбран, исходя из диаметра трубы 159 мм, длина запорного винта позволяет крепить прибор на трубы диаметром от 108 мм. На скобе винтами закреплена площадка, к которой приварена штанга (3) с держателем для аппарата Арина-7 (4).

Разработанное устройство позволяет оперативно перемещать и фиксировать излучатель в заданных точках при контроле, регулируя фокусное расстояние при помощи направляющей опоры (2). Для увеличения прочности конструкции к скобе приварено ребро жесткости (11).

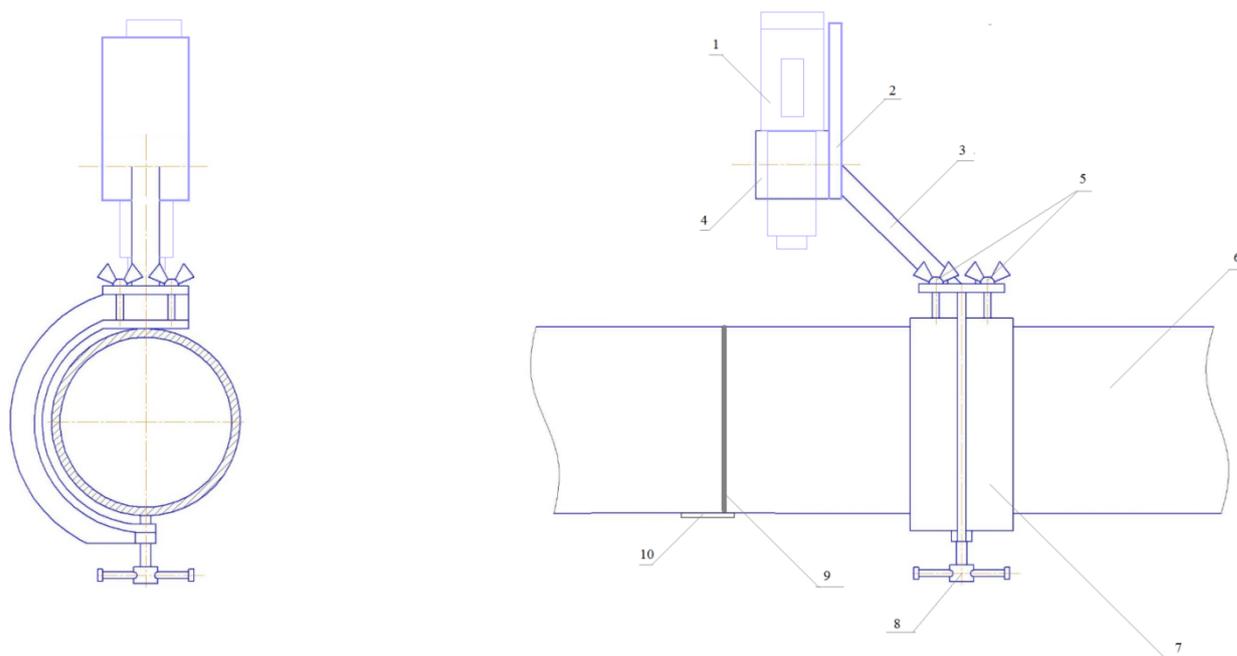


Рисунок 6 – Приспособление для крепления Арина-7 к трубопроводу

- 1 – Арина – 7; 2 – направляющая опора; 3 – штанга;
- 4 – крепление; 5 – регулировочный винт; 6 – труба;
- 7 – скоба; 8 – запорный винт; 9 – сварочный шов;
- 10 – рентгенографическая пленка; 11 – ребро жесткости.

## 5.2 Состав и свойства стали

Для изготовления приспособления применяем сталь СтЗсп. Так как это самая распространенная и доступная сталь. К тому же она обладает всеми требуемыми качествами необходимыми для изготовления.

СтЗсп – это низкоуглеродистая сталь обыкновенного качества, поставляемая по ГОСТ 380-71. Сталь обыкновенного качества поставляется без термообработки в горячекатаном состоянии. Изготовленные из нее конструкции обычно не подвергаются последующей термообработки [1].

Механические свойства и химический состав стали СтЗсп представлены в таблице 2 и таблице 3.

Таблица 2 – Механические свойства стали СтЗсп при температуре  $T = 20\text{ C}^\circ$

Временное сопротивление $\sigma_{\text{в}}$ , МПа	Предел текучести $\sigma_{\text{т}}$ , (МПа) для толщин до 20 мм	Относительное удлинение $\delta_5(\%)$ , для толщин до 20 мм
380 – 490	250	26

Таблица 3 – Химический состав стали СтЗсп

C	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	S	P
0,14 - 0,22	0,12 - 0,3	0,4 - 0,65	до 0,3	до 0,3	до 0,3	до 0.05	до 0.04

Общие технологические свойства:

- свариваемость – без ограничений;
- склонность к отпускной способности – не склонна;
- флокеночувствительность – не чувствительна.

## 5.3 Оценка свариваемости

Свариваемость – свойство металла или сочетания металлов образовывать при установленной технологии сварки соединения,

отвечающие требованиям, обусловленным конструкцией или эксплуатацией изделия.

Свариваемость низкоуглеродистых сталей оценивается как без ограничений.

Воспользуемся методикой определения полного эквивалента углерода [2] для нахождения необходимого подогрева:

$$\Sigma C_s = C_s + C_p, \quad (9)$$

где  $C_s$  – химический эквивалент углерода,

$C_p$  – размерный эквивалент углерода.

Ориентировочным количественным показателем свариваемости стали известного состава является эквивалентное содержание углерода, которое определяется по формуле:

$$C_s = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2}, \quad (10)$$

$$C_s = 0,18 + \frac{0,5}{6} + \frac{0,3}{5} + \frac{0,3}{15} + \frac{0,3}{13} + \frac{0,04}{2} = 0,38,$$

где  $C, Mn, Cr, V, Mo, Ni, Cu, P$  – процентное содержание легирующих элементов в металле шва.

Определим размерный эквивалент углерода:

$$C_p = 0,005 \cdot \delta \cdot C_s = 0,005 \cdot 3 \cdot 0,38 = 0,006,$$

где  $\delta$  – толщина свариваемой стали, мм.

Находим полный эквивалент углерода:

$$\Sigma C_s = C_s + C_p = 0,38 + 0,006 = 0,386.$$

Полный эквивалент углерода  $C_s \leq 0,45$ , следовательно, подогрев не требуется.

## 5.4 Выбор способа сварки

Для изготовления приспособления рассмотрим 2 способа сварки: ручная дуговая сварка покрытыми электродами и механизированная сварка в среде защитных газов проволокой сплошного сечения.

### 5.4.1 Ручная дуговая сварка

В настоящее время дуговая сварка покрытыми электродами является одним из наиболее распространенных методов, которые используются при изготовлении сварных конструкций. Это объясняется простотой и мобильностью применяемого оборудования, возможностью выполнения сварки в различных пространственных положениях и в местах, труднодоступных для механизированных способов сварки.

Схема процесса ручной дуговой сварки покрытыми электродами показана на рисунке 7. Дуга горит между стержнем 9 и основным металлом 1. Под действием теплоты дуги электрод и основной металл расплавляются, образуя сварочную ванну 2. Капли жидкого металла с электродного стержня переносятся в ванну через дуговой промежуток.

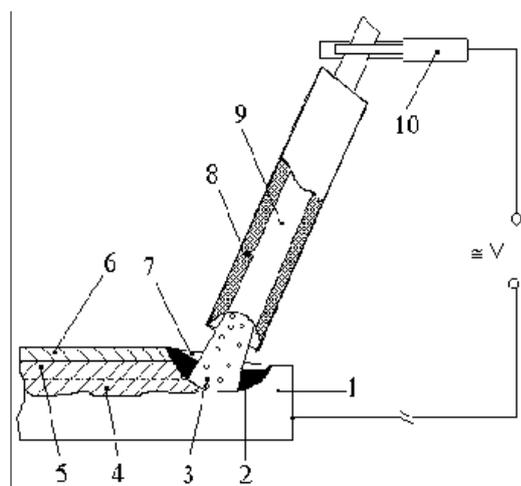


Рисунок 7 – Схема процесса ручной дуговой сварки

Электродное покрытие 8 плавится вместе с металлическим стержнем и образует газовую защиту и жидкую шлаковую пленку 7 на поверхности

расплавленного металла. Так как большая часть теплоты выделяется на торце металлического стержня электрода, на его конце образуется коническая втулка из покрытия, способствующая направленному движению газового потока, что улучшает защиту сварочной ванны. По мере движения дуги сварочная ванна охлаждается, затвердевает и образует сварной шов. Жидкий шлак также затвердевает и образует на поверхности шва твердую шлаковую корку б, удаляемую после сварки [9].

Достоинства:

- а) Простота и доступность;
- б) Возможность сварки в труднодоступных местах и во всех пространственных положениях;
- в) Возможность сварки в монтажных условиях
- г) Большой спектр свариваемых материалов;
- д) Значительный спектр толщин (от двух мм и выше).

Недостатки:

- а) Низкая производительность;
- б) Большой расход материалов на разбрызгивание и огарки;
- в) Самый тяжелый способ по технике исполнения;
- г) Многофакторность качества.
- д) Тяжелые условия труда сварщика.
- е) Резкая структурная и механическая неоднородность металла шва.

#### 5.4.2 Механизированная сварка в среде защитных газов

На технологические свойства дуги в значительной степени влияют физические и химические свойства защитных газов, свариваемого и электродного металлов, параметров сварки и других условий. Это объясняет многообразие способов сварки в защитном газе.

Классификация процесса сварки в защитных газах плавящимся электродом по некоторым признакам приведена далее.

Полуавтоматическая сварка плавящимся электродом производится в инертных газах Ar и He (MIG) и их смесях Ar + He, в активном газе CO<sub>2</sub> (MAG), а также в смесях инертных и активных Ar + O<sub>2</sub>, Ar + CO<sub>2</sub>, Ar + CO + O<sub>2</sub> и активных газов CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>. В качестве электродных проволок применяют сплошные из нелегированных и легированных сталей и цветных металлов (Ni, Си, Mg, Al, Ti, Mo), а также несплошные порошковые и активированные. Сварка плавящимся электродом выполняется в основном на постоянном токе, применяется также и сварка импульсным током. Находят применение и другие способы сварки: на нормальном и увеличенном вылете, со свободным и принудительным формированием шва, без колебаний и с колебаниями электродной проволоки, в атмосфере и под водой, в стандартную и нестандартную узкую щелевую разделку кромок и др. Принцип дуговой сварки плавящимся металлическим электродом в защитном газе показан на рисунке 8.

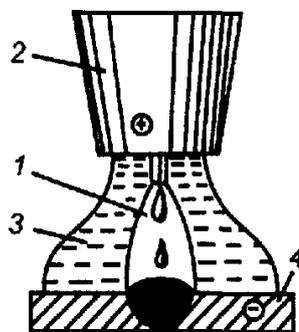


Рисунок 8 – Схема механизированной сварки в защитных газах  
1 – зона дуги; 2 – сопло; 3 – защитный газ; 4 – основной металл.

Основные типы, конструктивные элементы и размеры сварных соединений из сталей, сплавов на железоникелевой и никелевой основах, которые выполняются дуговой сваркой в защитном газе приведены в ГОСТ 14771-76.

Сварка в защитных газах в настоящее время активно применяется в промышленности. Данным способом можно сваривать вручную,

полуавтоматически или автоматически в нескольких пространственных положениях разные металлы и сплавы толщиной от десятых долей до десятков миллиметров.

Сущность данного метода заключается в том, что при сварке в зону дуги через сопло непрерывно подается защитный газ. Теплотой дуги плавится основной металл. В случае, если сварку ведут плавящимся электродом, то расплавляется и электродная проволока. Расплавленный металл сварочной ванны кристаллизуется и образует шов.

Шов образуется из-за расплавления кромок основного металла и присадочного металла, дополнительно вводимого. В качестве защитных газов применяются инертные (аргон и гелий) и активные (углекислый газ, водород, кислород, и азот) газы, а также их смеси.

По сравнению с другими способами сварка в защитных газах обладает рядом преимуществ:

- высокая производительность;
- высокая проплавливающая способность;
- значительный спектр свариваемых материалов;
- сварка во всех пространственных положениях;
- отсутствие на поверхности ванны шлака;
- легкая техника сварки.

К недостаткам способа относятся:

- более сложное сварочное оборудование;
- невозможность использования данного метода в условиях монтажа из-за сквозняка, ветра, дождя;
- при определенных режимах сварки возникают сложности с удалением брызг расплавленного металла.

## 5.5 Выбор сварочных материалов

Сварочными или присадочными, называют материалы, обеспечивающие возможность протекания сварочных процессов и получения качественного соединения основного металла [10].

Выбор сварочных материалов проводим исходя из следующих условий:

- возможность осуществления сварки в тех пространственных положениях, в которых будут, находится изделие во время сварки;
- получение плотных беспористых швов;
- получение металла шва, обладающего высокой технологической прочностью, т.е. не склонного к образованию горячих трещин;
- получение металла шва, имеющего требуемую эксплуатационную прочность;
- низкая токсичность;
- экономическая эффективность.

### 5.5.1 Материалы для ручной дуговой сварки

Рядовые и ответственные конструкции из низкоуглеродистых сталей сваривают электродами типа Э42 и Э46: ОММ-5, АНО-3, АНО-4, АНО-5, АНО-6, ЦМ-7, ОК 46.00, ОК 53.70 ОЗС-3, ОЗС-4, ОЗС-6, СМ-5, МР-1, МР-3, РБУ-4, РБУ-5, ЭРС-1, ЭРС-2, КПЗ-32Р [2, с.223].

Выбираем электроды марки ОК 46.00.

Технические характеристики электродов сварочных ОК-46:

- классификация: электрод плавящийся;
- вид покрытия: рутиловое.

Это электрод универсального применения. Обеспечивает хорошие свойства шва. Поджигается легко, в том числе и при повторном поджигании. Идеально подходят для швов корневых и коротких, а также для прихваток. Сварка с помощью электродов этого вида отличается сниженным

тепловложением, что делает его более привлекательным для заварки широких зазоров, тем более при монтаже.

К этому виду электродов относятся и электроды с покрытием ильменитовым. Они располагаются между электродами с рутиловыми и кислыми. Ильменитовый концентрат входит в их покрытие, и является основным компонентом. Этот концентрат представляет собой природное соединение диоксидов железа и титана.

Широкое применение получил для сварки листов с гальваническим покрытием. К ржавчине и поверхностным загрязнениям не чувствителен. Его можно использовать и для сварки низкоуглеродистых сталей.

Виды тока:

- а) постоянный ток разной полярности;
- б) переменный ток с напряжением холостого хода не менее 50 В (в трансформаторе).

Каждому электроду определенного диаметра соответствует определенная сила тока. Для сварки разработанного приспособления выбираем электроды ОК 46.00 Ø 2,5 мм.

Таблица 4 – Характеристики электродов

Диаметр, мм	Сила тока, А	Длина, мм	Количество электродов в 1 кг, шт
	Нижнее		
2,5	40-80	300	50

Наплавленный металл состоит из таких химических элементов:

- углерод (С) – масса  $\geq 0,08\%$ ;
- кремний (Si) – масса  $\geq 0,3\%$ ;
- марганец (Mn) – масса  $\geq 0,4\%$ ;
- сера (S) – масса  $\geq 0,03\%$ ;
- фосфор (P) – масса  $\geq 0,03\%$ .

Таблица 5 - Минимальные механические характеристики металла шва

Удлинение относительное, %	28
Вязкость ударная, Дж\см <sup>2</sup>	140
Температура испытаний,%	+20 °С
Сопротивление разрыву, Н\мм <sup>2</sup>	510
Угол сгиба сварного соединения	150 °С
KCV>34 Дж/см <sup>2</sup> при температуре	-20 °С
Выход металла направленного, %	96,0
Затраты электродов на килограмм наплавленного металла, кг	1,7
Коэффициент наплавки, г/А×ч	8,5

Сварка проводится электродами ОК 46.00 диаметром 2,5 мм в нижнем положении на постоянном токе.

### 5.5.2 Материалы для механизированной сварки

Основной особенностью полуавтоматической сварки в углекислом газе является использование электродных проволок с повышенным содержанием элементов раскислителей, компенсирующих их выгорание в зоне сварки (таких как Mn и Cr). Согласно рекомендации [3, с.107], чаще всего для сварки низкоуглеродистых сталей используют проволоки Св-08Г2, Св-08ГС и Св-08Г2С. Выбираем сварочную проволоку Св-08ГС, т.к. в ней оптимальное соотношение кремния и марганца, а также из экономических соображений.

Химический состав проволоки Св-08ГС и механические свойства металла шва, представлены в таблице 6 и таблице 7 соответственно.

Таблица 6 – Химический состав сварочной проволоки Св-08ГС по ГОСТ 2246-70 [15]

C,%	Cr,%	Si,%	Mn,%	Ni,%	S,%	P,%
Не более 0,1	0,2	0,6-0,85	1,4-1,7	0,25	0,025	0,03

Таблица 7 – Механические свойства металла шва

Марка	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\psi$ , %
Св-08ГС	300	500	22	50

Принимаем в качестве защитного газа углекислый газ ( $CO_2$ ), так как это самый распространенный и дешевый газ. Помимо углекислого газа (в редких случаях), в качестве защитной среды, могут применяться инертные (гелий, неон, аргон, криптон, ксенон и радон) и активные газы (водород, кислород, углекислый газ), а также смеси газов, такие как  $Ar + CO_2(25\%)$ ,  $Ar + CO_2(25\%) + O_2(5\%)$  и др.

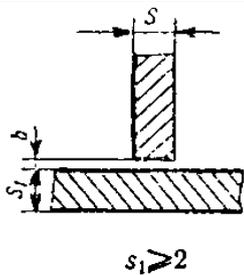
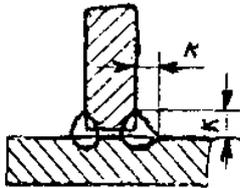
Углекислый газ (двуокись углерода) – не ядовит, бесцветен, имеет едва ощутимый запах. Молекулярный вес 44. При давлении 760 мм рт. ст. и температуре  $0^\circ C$  плотность углекислого газа по отношению к воздуху составляет 1,5, а удельный вес 1,97686 г/л. Углекислый газ хорошо растворяется в воде. Жидкая углекислота — бесцветная жидкость. При нормальных условиях ( $0^\circ C$  и 760 мм рт. ст.) при испарении 1 кг жидкой углекислоты образуется 509 л газа. Растворимость воды в углекислоте невелика, не более 0,05%. Производится углекислый газ и в твердом виде, так называемый сухой лед.

## 5.6 Расчет режимов

### 5.6.1 Для ручной дуговой сварки покрытыми электродами

При изготовлении приспособления применяются тавровые и угловые сварные соединения. Типы соединений и конструктивные размеры швов выполняются по ГОСТ 5264-80 [34].

Таблица 8 – Конструктивные элементы сварного соединения

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		b	
	Подготовка кромок сварных деталей	Шва сварного соединения	Номин., мм	Предел. отклонение, мм
T3			0	+1

Режимом сварки называют совокупность основных характеристик сварочного процесса, обеспечивающих получение сварных швов заданных размеров, формы и качества. При РДС это диаметр электрода, сила сварочного тока, напряжение дуги, площадь поперечного сечения шва, выполняемого за один проход дуги, число проходов, род тока, полярность.

В соответствии с ГОСТ 5264-80 [34] для таврового соединения с толщиной стенки 3 мм, катет шва должен составлять 3 мм.

Для определения числа проходов при сварке угловых тавровых и нахлесточных соединений общая площадь поперечного сечения наплавленного вычисляется по формуле:

$$F = \frac{K_y \cdot K^2}{2}, \quad (11)$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения наплавленного металла, мм;

$K$  – катет шва, мм;

$K_y$  – коэффициент, учитывающий усилие шва выбирают в зависимости от катета шва [5]:  $K_y=1,25$ .

Подставим значения в формулу (11), получаем:

$$F = \frac{1,25 \cdot 3^2}{2} = 6 \text{ мм}^2.$$

Исходя из рекомендаций [4], осуществляем сварку за один проход.

Сила сварочного тока при ручной дуговой сварке определяется в зависимости от диаметра электрода и допускаемой плотности тока:

$$I_{св} = \frac{\pi \cdot d_э^2}{4} \cdot j, \quad (12)$$

где  $d_э$  – диаметр электрода мм;

$j$  – допускаемая плотность тока А/мм<sup>2</sup> [5].

Подставим все известные значения в формулу (12), получаем:

$$I_{св} = \frac{3,14 \cdot 2,5^2}{4} \cdot 16 = 79 \text{ А},$$

Принимаем  $I_{св} = 80 \text{ А}$ .

Напряжение дуги:

$$U_д = 20 + 0,04 \cdot I_{св} = 20 + 0,04 \cdot 79 = 23 \text{ В}. \quad (13)$$

Скорость сварки:

$$V_{св} = \frac{\alpha_n \cdot I_{св}}{3600 \cdot \gamma \cdot F_n}, \quad (14)$$

где  $\alpha_n$  – коэффициент наплавки выбранных электродов, (г/А×ч);

$\gamma$  – плотность наплавленного металла равная 7,8 г/см<sup>3</sup>;

$F$  – площадь поперечного сечения наплавленного металла, см<sup>2</sup>;

$I_{св}$  – сила сварочного тока, А.

Тогда используя формулу (14) найдем скорость сварки:

$$V_{св} = \frac{12 \cdot 80}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,06} = 0,56 \text{ см/с} = 21 \text{ м/ч.}$$

Погонная энергия:

$$q_n = \frac{I_{св} \cdot U_d \cdot \eta_u}{V_{св}}, \quad (15)$$

где  $I_{св}$  – сила сварочного тока, А;

$U_d$  – напряжение дуги, В;

$V_{св}$  – скорость сварки;

$\eta_u = 0,75-0,85$  – эффективный КПД для дуговых методов.

Тогда используя формулу (15) найдем значение погонной энергии для 1 прохода:

$$q_n = \frac{80 \cdot 23 \cdot 0,8}{0,56} = 2630 \text{ кДж/см}.$$

Определим глубину проплавления.

Максимальную температуру на расстоянии  $r$  рассчитывают по формуле:

$$T_{\max} = \frac{2 \cdot 0,368 \cdot q}{\pi \cdot V \cdot c\rho \cdot r_0^2}, \quad (16)$$

где  $q$  – эффективная тепловая мощность источника, Вт;

$V$  – скорость сварки, см/с;

$c\rho = 4,9 \text{ Дж/см}^3 \cdot \text{град}$  – объемная теплоемкость;

$r_0$  – расстояние до изотермы плавления  $T_{пл}$ .

Эффективная тепловая мощность находится по формуле:

$$q = I_{св} \cdot U_d \cdot \eta_u = 80 \cdot 23 \cdot 0,8 = 1472 \text{ Вт}. \quad (17)$$

Тогда выразив из формулы (16) расстояние  $r$  находим его значение:

$$r = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,368 \cdot q}{\pi \cdot V \cdot c\rho \cdot T_{пл}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,368 \cdot 1472}{3,14 \cdot 0,56 \cdot 4,7 \cdot 1500}} = 0,3 \text{ см}.$$

При ручной дуговой сварке глубина провара находится по формуле (принимая  $H_{np} = 0,2$  см):

$$H_{np} = (0,5 - 0,7) \cdot r = (0,5 - 0,7) \cdot 0,3 = 0,15 - 0,21 \text{ см}.$$

Можно сделать допущение, что фактическая форма провара представляет собой полуэллипс.

Площадь полуэллипса может быть определена по формуле:

$$F_{ш} = \frac{\pi \cdot a \cdot b}{2}, \quad (18)$$

где  $a, b$  – полуоси эллипса.

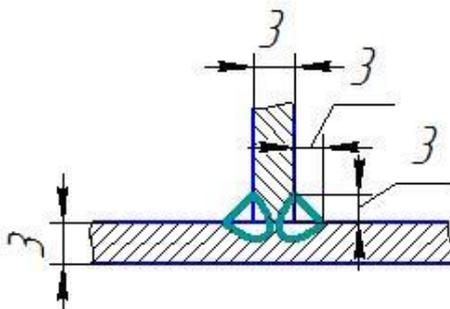


Рисунок 9 – Геометрические параметры шва

Тогда общая площадь шва равна согласно формуле (18) будет равна:

$$F_{ш} = \frac{3,14 \cdot 2,12 \cdot 4,12}{2} = 13,7 \text{ мм}^2.$$

Площадь проплавления находится по формуле:

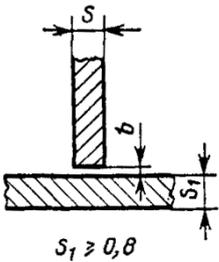
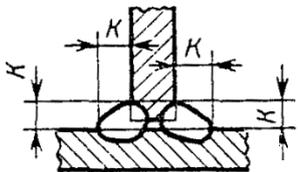
$$F_{np} = F_{ш} - F_{н} = 13,7 - 6 = 7,7 \text{ мм}^2. \quad (19)$$

### 5.6.2 Для механизированной сварки в защитном газе

К основным параметрам режима механизированной дуговой в защитных газах плавящимся электродом, определяемых расчётом, относятся: сварочный ток, напряжение на дуге, скорость сварки, диаметр и скорость

подачи электродной проволоки. Основные параметры: защитная среда (газовая, шлаковая, газшлаковая), род тока, полярность устанавливают, исходя из условий сварки конкретного изделия.

Таблица 9 – Конструктивные элементы сварного соединения по ГОСТ 14771-76

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		Способ сварки	s	b	
	подготовленных кромок свариваемых деталей	шва сварного соединения			Номин.	Пред. откл.
T3			ИНп, ИП, УП	0,8 – 3	0	+ 0,5

Зная катет шва определяют площадь поперечного сечения наплавленного металла по формуле:

$$F_n = \frac{k^2}{2} = \frac{3^2}{2} = 4,5 \text{ мм}^2, \quad (20)$$

где  $k$  – катет углового шва.

Силу сварочного тока  $I_{св}$  рассчитаем по формуле (6) (принимая  $I_{св} = 230 \text{ А}$ ):

$$I_{св} = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} \cdot 200 = 226 \text{ А},$$

Определяем оптимальное напряжение дуги (принимая напряжение  $U_0 = 27 \text{ В}$ ):

$$U_{\partial} = 17 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_3}} \cdot I_{cв} \pm 1 = 17 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1,2}} \cdot 230 \pm 1 = 27 \pm 1 \text{ В.} \quad (21)$$

Определим коэффициент формы провара:

$$\psi_{np} = K' \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{cв}) \cdot \frac{d_3 \cdot U_{\partial}}{I_{cв}} = 0,92 \cdot (19 - 0,01 \cdot 230) \cdot \frac{1,2 \cdot 27}{230} = 2,1. \quad (22)$$

Для механизированной сварки значения  $\psi_{np}$  должны составлять 0,8...4,0, в нашем случае, значение коэффициента находится в данном интервале, следовательно, режимы подобраны верно.

Определим скорость сварки по формуле:

$$V_{cв} = \frac{\alpha_n \cdot I_{cв}}{3600 \cdot \gamma \cdot F_n}, \quad (23)$$

где  $\alpha_n$  – коэффициент наплавки.

Для определения коэффициента наплавки  $\alpha_n$  при механизированных способах сварки в среде Ar воспользуемся следующей формулой:

$$\alpha_n = \alpha_p \cdot (1 - \psi), \quad (24)$$

где  $\psi$  – коэффициент потерь, который определяется по формуле:

$$\psi_n = -4,72 + 17,6 \cdot 10^{-2} \cdot j - 4,48 \cdot 10^{-4} \cdot j^2. \quad (25)$$

Подставим известные значения плотности тока  $j$  в формулу (25), получим:

$$\psi_n = -4,72 + 17,6 \cdot 10^{-2} \cdot 200 - 4,48 \cdot 10^{-4} \cdot 200^2 = 12,56 \text{ \%}.$$

Для того чтобы определить коэффициент наплавки нам необходимо рассчитать коэффициент расплавления  $\alpha_p$  по формуле:

$$\alpha_p = 9,05 + 3,1 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{I_{cв}} \cdot \frac{l_6}{d_3^2} = 9,05 + 3,1 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{230} \cdot \frac{1,5}{0,12^2} = 13,95 \text{ з/А.ч.} \quad (26)$$

Величину вылета электрода  $l$  принимаем 1,5 см, согласно рекомендации [4].

Тогда коэффициента наплавки  $\alpha_n$  согласно формуле (24):

$$\alpha_n = 13,95 \cdot (1 - 0,1256) = 12,2 \text{ } \frac{\text{г}}{\text{А} \cdot \text{ч}}.$$

Скорость сварки по формуле (23) получаем:

$$V_{св} = \frac{12,2 \cdot 230}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,045} \approx 2,22 \text{ см/с} = 80 \text{ м/ч}.$$

Определяем скорость подачи электродной проволоки по формуле:

$$V_{пэл} = \frac{\alpha_p \cdot I_{св}}{3600 \cdot \gamma \cdot F_{эл}} = \frac{13,95 \cdot 230}{3600 \cdot 7,9 \cdot 1,13 \cdot 10^{-2}} \approx 10 \text{ см/с} = 360 \text{ м/ч}, \quad (27)$$

где  $F_{эл}$  – площадь поперечного сечения электрода, см<sup>2</sup>;

$\gamma$  – плотность электродного металла, г/см<sup>3</sup>.

Для проверки правильности расчётов определяют глубину проплавления, подставив полученные значения параметров режима в формулу:

$$H = 0,0076 \cdot \sqrt{\frac{q_n}{\Psi_{пр}}} = 0,0076 \cdot \sqrt{\frac{9425}{2,1}} = 0,5, \quad (28)$$

где  $q_n$  – погонная энергия сварочной дуги, Вт;

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

Зная глубину провара и коэффициент формы провара, определяем ширину провара:

$$e = \psi_{пр} \cdot H = 2,1 \cdot 0,5 = 1,05 \text{ см}. \quad (29)$$

Высота валика:

$$q = \frac{F_n}{0,73 \cdot e}, \quad (30)$$

где  $e$  – ширина валика.

Тогда подставив значения в формулу (30) найдем:

$$q = \frac{4,5}{0,73 \cdot 10,5} = 0,6 \text{ мм} .$$

Общая высота шва:

$$C = H + q = 3 + 0,6 = 3,6 \text{ мм} . \quad (31)$$

где  $H$  – глубина провара при сварке стыкового соединения без скоса кромок.

Полагая, что при сварке на принятом режиме с разделкой общая высота шва  $C$  остается неизменной, можно определить  $H_0'$ :

$$H_0' = C - q' , \quad (32)$$

где  $H_0'$  – глубина провара при сварке таврового соединения;

$q'$  – высота заполнения разделки одним проходом при отсутствии зазора, находится по следующей формуле:

$$q' = \sqrt{Fn} = \sqrt{4,5} = 2,1 \text{ мм} . \quad (33)$$

Тогда подставив значения в формулу (32) найдем:

$$H_0' = 3,6 - 2,1 = 1,5 \text{ мм} .$$

Величина проплавления вертикальной стенки:

$$S_g = (0,8 - 1) \cdot H_0' = (0,8 - 1) \cdot 0,15 = 0,12 - 0,15 \text{ см} . \quad (34)$$

## 5.7 Выбор источника питания

Источник питания сварочной дуги должен отвечать следующим требованиям:

– обеспечивать необходимую для данного технологического процесса силу тока дуги и напряжение дуги;

- иметь необходимый вид внешней характеристики, чтобы выполнять условия стабильного горения дуги;
- иметь такие динамические параметры, чтобы можно было обеспечить нормальное возбуждение дуги и минимальный коэффициент разбрызгивания [9].

#### 5.7.1 Выбор источника питания для ручной дуговой сварки

Сварочный инвертор FUBAG IN 190 предназначен для высококачественной сварки низко- и среднеуглеродистых сталей, низколегированных нержавеющей сталей и чугуна. Однофазные сварочные инверторы постоянного тока серии IN специально разработаны для периодических работ в строительстве, монтажных и ремонтных работ различной степени сложности. Благодаря уникально малой массе и габаритам они успешно применяются для работ в труднодоступных местах. Инвертор IN 190 с диапазоном сварочного тока в режиме MMA 10-160 А и 10-190 А в режиме TIG обладает исключительной динамикой сварочной дуги. Главным отличием этого инвертора от других аппаратов линейки IN является встроенный блок коррекции мощности (PFC), который нивелирует колебания входного напряжения, что позволяет работать в диапазоне сетевого напряжения от 180 до 250В и включать аппарат через обычную вилку 16А/220В даже при интенсивном режиме эксплуатации. IN 190 может работать от длинного сетевого шнура, что особенно удобно на стройке с частыми перепадами напряжения. Аппарат оснащен специальным вентиляционным туннелем для удаления пыли, что позволяет избежать проблем во время работы в запыленных помещениях [9].



Рисунок 10 – Сварочный инвертор FUBAG IN 190

Отличительные функции:

- малые габариты и вес;
- небольшое энергопотребление;
- электроды с основным и рутиловым покрытием, для сварки нержавеющей стали, чугуна и т.д.;
- высокая стабильность сварочного тока при колебании напряжения в сети;
- стабильная дуга, функции регулирования силы дуги «Arc Force», «горячего старта» и защита от прилипания электрода;
- термозащита;
- защита от перегрузок, повышенного и пониженного напряжения;
- регулируемая функция HOT-START в соответствии с типом используемого электрода;
- возможность MMA и TIG LIFT ARC сварки (аргонодуговой сварки с облегченным контактным поджигом дуги (LIFT));
- микропроцессорное управление и цифровая индикация параметров сварки на передней панели аппарата позволяют эффективно отслеживать характеристики сварочного процесса;
- класс защиты IP 23 позволяет использовать аппарат на открытом воздухе.

Таблица 10 – Технические характеристики

Характеристика	Значение
Напряжение питающей сети, В	220
Частота питающей сети, Гц	50/60
Предохранитель, А	16
Диапазон регулирования сварочного тока MMA, А	10-160
Диапазон регулирования сварочного тока TIG, А	10-190
ПВ, %	85
Напряжение холостого хода, В	72
Диаметр электрода, мм	1,6-4,0
Степень защиты	IP23
Габаритные размеры, мм	460x200x370
Вес, кг	7,9
Цена	13000

#### 5.7.2 Выбор источника питания для механизированной сварки в среде защитных газов

Для механизированной сварки широкое применение находит промышленный сварочный полуавтомат Сварог MIG 350 (J1601) с выносным 4-х роликовым проволокоподающим механизмом под кассету 15 кг. Инверторный сварочный аппарат, предназначенный для полуавтоматической сварки в среде защитного газа (MIG / MAG).

Аппарат построен на базе IGBT транзисторов нового поколения по современной инверторной схеме. Данная технология позволяет получать максимальную мощность и длительное включение аппарата при его минимальных размерах и массе. Аппарат имеет дополнительные функции такие как прогон проволоки, дожигание сварочной проволоки и пр. позволяющие более комфортно качественно и безопасно работать на нем.

Практичный и мобильный сварочный полуавтомат MIG 350 изготавливается в декомпактном исполнении, в корпусе с выносным 4-х роликовым подающим устройством. Электронная схема управления включает в себя уникальную систему контроля сварочных динамических характеристик; обеспечивает стабильность горения дуги, низкий уровень разбрызгивания металла, прекрасную форму шва, высокую эффективность сварки. Компоновка аппарата позволяет увеличивать радиус его действия не передвигая источник питания, выносная ось катушки позволяет применять сварочную проволоку в евро катушках до 15.

Особенности:

- мягкий старт;
- функция 2/4 такта;
- цифровая индикация параметров;
- надежный 4-х роликовый подающий механизм;
- плавная регулировка сварочного тока и напряжения;
- холостая протяжка проволоки, продувка газа;
- дожигание сварочной проволоки;
- замкнутая система обратной связи;
- встроенный блок стабилизации напряжения;
- размер и вес, экономичный и практичный;
- надежность в работе, удобство в эксплуатации и сервисном обслуживании.

Таблица 11 – Технические характеристики

Характеристика	Значение
Напряжение питающей сети, В	380±15%
Потребляемая мощность, кВА	14
Диапазон регулирования сварочного тока в среде защитных газов, А	50–350

Характеристика	Значение
Частота питающей сети, Гц	50/60
Диапазон рабочего напряжения, В	15-36
Номинальное напряжение, В	27
Скорость подачи проволоки, м/мин.	1,5–18
Диаметр сварочной проволоки, мм	1,0–1,2
Расположение подающего устройства / катушки	выносное / снаружи
Рекомендуемый минимальный ток предохранителя, А	40
ПВ, %	60
КПД, %	85
Коэффициент мощности	0,93
Класс изоляции	F
Степень защиты	IP21
Вес, кг	29
Габаритные размеры, мм	570×285×470
Цена, руб	171000

В данном разделе выполняется технико-экономическое обоснование принимаемых инженерных решений. К таким решениям относится обоснование выбора рационального процесса сварки изделия из двух сравниваемых вариантов: ручная дуговая сварка покрытыми электродами и механизированная сварка в среде защитных газов сплошной проволокой.

### 6.1 Исходные данные для проведения сравнительного анализа

Основные параметры сварных швов, а также общая протяженность швов стыков специального трубопровода определялись по рисунку 11.

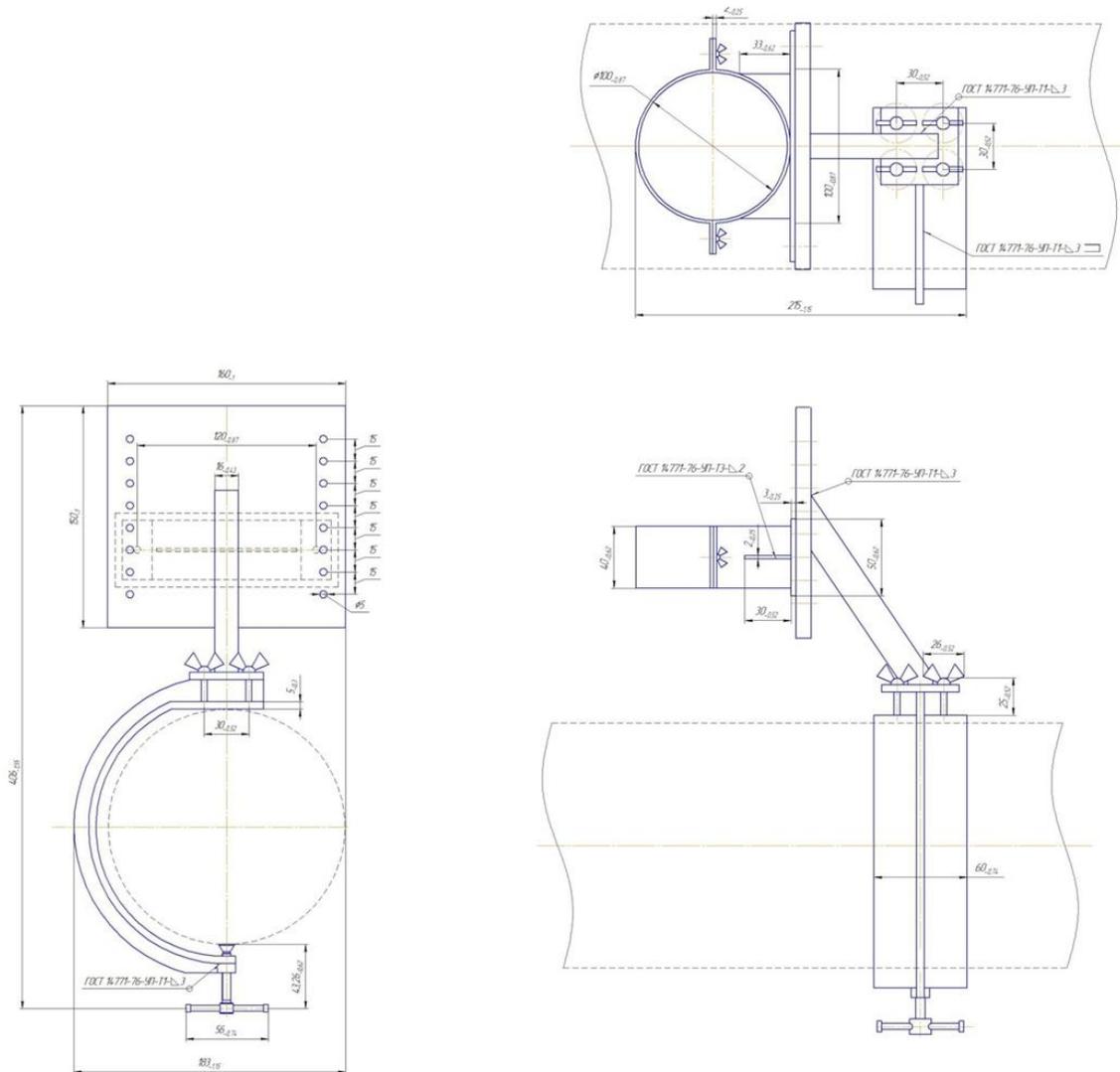


Рисунок 11 – Конструкция приспособления

Так как данная конструкции собирается в цеху, а потом в собранном виде отправляется к месту эксплуатации необходимо принимать во внимание что собираются 4 стыка. Общая протяженность, количество проходов и площади поперечного сечения всех швов представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Типы соединений и протяженность швов для каждого способа сварки

№	Тип соединения	F <sub>н</sub> , мм <sup>2</sup>	Количество проходов	Суммарная длина швов, м
1	ГОСТ 5264-80-ТЗ-□ 3	6	1	1
2	ГОСТ 14771-76-УП-ТЗ-□ 3	4,5	1	1

## 6.2 Достоинства и недостатки сравниваемых процессов производства

Для наглядности приведем достоинства и недостатки рассматриваемых способов сварки (таблица 13).

Таблица 13 – Достоинства и недостатки двух способов сварки

Ручная дуговая сварка покрытым электродом	Сварка в среде защитных газов проволокой сплошного сечения
Преимущества способа:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– простота процесса и оборудования;</li> <li>– возможность сварки в труднодоступных местах и на монтаже;</li> <li>– большой спектр свариваемых материалов;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– высокая производительность (примерно в 2,5 раза выше, чем при ручной дуговой сварке покрытыми электродами);</li> <li>– простота механизации и автоматизации;</li> <li>– возможность сварки в различных пространственных положениях;</li> </ul>

Ручная дуговая сварка покрытым электродом	Сварка в среде защитных газов проволокой сплошного сечения
<ul style="list-style-type: none"> <li>– спектр свариваемых толщин от 2 мм.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– небольшая зона термического влияния и относительно малые деформации изделий в связи с высокой степенью концентрации дуги;</li> <li>– высокое качество защиты, отсутствие необходимости применения зачистки швов при многослойной сварке;</li> <li>– доступность наблюдения за процессом сварки; возможность сварки металла различной толщины (от десятых долей миллиметра до десятков миллиметров).</li> </ul>
Недостатки способа:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– невысокая производительность;</li> <li>– большие расходы материалов на огарки и разбрызгивание;</li> <li>– самый тяжелый способ по технике исполнения;</li> <li>– многофакторность качества.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– открытая дуга, что повышает опасность поражения зрения световым излучением,</li> <li>– необходимость защиты зоны сварки от сквозняков (при струйной защите), что затрудняет применение этого вида сварки в монтажных условиях на открытом воздухе.</li> </ul>

### 6.3 Сварочные материалы

В качестве сварочных материалов используются электроды для ручной дуговой сварки, а для сварки в среде защитных газов: сварочную проволоку и защитный газ. Выбор марок осуществлялся в п.3.1 и 3.2. Приведем сводную таблицу материалов и их стоимости (таблица 14). Цены взяты по состоянию на 2016 г., на сайтах компаний производителей.

Таблица 14 – Сварочные материалы

	Ручная дуговая сварка	Автоматическая сварка в защитном газе	Цена, руб/кг (руб/л)
Электроды	ОК-46.00 Ø3 мм	-	135
Сварочная проволока	-	Св-08ГС 1,2 мм	280
Защитный газ	-	Углекислый газ	0,033

#### 6.4 Режимы сварки

Режимы ручной дуговой сварки взяты по рекомендациям литературы [4], а для сварки в среде защитных газов были рассчитаны в разделе п.б. Основные режимы сварки приведены в таблицах 15 и 16.

Таблица 15 – Режимы РД сварки для используемых типов соединений

Тип соединения	$F_n$ , мм <sup>2</sup>	Режимы сварки			
		$I_{св}$ , А	$U_0$ , В	$V_{св}$ , м/ч	$\alpha_n$ , г/А*ч
ГОСТ 5264-80-Т3-□ 3	6	80	23	21	12

Таблица 16 – Режимы механизированной сварки в углекислом газе для используемых типов соединений

Тип соединения	$F_n$ , мм <sup>2</sup>	Режимы сварки				
		$I_{св}$ , А	$U_0$ , В	$V_{св}$ , м/ч	$V_{нэл}$ , м/ч	$\alpha_n$ , г/А*ч
ГОСТ 14771-76-УП-Т3-□ 3	4,5	230	27	80	360	12,2

## 6.5 Обоснование выбора оборудования и приспособлений

Оборудование для ручной дуговой сварки рассматривается, а выбор оборудования для сварки в защитных газах производился в п.8. Перечень необходимого оборудования для каждого способа сварки представлен в таблице 17 и 18.

Таблица 17 – Оборудование, используемое для ручной дуговой сварки

Наименование	Кол-во	Цена, руб
FUBAG IN 190	1	20775
Клемма заземления КЗ–31, 315А	1	150
Маска электросварочная (с наголовником) стеклопластиковая отечественная	1	1000
Электрододержатель 400А (ЭД–40М)	1	300
Балластный реостат РБ-301У2	1	3000
Кабель КГ–50 5м	1	1850
Итого		27075

Таблица 18 – Оборудование сварки в среде защитных газов

Наименование	Кол-во	Цена, руб
Сварог MIG 350 (J1601)	1	90500
Маска электросварочная (с наголовником) стеклопластиковая отечественная	1	1000
Кабель силовой КГ-200	1	3000
Баллон с углекислым газом	1	7000
Рукав резиновый диаметром 9,0 мм (3 кл.)	1	600
Регулятор расхода газа У-30П-2(с подогревателем)	1	2200
Приспособление для сварки	1	100000
Итого		204300

## 6.6 Нормирование технологического процесса

В данном разделе производится экономическая оценка двух сравниваемых способов сварки (сварки в среде защитных газов и ручной дуговой сварки покрытыми электродами) при сборки и сварки приспособления для аппарата Арина-7.

Определение норм времени для ручной дуговой сварки [30] и сварки в среде защитных газов.

Таблица 19 – Основное время для сварки в среде защитных газов и ручной дуговой сварки (на один стык)

Исходные данные и расчетная формула	Сравниваемые процессы		Изменение мин/пог.м
	РДС	Сварка в $CO_2$	
Скорость сварки $V_{ce}$ , м/ч			
1 проход	4,8	10,2	
2 проход	4,9	5,4	
Расчетная формула $t_0 = \frac{60}{V_{ce}}$	$t_0 = \frac{60}{4,8} + \frac{60}{4,9} = 25$	$t_0 = \frac{60}{10,2} + \frac{60}{5,4} = 17$	+8

Определение основного время на сварку показало, что при сварке в  $CO_2$  основное время меньше чем при обычной РДС, это достигается тем, что ток сварки при автоматической сварке выше.

Необходимые данные для расчета значений времени  $t_{e.ш}$ ,  $t_{e.уз}$ , а также коэффициента  $k_{ог}$  получены из [30].

Таблица 20 – Вспомогательное время, связанное со сваркой шва

Элементы работы	Сравниваемые процессы		Изменение мин/пог.м
	РДС	Сварка в $CO_2$	
Очистка перед сваркой, свариваемых кромок от налета ржавчины и осмотр	0,4	0,5	—
Зачистка околошовной зоны от брызг наплавленного металла	0,4	0,2	—
Откусывание огарков проволоки	-	0,1	—
Установка и смена электродов, мин	0,39		
Осмотр и промер шва	0,3	0,3	—
Удаление остатка проволоки из головки полуавтомата. Смена кассеты. Подача проволоки в головку.	-	0,25	—
Всего	1,49	1,35	+0,14

Таблица 21 – Вспомогательное время, связанное с изделием и работой оборудования

Элементы работы	Сравниваемые процессы	
	РДС	сварка в $CO_2$
Время на установку, мин	7,4	3,7
Снятие и транспортировка, мин	6,4	3,2
Перемещение сварщика, мин	0,2	0,2
Клеймение шва, мин	0,21	0,21
Всего	14,21	7,31

Таблица 22 – Подготовительно-заключительное время для сварки в среде CO<sub>2</sub> и РД сварки

№ п/п	Содержание работы	Вид сварки	Сложность работы	
			простая	сложная
Время на партию, мин				
1	Получение производственного задания, документации, инструктажа мастера, получение инструмента	автоматическая	4,0	6,0
2	Ознакомление с работой	автоматическая	3,0	5,0
		ручная	2,0	4,0
3	Подготовка к работе баллона с газом, подключение и продувка шлангов	автоматическая	4,0	4,0
4	Установка, настройка и проверка режимов сварки	автоматическая	3,0	3,0
		ручная	1,0	1,0
5	Подготовка рабочего места и приспособление к работе	автоматическая	4,0	7,0
		ручная	2,0	4,0
6	Сдача работы	автоматическая	2,0	3,0
		ручная	2,0	3,0

Для CO<sub>2</sub>:

$$t_{н.з} = 4 + 3 + 4 + 3 + 4 + 2 = 20 \text{ мин.}$$

Для РДС:

$$t_{н.з} = 4 + 2 + 0 + 1 + 2 + 2 = 11 \text{ мин.}$$

Таблица 23 – Определим штучное время

Исходные данные и расчетная формула	Сравниваемые процессы		Изменение $\frac{\text{мин}}{\text{изделие}}$
	РДС	сварка в $CO_2$	
$t_o$ – основное время на сварку, мин/м	25	17	-
$t_{\text{всп}}$ – вспомогательное время, связанное со свариваемым швом на 1 пог. м шва, мин	1,49	1,35	-
$l$ – длина шва (общая - 4 стыка)	5,1	5,1	–
$t_{\text{виз}}$ – вспомогательное время, связанное со свариваемым изделием, мин	14,21	7,31	–
$K_{\text{об}}$ – коэффициент, учитывающий затраты времени на обслуживание рабочего места, отдых и естественные потребности	1,10	1,15	–
Расчетная формула	$T_{\text{шт}} = [(t_o + t_{\text{всп}}) \cdot l + t_{\text{виз}}] K_{\text{об}}$		

Для РДС:  $T_{\text{шт}} = [(25+1,49) \times 5,1 + 14,21] \times 1,1 = 164$

Для  $CO_2$ :  $T_{\text{шт}} = [(17+1,35) \times 5,1 + 7,31] \times 1,15 = 116$

Таблица 24 – Размер партии

Исходные данные и расчетная формула	Сравниваемые процессы		Изменение
	РДС	сварка в $CO_2$	
$T_{\text{см}}$ – продолжительность одной рабочей смены	8	8	–
$T_{\text{шт}}$ – штучное время	164	116	+48
Расчетная формула $n = \frac{T_{\text{см}} \cdot 60}{T_{\text{шт}}}$	$n = \frac{8 \cdot 60}{164} \approx 3$ шт	$n = \frac{8 \cdot 60}{116} \approx 4$ шт	-1

Изменение произошло из-за основного времени на сварку и вспомогательного времени, связанного со свариваемым швом.

Таблица 25 – Штучно-калькуляционное время

Исходные данные и расчетная формула	Сравниваемые процессы		Изменение <u>мин</u> изделие
	РДС	сварка в $CO_2$	
$T_{шт}$ – штучное время	164	116	-
$t_{пз}$ – подготовительно – заключительное время	11	20	–
n – размер партии	3	4	-
Расчетная формула $T_{шк} = T_{шт} + \frac{t_{пз}}{n}$	$T_{шк} = 164 + \frac{11}{3} = 168$	$T_{шк} = 116 + \frac{20}{4} = 121$	+47

Изменение произошло из-за штучного времени и размера партии.

Таблица 26 – Масса наплавленного металла шва

Исходные данные и расчетная формула	Сравниваемые процессы		Изменени е кг
	РДС	сварка в $CO_2$	
$F_n$ – площадь наплавленного металла, $см^2$	0,63	0,63	-
L – длина шва, см	510	510	–
$\gamma$ – плотность наплаваемого металла, $г/см^3$	7,8	7,8	–
Расчетная формула $G = F \cdot L \cdot \gamma$	$G_1 = 0,2 \cdot 510 \cdot 7,8 = 796$ г $G_2 = 0,43 \cdot 510 \cdot 7,8 = 1711$ г		0

## 6.7 Экономическая оценка сравниваемых способов сварки

В разделе рассмотрена возможность изготовления сварного изделия, используя альтернативные способы и средства сварки, которыми располагает предприятие. В данном случае необходимо выбрать наиболее экономически выгодный процесс. Выбор должен осуществляться на основе текущих затрат [31]. При их подсчете учитывать необходимо только релевантные затраты, то есть затраты, различающиеся в сравниваемых вариантах, которые могут повлиять на выбор лучшего варианта. Очевидно при сравнении РДС и сварки в защитном газе не стоит учитывать затраты на основной материал, из которого изготовлена сама сварная конструкция, так как анализируемые процессы оказывают незначительное влияние на расход основного материала [31].

Таблица 27 – Затраты на сварочные материалы

Исходные данные и расчетная формула	Сравниваемые процессы		Изменение затрат руб/изд
	РДС	сварка в $CO_2$	
$g_{nm}$ – масса наплавленного металла, кг/изд	0,8 1,71	0,8 1,71	-
$k_n$ – коэффициент, учитывающий отношение веса электродов или проволоки к весу наплавленного металла	1,60	1,08	-
$\Pi_{cm}$ – цена электродов/электродной проволоки, за кг ОК 46.00 Св-08ГС	133,00	280,00	-
Расчетная формула	$C_{cm} = 0,8 \cdot 1,6 \cdot 135 = 173$	$C_{cm} = 0,8 \cdot 1,08 \cdot 125 = 108$	+65
$C_{cm} = g_{nm} \cdot k_n \cdot \Pi_{cm}$	$C_{cm} = 1,71 \cdot 1,6 \cdot 130 = 356$	$C_{cm} = 1,71 \cdot 1,08 \cdot 280 = 517$	-161

Таблица 28 – Затраты на защитный газ

Исходные данные и расчетная формула	Сравниваемые процессы		Изменение затрат руб/изд
	РДС	сварка в $CO_2$	
$g_{газ}$ - норма расхода газа, л/мин	-	10,00	-10,00
$t_0$ - основное время на сварку, мин/м	-	17,00	-
$l$ - длина сварного шва, м/издел	-	5,10	-
$Ц_{газ}$ - цена за единицу газа, руб/л			
Аргон (Ar)	-	0,1	-
Углекислый газ ( $CO_2$ )		0,033	
Расчетная формула $C_{газ} = g_{газ} \cdot t_0 \cdot l \cdot Ц_{газ}$	-	115,00	-115,00

Таблица 29 – Затраты на заработанную плату рабочих

Исходные данные и расчетная формула	Сравниваемые процессы		Изменение затрат руб/изд
	РДС	сварка в $CO_2$	
$C_{мз}$ – среднемесячная заработная плата рабочих соответствующих профессий	40000	40000	-
$F_{мр}$ – месячный фонд времени работы рабочих, часы/месяц $F_{мр} \approx 172$ часов/месяц	172	172	-
$t_{шк}$ – штучно-калькуляционное время на выполнение операции, мин\изд	168	121	-
Расчетная формула $C_3 = \frac{C_{мз} \cdot t_{шк}}{F_{мр} \cdot 60}$	$C_3 = \frac{40000 \cdot 168}{172 \cdot 60} = 651$	$C_3 = \frac{40000 \cdot 121}{172 \cdot 60} = 469$	+182

Изменение затрат произошло из-за штучно-калькуляционного времени на выполнение операции.

Таблица 30 – Отчисления на социальные цели

Исходные данные и расчетная формула	Сравниваемые процессы		Изменение руб/изд
	РДС	сварка в $CO_2$	
$k_{отч}$ – процент отчислений на социальные цели от основной и дополнительной заработной платы	30%	30%	–
$C_3$ – Затраты на заработанную плату рабочих	651	469	–
Расчетная формула $C_{отч} = \frac{k_{отч} \cdot C_3}{100}$	$C_{отч} = \frac{30 \cdot 651}{100} = 195$	$C_{отч} = \frac{30 \cdot 469}{100} = 141$	+54

Изменение произошло из-за затрат на заработанную плату рабочих.

Таблица 31 – Затраты на электроэнергию

Исходные данные и расчетная формула	Сравниваемые процессы		Изменение затрат руб/изд
	РДС	сварка в $CO_2$	
$U$ – напряжение, В	25,50	26,50	–
$I$ – сила тока, А	125,00	150,00	–
$t_o$ – основное время сварки, мин/м	25,00	17,00	–
$l$ – длина сварного шва, м/изд	5,10	5,10	–
$\eta$ – коэффициент полезного действия источника питания	0,80	0,85	–

Продолжение таблицы 31

Исходные данные и расчетная формула	Сравниваемые процессы		Изменение затрат руб/изд
	РДС	сварка в $CO_2$	
$\Pi_{эл}$ – стоимость 1 кВт-ч электроэнергии, руб	3,7	3,7	–
Расчетная формула $C_{эм} = \frac{U \cdot I \cdot t_o \cdot l}{60 \cdot \eta \cdot 1000} \cdot \Pi_{эл}$	$C_{эм} = \frac{25,5 \cdot 125 \cdot 25 \cdot 5,1}{60 \cdot 0,8 \cdot 1000} \cdot 3,7 = 31 \text{ руб/изд}$	$C_{эм} = \frac{26,5 \cdot 150 \cdot 17 \cdot 5,1}{60 \cdot 0,85 \cdot 1000} \cdot 3,7 = 25 \text{ руб/изд}$	+6

Изменение затрат произошло из-за основного время сварки и сварочного тока.

Таблица 32 – Затраты на ремонт оборудования

Исходные данные и расчетная формула	Сравниваемые процессы		Изменение затрат руб/изд
	РДС	сварка в $CO_2$	
$\Pi_j$ – цена оборудования соответствующего вида	27075	204300	–
$k_{рем}$ – коэффициент, учитывающий затраты на ремонт	0,25	0,25	–
$t_{штк}$ – штучно– калькуляционное время на выполнение операции, мин/изд	168	121	–
$F_{ГО}$ – годовой фонд времени работы оборудования, ч (в 2015 при 8 часовом р. д.)	1971	1971	–

Исходные данные и расчетная формула	Сравниваемые процессы		Изменение затрат руб\изд
	РДС	сварка в $CO_2$	
$k_3$ – коэффициент, учитывающий загрузку оборудования	0,8	0,8	–
Расчетная формула $C_p = \frac{\sum_{j=1}^n \Pi_j \cdot k_{рем} \cdot t_{шк}}{F_{ГО} \cdot k_3 \cdot 60}$	$C_p = \frac{27075 \cdot 0,25 \cdot 168}{1971 \cdot 0,8 \cdot 60} = 34$	$C_p = \frac{204300 \cdot 0,25 \cdot 121}{1971 \cdot 0,8 \cdot 60} = 129$	-95

Изменение затрат произошло из-за количества видов оборудования, используемого для выполнения операций технологического процесса сварки, цены оборудования соответствующего вида и штучно – калькуляционного времени на выполнение операции. [32]

Таблица 33 – Результаты расчетов

Наименование	РДС	сварка в $CO_2$	Разница (1)–(2)
1. Сварочные материалы			
Электродная проволока	-	351	-351
Электроды	532	-	+532
Углекислый газ	-	115	-115
2. Основная зарплата	651	469	+182
3. Социальные цели	195	141	+54
4. Электроэнергия	31	25	+6
5. Ремонт	34	129	-95
Итого	1443	1230	+213

Годовой объем производимой продукции может быть принят равным годовой производительности оборудования по лучшему варианту сварки [32]:

$$Q_{\Gamma} = \frac{F_{ГО} \cdot k_3 \cdot 60}{t_{ШК_{\Gamma}}}, \quad (35)$$

где  $t_{ШК_{\Gamma}}$  – норма времени на сварку по лучшему процессу сварки, мин/изд.

$$Q_{\Gamma} = \frac{1971 \cdot 0,8 \cdot 60}{121} = 782 \text{ ед/руб.}$$

Годовой экономический эффект от применения механизированного сварки в углекислом газе можно рассчитать по формуле:

$$\mathcal{E}_{\Gamma} = Q_{\Gamma} \times \overline{\Delta c} = 782 \times 213 = 166566 \text{ руб/год} \quad (36)$$

где  $\overline{\Delta c}$  – изменение затрат руб\изд.

Таким образом, более выгоден второй вариант, то есть сварка в углекислом газе. Этот вариант нам обходится дешевле на 213 руб/изд и годовой экономический эффект от применения данного варианта составляет 166566 руб/год.

## 6.8 Экономическая оценка эффективности инвестиций

В процессе производства сварной конструкции возникает потребность в инвестициях (приобретения соответствующего оборудования).

Худший из вариантов имеется, а другой вариант будет внедряться (он раньше отсутствовал). Исходим из того, что РДС применяется, а предлагается механизированная сварка в среде углекислого газа. [32]

Оценим экономическую выгоду данного предложения при учёте полученных инвестиций. Когда возникает вторая ситуация, то появляется необходимость в инвестициях. Экономическая эффективность рассматриваемых решений сводится к экономической оценке инвестиций.

Согласно основам стандарта экономической оценки инвестиций, оценка инвестиций осуществляется путем расчета четырех показателей:

- NPV – чисто текущая стоимость;
- PP – срок окупаемости;
- PI – индекс доходности.

Данный показатель характеризует эффективность инвестиции в абсолютном выражении. Он показывает насколько прирастут доходы предприятия в результате замены существующего процесса на предлагаемый.

Оценку инвестиций в новый процесс следует признать оправданной, если  $NPV > 0$ . [32]

Количественно показатель  $NPV$  может быть установлен по формуле:

$$NPV = \frac{\sum_{t=1}^n (\Delta\Pi_{ч_t} + \Delta C_{a_t})}{\left(1 + \frac{i}{100}\right)^t} - I_0, \quad (37)$$

где  $n$  – продолжительность расчетного периода, в течение которого предприятие может воспользоваться результатами функционирования предлагаемого (нового) процесса (в дипломной работе величину  $n$  можно принять 5 годам);

$\Delta\Pi_{ч_t}$  – изменение чистой прибыли, получаемой в  $t$ -м году, руб/год;

$\Delta C_{a_t}$  – изменение амортизационных отчислений в  $t$ -м году, руб/год;

$I_0$  – инвестиции, осуществляемые в начальный момент ( $t = 0$ );

$i$  – ставка дисконтирования, учитывающая плату за привлечение финансовых ресурсов (в дипломной работе в качестве источника финансирования можно предусмотреть собственные средства предприятия, для которых ставка дисконтирования равна примерно 10%). [32]

Изменение чистой прибыли, получаемой в  $t$ -м году, определяется по формуле:

$$\Delta\Pi_{ч_t} = \left( \overline{\Delta C}_t \cdot Q_{Г_t} - \Delta C_{a_t} \right) \cdot (1 - N_{\text{пр}}), \quad (38)$$

где  $\overline{\Delta C}_t$  – изменение текущих расходов в  $t$ -м году, руб/год;  
 $Q_T$  – годовой объем производства продукции, в  $t$ -м году;  
 $\Delta C_{a_t}$  – изменение амортизационных отчислений в  $t$ -м году, руб/год;  
 $H_{\text{пр}}$  – ставка налога на прибыль ( $H_{\text{пр}} = 20\%$ ).

Изменение амортизационных отчислений в  $t$ -м году представляет собой разность затрат на амортизацию основных средств, занятых по существующему и предлагаемому варианту в соответствующем году:

$$\Delta C_{a_t} = C'_{a_t} - C''_{a_t}, \quad (39)$$

где  $C'_{a_t}$  и  $C''_{a_t}$  – затраты на амортизацию соответственно по существующему и предлагаемому процессами, руб/год.

Поскольку для сварочного оборудования срок полезного использования устанавливается в интервале 5–7 лет, то можно предположить, что по существующему процессу основные средства себя полностью самортизировали, т.е.  $C'_{a_t} = 0$ . [32]

Затраты на амортизацию оборудования:

$$C_a = \frac{\sum_{j=1}^n C_j}{T_{\text{пи}}}, \quad (40)$$

где  $C_j$  – цена оборудования соответствующего вида;

$T_{\text{пи}}$  – срок полезного использования оборудования (для сварочного оборудования  $T_{\text{пи}} = 5 - 7$  лет).

$$C_a = 404300/5 = 80860 \text{ руб/год.}$$

Расчет чистой текущей стоимости представим в виде таблицы 34.

Таблица 34 – Расчет чистой текущей стоимости

Наименование показателей	Расчетный период, годы					
	0	1	2	3	4	5
1. Коэффициент загрузки, $k_z$	0	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0
2. Годовой объем производства $Q_t$ , ед/год	0	489	586	684	782	977
3. Удельная экономия на текущих издержках $\overline{\Delta C_t}$ , руб./ед	0	213	213	213	213	213
4. Годовая экономия на текущих издержках, руб/год ( $C2 \cdot C3$ )	0	10415 7	12481 8	14569 2	16656 6	2081 01
5. Амортизация $\Delta C_a$ , руб./год	0	80860	80860	80860	80860	8086 0
6. Изменение годовой прибыли ( $C4 - C5$ ), руб/год	0	23297	43958	64832	85706	1272 41
7. Налог на прибыль (20% от $C6$ ), руб./год	0	4659	8792	12966	17141	2544 8
8. Изменение чистой прибыли, руб./год ( $C6 - C7$ )	0	18638	35166	51866	68565	1017 93
9. Чистый денежный поток от операционной деятельности, руб/год ( $C5 + C8$ )	0	99498	11602 6	13272 6	14942 5	1826 53
10. Инвестиции, руб.	– 20430 0	-	-	-	-	-
11. Коэффициент дисконтирования, при $i = 10\%$	1,0	0,909	0,826	0,751	0,683	0,621

Наименование показателей	Расчетный период, годы					
	0	1	2	3	4	5
12. Дисконтированный денежный поток (С9 и С10)С11	– 20430 0	– 90443	– 95838	– 99677	– 10205 7	– 1134 27
13. Накопленный дисконтированный денежный поток	– 20430 0	– 11385 7	– 18019	– 11834 2	– 16285 0	– 1971 43

Чистая текущая стоимость равняется

$$NPV = \left[ \frac{90443}{(1+0,1)^1} + \frac{95838}{(1+0,1)^2} + \frac{99677}{(1+0,1)^3} + \frac{102057}{(1+0,1)^4} + \frac{113427}{(1+0,1)^5} \right] - 204300 = 197143 \text{ руб.}$$

Расчет срока окупаемости осуществляем по формуле:

$$n_{ок} = n + (D_n / D_{n+1}), \quad (41)$$

где  $n$  – расчетное значение срока окупаемости;

$D_n$  – непокрытая часть накопленного денежного потока в момент года  $n$ ;

$D_{n+1}$  – денежный поток в году  $n+1$ , направленный на возмещение непокрытой части данного потока.

$$n_{ок} = 4 + (16285 / 113427) = 4,1 \text{ года.}$$

Расчет индекса доходности проведем по формуле:

$$PI = 1 + (NPV / I_0) = (197143 / 204300) + 1 = 2. \quad (42)$$

Формально проект признается эффективным, если  $PI > 1,0$ .

Проведен технико-экономический анализ процесса изготовления приспособления ручной дуговой сваркой и механизированной сваркой в среде углекислого газа и смеси газов.

По затратам на сварку изделия механизированная сварка более выгодна, чем ручная дуговая. Он нам обходится дешевле на 213 руб./изд.

Учитывая условия, когда ручная дуговая сварка имеется на предприятии, а механизированная сварка будет внедряться, такая ситуация тоже выгодна. Так как срок окупаемости при ставке дисконтирования  $i = 10\%$ ,  $PP = 4,1$  года. Чисто текущая стоимость  $NPV > 0$ , что говорит о том, что доходности при внедрении этого проекта в рассматриваемый период (5 лет) высокие. Индекс доходности при ставке дисконтирования  $i = 10\%$ ,  $PI = 2$ , а проект считается эффективным, если  $PI > 1,0$ .

Из показателей экономической оценки инвестиций можно сделать вывод, что внедрение механизированной сварки выгодно.

## 7 Социальная ответственность

### 7.1 Производственная безопасность

Общий размер помещения, в котором изготавливается приспособление для крепления аппарата Арина 7 составляет 50 м<sup>2</sup>. Следует отметить, что площадь одного рабочего места сварщика не должна быть меньше 4,5 м<sup>2</sup>.

Техническое оснащение включает в себя следующее оборудование: сварочный инвертор FUBAG IN 190, дополнительная сварочная оснастка.

#### 7.1.1 Анализ опасные производственные факторы при сварке

К опасным производственным факторам относятся:

- опасность поражения человека электрическим током (эта опасность возникает при непосредственном соприкосновении с токоведущими проводами установок, с ее металлическими частями, которые могут случайно оказаться под напряжением, вследствие поражения изоляции);
- опасность ожога электродом, дугой или каплями расплавленного металла;
- опасность поражения глаз и открытых участков кожи лучами дуги, вследствие чего могут возникать ожоги, ухудшения остроты зрения;
- опасность и вредность отравления парами и газами, выделяющимися в процессе сварки;
- опасность засорения глаз;
- опасность ушибов при снятии и установке заготовок, что может привести к временной потере трудоспособности.

Рабочие места для дуговой сварки должны защищаться стационарными или переносными светонепроницаемыми ограждениями из материалов, не сгорают, и, высота которых должна быть не менее 2,5 м и обеспечивать надежность защиты.

Ширина проходов по периметру сварочной установки должно быть не менее 1 м.

Полы для производственных помещений для выполнения дуговой и электрошлаковой сварки должны быть изготовлены из материалов, не сгорают и обладают малой теплопроводностью. Пол должен иметь ровную не скользкую поверхность.

### 7.1.2 Анализ вредных производственных факторов

К вредным производственным факторам при сварке относятся: повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; ультрафиолетовое, видимое и инфракрасное излучение сварочной дуги, а также инфракрасное излучение сварочной ванны и свариваемых изделий; электромагнитные поля; ионизирующие излучения; шум; ультразвук; статическая нагрузка на руку.

При сварке в зону дыхания рабочих могут поступать сварочные аэрозоли, содержащие в составе твердой фазы окислы различных металлов (марганца, хрома, никеля, меди, алюминия, железа), их окислы и другие соединения, а также токсичные газы (окись углерода, озон, фтористый водород, окислы азота). Количество и состав сварочных аэрозолей, их токсичность зависят от химического состава сварочных материалов и свариваемых металлов, вида технологического процесса. Воздействие на организм выделяющихся вредных веществ может явиться причиной острых и хронических профессиональных заболеваний и отравлений.

Интенсивность излучения сварочной дуги в оптическом диапазоне и его спектр зависят от мощности дуги, применяемых материалов и защитных газов. При отсутствии защиты возможны поражения органов зрения и ожоги кожных покровов.

### 7.1.3 Мероприятия по устранению опасных и вредных факторов

При выборе технологического процесса следует отдавать предпочтение тому, при котором будет обеспечена большая безопасность труда. Необходимо использовать сварочные материалы, которые выделяют вредные вещества в ограниченном количестве. Не допускается использование сварочных материалов, не прошедших гигиеническую оценку.

При проектировании и эксплуатации предприятий со сварочным производством должны быть приняты меры по профилактике производственного травматизма и профессиональных заболеваний, в первую очередь по уничтожению вредных и опасных производственных факторов, а если ликвидация вредных и опасных факторов затруднена технически или экономически, по их нейтрализации и защите от них.

Санитарно-гигиенические условия и обязательные мероприятия по охране труда в сварочном производстве регламентируются «Системой стандартов безопасности труда», «Строительными нормами и правилами» (СНиП), правилами техники безопасности и производственной санитарии, различными инструкциями, указаниями и другими документами.

Все лица, поступающие на работу, связанную с электросваркой, должны проходить предварительные и периодические медицинские осмотры.

Кожу защищают обычной рабочей одеждой, лицо и часть шеи - щитком или шлемом. Глаза защищаются специальными темными стеклами - светофильтрами, которые вставляют в щиток или шлем. Эти стекла совсем не пропускают ультрафиолетовые лучи, а инфракрасные пропускают в пределах от 0.1 до 4 %, что не оказывает вредного влияния на зрение сварщика.

Помимо ожогов лучами электрической дуги, сварщику могут быть причинены ожоги брызгами расплавленного металла. Чтобы избежать ожогов, необходимо надевать рабочую одежду из плотной брезентовой материи. Одежда не должна иметь складок. Брюки надо носить только на выпуск.

При выполнении сварочных работ по изготовлению приспособления в результате выгорания элементов легирования повышается загазованность рабочего места для предотвращения этого необходимо устанавливать устройства вытяжной вентиляции в зоне дыхания сварщика. Выбрасывать воздух нужно за пределы рабочих зон. Для удаления газов и пыли применяется как местная вентиляция рабочего места, так и приточно-вытяжная вентиляция всего помещения. Приточный воздух должен поступать рассеяно в рабочую зону помещений, а также там, где вытяжная вентиляция осуществляется посредством местных отсосов. Скорость движения воздуха на рабочих местах должна быть не более 0,3 м/с согласно [16].

Во всех производственных помещениях, в которых постоянно пребывают люди, должно быть предусмотрено естественное освещение. При недостаточности естественного освещения в дневное время, применяют искусственное освещение. Общее освещение может быть равномерным или локализованным.

#### 7.1.4 Воздушная среда и микроклимат. Вентиляция

Нормы производственного микроклимата установлены систем стандартов безопасности труда ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно - гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [21]. В этих нормах отдельно нормируется каждый компонент микроклимата в рабочей зоне производственного помещения: температура, относительная влажность, скорость воздуха в зависимости от способности человека к акклиматизации в разное время года, характера одежды, интенсивности производственной работы и характера тепловыделений в рабочем помещении.

Вредными основными веществами, выделяющимися при сварке сталей, являются: окись углерода, хром, марганец и фтористые соединения. В таблице 35 представлены классы опасностей вредных веществ выделяющихся при сварке сталей [17].

Таблица 35 – Классы опасностей вредных веществ выделяющихся при сварке сталей

Вещество	ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности	Агрегатное состояние
Марганец	0,05	1	аэрозоли
Хром	0,1	1	аэрозоли
Фтор. соед.	0,5	2	аэрозоли
Окись углерода	20	4	пары или газы

Согласно ГОСТ 12.1.005-88 [21] предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны производственных помещений не должна превышать величин, указанных в таблице 35.

В сварочных цехах на стационарных рабочих постах, а также, где это возможно, на нестационарных постах следует устанавливать местные отсосы.

Скорость движения воздуха, создаваемая местными отсосами у источников выделения вредных веществ, должна соответствовать нормам, приведенным в таблице 36 [17].

Таблица 36 – Скорость движения воздуха, создаваемая местными отсосами у источников выделения вредных веществ

Процесс	V, м/с
Сварка ручная	>0,5
Сварка в защитных газах	<0,3

Количество вредных веществ, локализуемых местными отсосами составляет для вытяжных шкафов не более 90%, а для местных отсосов других видов не более 75%. Оставшиеся количество вредных веществ (10 - 20%) должно разбавляться до ПДК с помощью общеобменной вентиляции [18].

В нашем случае рабочее место сварщика по ПДК, относится к 2 классу опасности.

### 7.1.5 Электробезопасность

Причинами электротравматизма на производстве является непосредственный контакт с токоведущими частями оборудования, высокие напряжения, работа с металлоконструкциями и так далее. Основными мерами защиты от поражения электрическим током являются:

- обеспечение недоступности токоведущих частей, находящихся под напряжением, для случайного прикосновения, что достигается изоляцией токоведущих частей;

- устранение опасности поражения при появлении напряжения в корпусе, кожухе и других частях машины для дуговой сварки плавлением, что достигается использованием двойной изоляции, а также применением защитного заземления;

- работа без заземления корпуса категорически запрещается. Во время работы необходимо систематически проверять надежность заземления. Для быстрого отключения от сети необходимо обеспечить легкий доступ к рубильникам, кнопкам и другим отключающим устройствам.

Проведем расчет защитного заземления для оборудования, которое работает под напряжением 380 В. Для заземления используем трубы диаметром 45 мм с толщиной стенки равной 2,5 мм и длиной 2,7 метра, и полосовую сталь сечением 48х4 мм. Заземлители разместим в ряд. Характер грунта в месте установления заземлителей – суглинок.

В соответствии с рекомендацией трубчатые заземлители устанавливаем в земле на глубину (от поверхности земли до верхнего конца трубы) равную 80 см, а величину расстояния между трубами принимаем равной трем длинам заземлителя ( $a = 8,1$  м). верхние концы заземлителя соединены с помощью полосовой стали. Схема установки приведена на рисунке 12.

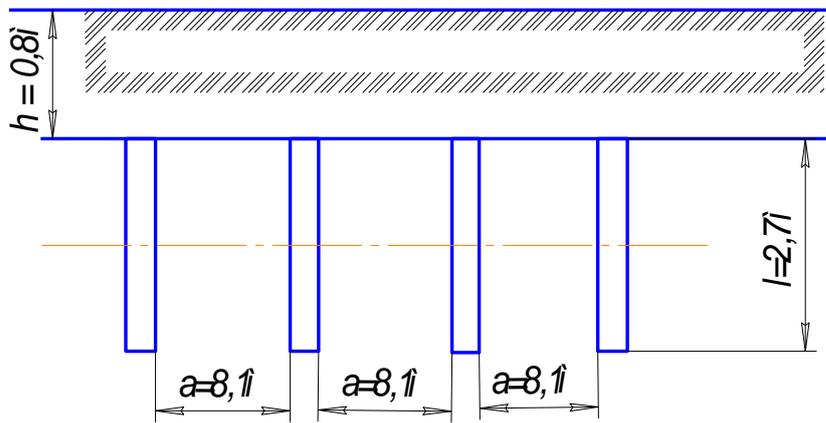


Рисунок 12 – Расчет защитного заземления

По нормам для нашего случая допустимое сопротивление заземлителей не более 4 Ом, а удельное сопротивление грунта (суглинок) составляет  $\rho_r = 1 \times 10^4$  Ом.

Учитывая возможное промерзание грунта зимой и просыхание летом, определим расчетные значения удельного сопротивления грунта для полосы  $\rho_{п}$  и для электродов  $\rho_{э}$ , которые определяются по формулам:

$$\rho_{э} = \rho_r \times K_{э}, \quad (43)$$

$$\rho_{п} = \rho_r \times K_{п}, \quad (44)$$

где  $K_{э}$ ,  $K_{п}$  – повышающие коэффициенты для соответствующей климатической зоны.

Принимаем  $K_{э} = 1,9$  и  $K_{п} = 4,5$

Подставляя эти значения в формулу мы получим:

$$\rho_{э} = 1 \times 10^4 \times 1,9 = 1,9 \times 10^4 \text{ Ом см,}$$

$$\rho_{п} = 1 \times 10^4 \times 4,5 = 4,5 \times 10^4 \text{ Ом см.}$$

Сопротивление растеканию одной забитой в землю трубы  $R_{э}$  (Ом) определяется по формуле:

$$R_y = \frac{\rho_y}{2\pi\lambda} \left( \ln \frac{2\lambda}{d} + 0.5 \ln \frac{4h + \lambda}{4h - \lambda} \right), \quad (45)$$

$$R_y = \frac{1.9 \times 10^4}{2 \times 3.14 \times 270} \left( \ln \frac{2 \times 270}{4.5} + 0.5 \ln \frac{4 \times 215 + 270}{4 \times 215 - 270} \right) = 58,2$$

При вычислении по приближенной формуле:

$$R_3 = 0,00302 \times \rho_3 = 0,00302 \times 1,9 \times 10^4 = 58,1 \text{ Ом}$$

Принимаем  $R_3 = 58,2 \text{ Ом}$ .

Потребное число трубчатых заземлителей определяется по формуле:

$$n = \frac{R_y}{r_c}, \quad (46)$$

$$n = \frac{58.2}{4} = 14.55 \text{ шт.}$$

Учитывая, что трубы соединены заземляющей полосой, которая выполняет роль заземлителей, уменьшим полученное число труб до 12 штук.

Длина соединительной полосы определяется по формуле:

$$l_n = 1.05 \times a \times (n - 1), \quad (47)$$

$$l_n = 1.05 \times 8,1 \times (12 - 1) = 93,55 \text{ м.}$$

Сопротивление соединительной полосы определяется по формуле:

$$R_l = \frac{\rho_l}{2 \times \pi \times \lambda_l} \times \ln \frac{2 \times \lambda_l^2}{n l \times b}, \quad (48)$$

$$R_l = \frac{4.5 \times 10^4}{2 \times 3.14 \times 9355} \times \ln \frac{9355^2}{80 \times 4} = 100 \text{ м}$$

Результирующее сопротивление растеканию системы с учетом коэффициента использования труб ( $\eta_{\text{т}} = 0.82$ ) и полосы ( $\eta_{\text{п}} = 0.76$ ) определяется по формуле:

$$R_N = \frac{R_Y \times R_I}{R_Y \times \eta_I + R_I \times \eta_I \times n}, \quad (49)$$

$$R_N = \frac{58.2 \times 10}{58.2 \times 0.76 + 10 \times 0.82 \times 12} = 4 \text{ Ом.}$$

Полученная величина удовлетворяет нормам.

Все оборудование сварочных цехов и участков должно соответствовать «Правилам устройства электроустановок» (ПУЭ) и действующим ГОСТ 12.1.007.0–75 «Система стандартов безопасности труда. Оборудование электрическое. Общие требования безопасности» и ГОСТ 12.2.007.8–75 «Система стандартов безопасности труда. Оборудование электросварочное и для плазменной обработки. Требования безопасности», а его эксплуатация – «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей и правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей». Кроме того, следует выполнять указания по эксплуатации и безопасному обслуживанию электросварочных установок, имеющих в инструкциях заводов изготовителей.

Результаты действия тока зависят от нескольких факторов, например, от значения и времени протекания тока через тело человека (чем выше ток и дольше его действие, тем выше вероятность тяжелого или смертельного исхода), от рода и частоты тока (постоянный ток в четыре-пять раз безопаснее переменного тока с частотой 50 Гц) и индивидуальных свойств человека. Производственное помещение, в котором размещено сварочное оборудование, относится к особо опасным, из-за сочетания наличия токопроводящего пола и металлической пыли, образующейся в результате плавления,

Обслуживание электроустановок выполняется лицами, прошедшим медицинский осмотр и специальное обучение. Все работники обязаны уметь оказать первую помощь пострадавшему от воздействия электрического тока.

#### 7.1.6 Система обеспечения безопасных условий труда при радиационном методе контроля

Радиационные факторы опасности. При использовании радионуклидных источников излучения основным фактором опасности является внешнее облучение персонала гамма-, бета- и нейтронным излучениями. Кроме этого, существенный вклад в радиационную нагрузку на персонал может внести тормозное излучение, возникающее при использовании бета- источников. Облучение может быть общим (облучение всего тела) или местным (облучение отдельных участков тела). При просвечивании массивных ОК направленными панорамными пучками излучения в большинстве случаев происходит сравнительно равномерное облучение всего тела дефектоскописта. При просвечивании ОК в труднодоступных местах наибольшему облучению подвергаются руки, область головы и таза. Существует также некоторая возможность внутреннего облучения при проведении ремонтно-профилактических работ, зарядке и перезарядке аппаратов.

Использование рентгеновских аппаратов может сопровождаться действием на персонал первичного и вторичного (рассеянного) излучения. Уровень его воздействия определяется материалом анодного окна, напряжением и током рентгеновской трубки, режимом его работы, физико-химическими свойствами ОК, условиями эксплуатации. Существенно, что генерация проникающего излучения прекращается после окончания подачи высокого напряжения на трубку. При использовании высокоэнергетичных ускорителей электронов (бетатронов, микротронов, линейных ускорителей) к основным факторам радиационной опасности относят: выведенные из ускорителей пучки ускоренных электронов; тормозное излучение,

генерируемое при взаимодействии электронных пучков с мишенями; фотонейтроны, возникающие при взаимодействии фотонного излучения с энергией более 10 МэВ с ядрами атомов ОК.

Приведенные в литературе данные о дозах облучения дефектоскопистов свидетельствуют о том, что наибольшему радиационному воздействию подвергается персонал при эксплуатации переносных и передвижных гамма-дефектоскопов

По степени радиационного воздействия на дефектоскопистов можно выделить три категории работ:

- зарядка, перезарядка, ремонтно-профилактические и наладочные работы;
- эксплуатация переносных и передвижных дефектоскопов в условиях цеха, открытой площадки и в полевых условиях;
- эксплуатация дефектоскопов в специально выделенных помещениях (лабораториях).

Дозы облучения дефектоскопистов, проводящих работы могут быть равны 0,3 ПД и выше. Поэтому при оценке доз облучения персонала эти две категории работ рассматриваются одновременно. Облучение персонала, проводящего работы особенно при проведении рентгентелевизионного контроля, находятся на уровне флуктуации естественного радиационного фона или незначительно его превышают.

Нерадиационные факторы опасности. Это в основном такие факторы: ток в электрических цепях установок, замыкание которого может произойти через тело человека; озон и окислы азота, образующиеся в результате радиолиза воздуха под действием рентгеновского излучения; электромагнитные поля высокой и сверхвысокой частоты, создаваемые системами питания ускорителей.

Для обеспечения безопасных условий труда при проведении радиационного контроля в нашей стране в настоящее время эффективно действует система, включающая в себя комплекс технических средств,

организационных и санитарно-гигиенических мероприятий. Эта система (рисунок 13) состоит из двух подсистем:

- защита от факторов опасности;
- контроль на всех стадиях разработки и создания установок и их эксплуатации.



Рисунок 13 – Структура системы обеспечения безопасности условий труда при радиационном контроле

Защита от вредных производственных факторов включает радиационную защиту, организационные мероприятия, системы блокировки и сигнализации, а также другие технические средства, обеспечивающие безопасность труда. К этим средствам относятся конструктивные решения, способствующие снижению радиационных и нерадиационных воздействий на персонал, - вентиляция, планировка помещений, автоматизация и механизация ПК, использование дистанционных инструментов и принадлежностей.

Контроль соблюдения требований безопасности осуществляется как на стадии проектирования (экспертиза технической документации на радиационные установки и лаборатории и т.п.), так и на стадиях сооружения и изготовления установок и их эксплуатации (контроль качества защитных сооружений, радиационных установок и т.п.).

Нормативные, методические и санитарно-законодательные документы, стандарты, а также техническая документация являются частью системы обеспечения радиационной безопасности.

#### 7.1.7 Расчет вентиляции

На участке сборки и сварки применяем общеобменную приточно-вытяжную вентиляцию.

Вентиляция достигается удалением загрязненного или нагретого воздуха из помещения и подачей в него свежего воздуха [26].

На участке сборки и сварки изготовления ограждения применяем обще обменную приточно-вытяжную вентиляцию и местную вытяжную вентиляцию.

Каждое рабочее место также оборудуется вытяжным отсосом – зонтом, открытой конструкцией, всасывающее отверстие которой, приближено к источнику выделений. Подвижность воздуха в зоне сварки должна быть  $0,2 \div 0,5$  метров в секунду.

Определим необходимый объём воздуха  $L$ , удаляемый от местных отсосов по формуле [25]:

$$L=3600 \cdot F \cdot V, \quad (50)$$

где  $F$  – суммарная площадь рабочих проёмов и неплотностей,  $\text{м}^2$ ;

$V$  – скорость всасывания воздуха на рабочем участке,  $\text{м/с}$ ;  $V = 0,5 \text{ м/с}$ ;

$$L = 3600 \cdot 0,36 \cdot 0,5 = 648 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Из расчета видно, что объём воздуха удаляемый от местных отсосов составляет  $L = 648 \text{ м}^3/\text{с}$ .

В результате проведенных расчетов выбираем вентилятор радиальный FUK – 2700 SP с двигателем типа АИР 80В2У3, мощностью 2,2 кВт.

### 7.1.8 Пожарная безопасность

Пожары на предприятиях и монтажных могут причинить значительный материальный ущерб предприятию и представляют огромную опасность для работающих.

Наиболее опасными факторами пожара, которые действуют на людей, являются дым, открытый огонь, токсичные продукты горения, низкая концентрация кислорода, очень высокая температура окружающей среды и предметов, части строительных конструкций, которые могут упасть. При взрыве особо опасные факторы – это вредные вещества, разлетающиеся части и ударная волна.

Основные причины возникновения пожаров при проведении сварочных и монтажных работ на предприятии:

- нарушение технологического режима;
- неисправность электрооборудования;
- самовозгорание промасленной ветоши и других материалов, склонных к самовозгоранию;
- искры при электросварочных работах;
- несоблюдение графика планового ремонта, износ и коррозия оборудования;

– реконструкция установок с отклонением от технологических схем.

Стандарты ГОСТ 12.1.004–76 «Пожарная безопасность» и ГОСТ 12.1.010-76 «Взрывобезопасность. Общие требования» определяют основы противопожарной безопасности. В соответствии с указанными выше стандартами количество пожаров и взрывов на предприятии допускается таким, чтобы статистическая вероятность их возникновения в год была не более  $10^{-6}$  или чтобы вероятность действия вредных факторов на людей в течение года не превышала  $10^{-6}$ .

Пожарная безопасность может быть обеспечена мерами пожарной профилактики. Пожарная профилактика представляет собой комплекс мероприятий, необходимых для предупреждения возникновения пожара или сведения к минимуму его последствий. Меры пожарной профилактики делятся на организационные, технические, режимные и эксплуатационные. Здания в которых расположено сварочное производство должны относиться ко второй степени огнестойкости сооружений, к категории Г.

Для быстрого тушения пожара на месте проведения сварочных работ всегда должны находиться контейнер с песком и лопата, а также ручной огнетушитель. Для тушения пожаров на участках с электроустановками применяются углекислотные огнетушители. В специально оборудованных местах на производственном участке должно находиться не менее двух огнетушителей ОУ – 5.

Пожарные краны, рукава, стволы, огнетушители и другие средства пожаротушения, должны быть исправными и храниться в отведенных для этого местах в соответствии с рекомендуемыми условиями хранения.

## 7.2 Экологическая безопасность

Загрязнение окружающей среды промышленными предприятиями связано в большей степени с загрязнением воды, используемой для

различных целей производства (для охлаждения оборудования, для термической обработки изделий и др.) и атмосферы.

Поэтому мероприятия по повышению экологической чистоты производства можно разделить на следующие группы:

- охрана и рациональное использование водных ресурсов;
- охрана и рациональное использование воздушного бассейна.

Первая группа мероприятий направлена на создание сооружений по очистке сточных вод и применения систем оборотного водоснабжения. Вторая группа мероприятий связана с сооружением установок, для очистки воздуха, удаляемого вытяжкой вентиляцией из цехов промышленных предприятий.

Одним из наиболее совершенных видов очистки газов от взвешенных в них частиц пыли являются электрофилтры. Их принцип основан на ударной ионизации газа в зоне коронирующего заряда, передачи заряда ионов частицам примесей и осаждении последних на осадительных и коронирующих электродах, с которых они затем удаляются механически. Также широкое применение для очистки газов от частиц пыли получили сухие пылеуловители – циклоны.

Для очистки технологических и вентиляционных выбросов от газов и паров применяют адсорберы. Адсорбция представляет собой процесс поглощения газов или паров поверхностью твердых веществ – адсорбентов. В качестве адсорбентов (поглотителей) применяют такие вещества, как глинозем, силикагель, активированный уголь и др.

При разработке и внедрении технологических процессов предпочтение должно отдаваться безотходным и малоотходным технологиям.

### 7.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация – это совокупность исключительных обстоятельств, сложившихся в определенной зоне в результате

чрезвычайного события техногенного, антропогенного и природного характера.

Чрезвычайные ситуации делятся на чрезвычайные ситуации мирного и военного времени.

Чрезвычайными ситуациями мирного времени являются транспортные аварии и катастрофы, аварии с выбросом радиоактивных веществ, аварии с выбросом биологически опасных веществ, аварии с выбросом сильнодействующих ядовитых веществ (СДЯВ), обрушения зданий, землетрясения, наводнения и др.

К чрезвычайным ситуациям военного времени относятся оружие массового поражения (ядерное, химическое, биологическое) и современные обычные виды оружия, приближающиеся по своим поражающим факторам к оружию массового поражения. Такие ситуации возникают в результате применения противником современных средств ведения боевых действий.

Оперативное информирование населения, организаций, органов управления о возникновении чрезвычайных ситуаций, и в мирное, и в военное время, его достоверность и четкость, является одной из важнейших задач гражданской обороны (ГО).

Основными принципами защиты при чрезвычайных ситуациях являются:

- укрытие населения в защитных укрытиях ГО (специальных убежищах, противорадиационных укрытиях) и других сооружениях, приспособленных для этих целей в конкретной ситуации (метро, подземные выработки, подземные пространства городов и др.);

- эвакуация населения из зон возможных стихийных бедствий, аварий, катастроф или при угрозе их возникновения, из зон национальных конфликтов и в военное время, рассредоточение рабочих и служащих предприятий, продолжающих свою производственную деятельность в зонах возможных сильных разрушений и эвакуация всего остального населения из этих зон в загородную зону;

– использование средств индивидуальной защиты (СИЗ) и медицинских средств защиты (МСЗ).

В итоге, путем применения комплекса основных способов защиты достигается защита населения и хозяйства (укрытие, эвакуация, применение СИЗ и МСЗ).

Организация и осуществление мероприятий противорадиационной, противохимической защиты населения возлагается на службу противорадиационной и противохимической защиты (ПР и ПХЗ), противобактериологической – на медицинскую службу ГО.

Эти службы выполняют следующие функции: организация радиационного, химического и бактериологического наблюдения, разведка и лабораторный контроль заражением и дозиметрический контроль облучения людей; обеспечение проведения санитарно-гигиенических, профилактических и противоэпидемических мероприятий; предотвращение потребления зараженного продовольствия и воды, обеспечение их обеззараживания; правильное хранение, своевременная выдача и надежное использование СИЗ и МЗС.

Предотвращение всех видов заражения населения зависит в значительной степени от постоянной скоординированной работы вышеуказанных служб с другими службами ГО, в том числе, инженерной службы, службой убежищ и укрытий и др. Кроме своевременного обнаружения заражения или угрозы заражения и оповещения о них, защита населения зависит также и от умелого пользования средствами индивидуальной и коллективной защиты, других организационных и инженерно-технических мероприятий, осуществляемых в интересах защиты населения.

Из всего вышеперечисленного следует, что противохимическая, противорадиационная и противобактериологическая защита населения представляет собой сложный комплекс мероприятий, средств и способов

защиты, осуществляемый с целью защиты населения от воздействия СДЯВ, ОВ, РВ в экстремальных ситуациях мирного и военного времени.

Противорадиационная, противохимическая и противобактериологическая защита населения основывается на принципах изоляции органов дыхания и тела человека от вредных агентов, находящихся в окружающем воздухе (СДЯВ, ОВ, ВС и радиоактивной пыли) или фильтрации зараженного воздуха средствами защиты. Защита от внешнего гамма и нейтронного излучения строится на принципах поглощения и экранизации ионизирующих излучений защитными сооружениями, производственными, жилыми и другими помещениями.

На предприятиях, на которых должна быть обеспечена непрерывная работа в условиях радиоактивного, химического и бактериологического заражения, проводят герметизацию наиболее важных производственных зданий и сооружений путем обустройства тамбуров, герметизации дверей, окон и технологических проемов. На системы приточно-вытяжной вентиляции устанавливают фильтры и герметические задвижки, устанавливают устройства для очистки и обеззараживания воды, поступающей для хозяйственных, бытовых и производственных нужд. Кроме того, должны быть созданы запасы СИЗ, а также дезактивирующих и дезинфицирующих веществ. Технические средства должны всегда находиться в работоспособном состоянии в случае необходимости их применения.

Ликвидация чрезвычайных ситуаций осуществляется силами и средствами организаций, органами местного самоуправления, органами исполнительной власти субъектов РФ, на территории которых она сложилась. В случае недостаточности этих сил и средств в установленном законодательством РФ порядке могут быть привлечены дополнительные силы и средства федеральных органов исполнительной власти.

#### 7.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

При подготовке сборочно-сварочных работ, инженеру сварочного производства необходимо руководствоваться следующими документами:

- Правила устройства электроустановок ПУЭ (утв. Минэнерго России) (7-ое издание);
- СНиП II-A.9-71 Строительные нормы и правила. Часть II, раздел А. Глава 9. Искусственное освещение. Нормы проектирования"(утв. Госстроем СССР 29.06.1971);
- СНиП II-4-79 Естественное и искусственное освещение. Дата актуализации: 01.11.2014;
- ГОСТ 12.1.003-83\* Шум. Общие требования безопасности;
- СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки;
- ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;
- ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;
- ГОСТ 12.1.010-76 Взрывобезопасность. Общие требования.

Работники, выполняющие сварочные работы, должны быть обеспечены специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты, санитарно-бытовыми помещениями, а также смывающими и (или) обезвреживающими средствами. Рабочее место сварщика должно быть оснащено необходимым сборочно-сварочным оборудованием и первичными средствами пожаротушения. Стационарные рабочие места должны быть оборудованы системой вытяжной вентиляции в зоне сварки.

При выполнении сварочных работ на ОПО работники должны быть ознакомлены с правилами внутреннего распорядка, характерными опасными и вредными производственными факторами и признаками их проявления, действиями по конкретным видам тревог, другими вопросами, входящими

в объёмы вводного инструктажа и первичного инструктажа на рабочем месте. Сведения о проведении инструктажей фиксируются в соответствующих журналах с подтверждающими подписями инструктируемого и инструктирующего.

На выполнение сварочных работ в зонах действия опасных производственных факторов, возникновение которых не связано с характером выполняемых работ, должен быть выдан наряд-допуск. Перечень таких работ, порядок оформления нарядов-допусков, а также перечни должностей специалистов, имеющих право выдавать и утверждать наряды-допуски, утверждаются техническим руководителем организации, эксплуатирующей ОПО.

Сварочные работы должны выполняться в соответствии с производственно-технологической документацией по сварке, включающей производственные инструкции и технологические карты по сварке, утверждённой техническим руководителем осуществляющими сварочные работы.

При производстве сварочных работ необходимо обеспечить:

- а) идентификацию производственной документации и бланков;
- б) идентификацию использования основного материала;
- в) идентификацию применения сварочных материалов;
- г) идентификацию мест расположения сварных швов в конструкции;
- д) регистрацию сведений о сварщиках, выполняющих сварные швы;
- е) регистрацию мест и результатов исправлений сварных соединений;
- ж) контроль соответствия выполнения процесса сварки технологическим картам сварки.

Идентификация должна предусматривать маркировку основного и сварочных материалов, технической и технологической документации,

обеспечивающую прослеживаемость их применения с целью выявления возможных причин брака при проведении сварочных работ.

## Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была разработана конструкция устройства для крепления излучателя рентгеновского аппарата Арина-7 при радиографическом контроле труб диаметром 108-159 мм. Также был проведен подбор основных и сварочных материалов, сделан анализ режимов ручной дуговой сварки и механизированной сварки в среде защитных газов и выбор оптимального режима сварки. Разработанное устройство позволяет оперативно перемещать и фиксировать излучатель в заданных точках при контроле труб через две стенки, по секторам не менее, чем в 3-х положениях.

По результатам полученных показателей экономической оценки инвестиций и ряду достоинств при изготовлении приспособления можно сделать вывод, что внедрение его в работу дефектоскопистами предпочтительней не только с экономической точки зрения затрат, но и с точки зрения самого процесса организации работ.

Применение разработанного устройства в ОАО «Томскнефть» при радиографическом контроле промышленных трубопроводов показывали перспективность применения данного приспособления для более быстрой подготовки аппарата к работе и облегчение труда дефектоскопистов.

Результаты данной работы были представлены 25 мая 2016г. на VI Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность» проходившей в Томском политехническом университете с 23 по 27 мая 2016 г.

## Список используемых источников

- 1 Э.Л. Макаров. Сварка и свариваемые материалы. М.: Металлургия, 1991. – 527с.
- 2 И. Гривняк. Свариваемость сталей. М.: Машиностроение, 1984.- 215с.
- 3 РД 153-006-02 Инструкция по технологии сварки при строительстве и капитальном ремонте магистральных нефтепроводов
- 4 РД 153-39.4-056-00 Правила технической эксплуатации магистральных нефтепроводов
- 5 Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т./ Ред. кол.: Г.А.Николаева (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1979 - Т.3/ Под ред. В.А. Винокурова. 1979. 567с., ил.
- 6 Акулов А.И., Бельчук Г. А., Деменцевич В.П. Технология и оборудование сварки плавлением. М.: Машиностроение, 1977. -432 с.
- 7 Трущенко Е.А. Расчёт режимов дуговой сварки. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию. Изд-во Томского политехнического университета, 2008 - 41 с.
- 8 Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т./Ред. С 24 кол.: Г.А.Николаева (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1978 - - Т.1/ Под ред. Н.А.Ольшанского. 1978. 504с., ил.
- 9 Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т./Ред. С 24 кол.: Г.А.Николаева (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1978 - - Т.2/ Под ред. А.И Акулова. 1978. 462с., ил.
- 10 Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т./ Ред.С 24 кол.: Г.А.Николаева (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1978 - - Т.4/ Под ред. А.И.Акулова. 1978. 462с., ил.
- 11 СТО Газпром 2-2.2-136-2007 Инструкция по технологиям сварки при строительстве и ремонте промысловых и магистральных газопроводов. Часть I.
- 12 ГОСТ 8639-82 Трубы стальные квадратные. Сортамент

- 13 ГОСТ 8050-85 Двуокись углерода газообразная и жидкая.  
Технические условия
- 14 ГОСТ 16037-80 Соединения сварные стальных трубопроводов.  
Основные типы, конструктивные элементы и размеры
- 15 СНиП 3.05.04-85 Наружные сети и сооружения  
водоснабжения и канализации
- 16 ГОСТ 15150-69 Климатические исполнения
- 17 СНиП II-А.9-71 Строительные нормы и правила. Часть II, раздел А.  
Глава 9. Искусственное освещение. Нормы проектирования"(утв. Госстроем  
СССР 29.06.1971)
- 18 СНиП II-4-79 Естественное и искусственное освещение. Дата  
актуализации: 01.11.2014
- 19 ГОСТ 12.1.003-83\* Шум. Общие требования безопасности
- 20 СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях  
жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки
- 21 ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно - гигиенические требования к  
воздуху рабочей зоны
- 22 ГОСТ 12.1.019–79 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования  
и номенклатура видов защиты
- 23 ГОСТ 12.1.010-76 Взрывобезопасность. Общие требования
- 24 Белов С.В. Охрана окружающей среды. – М.: Высшая школа, 1983. – 264 с.
- 25 Долин П.А. Основы техники безопасности в электрических  
установках. М.: Энергия, 1990. – с.336.
- 26 Журавлев В.Г. Защита населения и территории в чрезвычайных  
ситуациях. М.: Высшая школа, 1990. – 376 с.
- 27 Елгазин В.И. Расчет защитного заземления.
- 28 Охрана труда в машиностроении // Под ред. Е.Я. Юдина. - М.:  
Машиностроение, 1983. – 432 с.
- 29 Безопасность производственных процессов: справочник. С.В.  
Белов, В.Н. Бринза и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 448 с.

30 А.Д. Гитлевич и др. Техническое нормирование технологических процессов в сварочных цехах – М: Машгиз,1962.

31 Грачева К.А. Экономика, организация и планирование сварочного производства: Учебное пособие. М.: Машиностроение, 1984. - 368 с.

32 Прокофьев Ю.С. Организация планирование и управлением предприятием: Методические указания к выполнению курсовой работы. – Томск: изд. ТПУ, 1987. – 38с.

33 ГОСТ 7512-82 «Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод»

34 ГОСТ 5264-80 «Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры»