

Школа **неразрушающего контроля и безопасности**  
 Направление подготовки **15.04.01 Машиностроение**  
 Отделение **электронной инженерии**

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

| Тема работы                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Влияние параметров режима ручной дуговой сварки покрытыми электродами на структуру и свойства соединений магистральных трубопроводов, работающих в условиях низких климатических температур</b> |

УДК 621.791.753.042.4-027.41:622.691.4.07

Студент

| Группа | ФИО                          | Подпись | Дата |
|--------|------------------------------|---------|------|
| 1BM71  | Богданов Артур Александрович |         |      |

Руководитель ВКР

| Должность  | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------|--------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОЭИ | А.А. Першина | к.т.н.                 |         |      |

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------|------------------------|---------|------|
| Доцент    | В.Н. Фадеева | к.ф.н.                 |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО             | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----------------|------------------------|---------|------|
| Доцент    | А.Г. Дашковский | к.т.н.                 |         |      |

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель ООП | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|--------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОЭИ       | А.С. Киселев | к.т.н.                 |         |      |

## Запланированные результаты обучения по программе

| Код                                                     | Результат обучения                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Профиль 2 «Машины и технологии сварочного производства» |                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| P9                                                      | Применять глубокие знания в области конструирования сборочно-сварочных приспособлений, механизации и автоматизации сварочных процессов с учетом специфики технологии изготовления сварной конструкции                                                           |
| P10                                                     | Решать инновационные задачи по сварке специальных сталей, применению современных методов неразрушающего контроля с использованием системного анализа и моделирования процессов контроля                                                                         |
| P11                                                     | Ставить и решать инновационные задачи по применению необходимого оборудования для контактной сварки, проектировать сварочные процессы с принципиально новыми технологическими свойствами, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b><br><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> | 1. Обзор литературы.<br>2. Практическая часть.<br>3. Финансовый менеджмент, ресурсо-эффективность и ресурсосбережение.<br>4. Социальная ответственность.<br>5. Заключение и выводы. |
| <b>Перечень графического материала</b><br><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                     |

#### Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

*(с указанием разделов)*

| Раздел                                                             | Консультант                     |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| 1. Обзор литературы<br>2. Практическая часть                       | Першина Анна Александровна      |
| 3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | Фадеева Вера Николаевна         |
| 4. Социальная ответственность                                      | Дашковский Анатолий Григорьевич |
| 5. Иностранный язык                                                | Смирнова Ульяна Александровна   |

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

Обзор литературы

|                                                                                                 |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b> | 15.02.2019 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

| Должность  | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------|--------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОЭИ | Першина А.А. | к.т.н.                 |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                          | Подпись | Дата |
|--------|------------------------------|---------|------|
| 1ВМ71  | Богданов Артур Александрович |         |      |

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа **неразрушающего контроля и безопасности**

Направление подготовки **15.04.01 Машиностроение**

Уровень образования **бакалавриат**

Отделение **электронной инженерии**

Период выполнения \_\_\_\_\_ (осенний / весенний семестр 2018 /2019 учебного года)

Форма представления работы:

**магистерская диссертация**

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

|                                          |            |
|------------------------------------------|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 08.06.2019 |
|------------------------------------------|------------|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)    | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 05.02.2018    | <i>Обзор литературы</i>                                  | 20                                 |
| 30.05.2018    | <i>Разработка методики исследований</i>                  | 20                                 |
| 15.04.2019    | <i>Проведение экспериментальных исследований</i>         | 30                                 |
| 30.05.2019    | <i>Оценка результатов экспериментальных исследований</i> | 20                                 |
| 03.05.2019    | <i>Заключение</i>                                        | 10                                 |

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

| Должность  | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------|--------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОЭИ | А.А. Першина | к.т.н.                 |         |      |

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

| Должность  | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------|--------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОЭИ | А.С. Киселев | к.т.н.                 |         |      |

## Задание для раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Студенту:

|        |                                 |
|--------|---------------------------------|
| Группа | ФИО                             |
| 1BM71  | Богданову Артуру Александровичу |

|                     |              |                           |                |
|---------------------|--------------|---------------------------|----------------|
| Школа               | ИШНКБ        | Отделение школы (НОЦ)     | ОЭИ            |
| Уровень образования | Магистратура | Направление/специальность | Машиностроение |

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

|                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих | Определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации |
| 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 и инновационного потенциала НТИ                                                                     | Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта                                                                                                             |
| 2. Планирование и формирование бюджета научных исследований                                                                 | - План проекта (календарный план НТИ)<br>- Бюджет проекта исследования (планируемые затраты на выполнения НТИ)<br>- Организационная структура проекта (выбор организационной структуры научного проекта) |
| 3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования | Оценка сравнительной эффективности исследования                                                                                                                                                          |

### Перечень графического материала(с точным указанием обязательных чертежей):

|                                                                  |
|------------------------------------------------------------------|
| 1. «Портрет» потребителя результатов НТИ                         |
| 2. Оценка конкурентоспособности технических решений              |
| 3. Матрица SWOT                                                  |
| 4. График проведения и бюджет НИ                                 |
| 5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ |

|                                                      |          |
|------------------------------------------------------|----------|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 25.03.19 |
|------------------------------------------------------|----------|

Задание выдал консультант:

|           |              |                        |         |      |
|-----------|--------------|------------------------|---------|------|
| Должность | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| Доцент    | Фадеева В.Н. | к.ф.н.                 |         |      |

Задание принял к исполнению студент:

|        |                              |         |      |
|--------|------------------------------|---------|------|
| Группа | ФИО                          | Подпись | Дата |
| 1BM71  | Богданов Артур Александрович |         |      |

## Задание раздела «Социальная ответственность»

Студенту:

| Группа | ФИО                             |
|--------|---------------------------------|
| 1BM71  | Богданову Артуру Александровичу |

| Школа               | ИШНКБ        | Отделение школы (НОЦ)     | ОЭИ            |
|---------------------|--------------|---------------------------|----------------|
| Уровень образования | Магистратура | Направление/специальность | Машиностроение |

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

|                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса) | Помещение с местной вытяжной вентиляцией воздуха, расположено на 1 этаже 3 эт, производственного корпуса. В помещении размещено оборудование для ручной дуговой и импульсно-дуговой сварки; площадь помещения 52м <sup>2</sup> , размещено 4 РМ. |
| 2. Отбор законодательных и нормативных документов по теме.           | ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.<br>ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.                                                               |

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

|                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:   | Анализ выявленных вредных факторов:<br>– Чрезмерная запыленность и загазованность воздуха;<br>– Температура поверхностей оборудования;<br>– Показатели микроклимата в помещении;<br>– Освещенность рабочей зоны;<br>– Повышенный уровень шума на рабочем месте. |
| 2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:   | Анализ выявленных опасных факторов:<br>– Электробезопасность;<br>– Брызги расплавленного металла и искры;                                                                                                                                                       |
| 3. Охрана окружающей среды:                                                                                  | Анализ воздействия объекта на:<br>– Атмосферу (выбросы): воздействие на атмосферный воздух сварочных аэрозолей и газов;<br>– Литосферу (отходы): металлическая стружка при зачистке металла образцов.                                                           |
| 4. Защита в чрезвычайных ситуациях:                                                                          | Вероятной ЧС является пожар; эвакуация, средства тушения                                                                                                                                                                                                        |
| 5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности и социальной защиты работников на предприятии | – Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;<br>– Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.<br>– Правовые нормы трудового законодательства (Соц. защиты)                                |

|                                                      |            |
|------------------------------------------------------|------------|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 27.03.2019 |
|------------------------------------------------------|------------|

### Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО             | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----------------|------------------------|---------|------|
| Доцент    | Дашковский А.Г. | к.т.н.                 |         |      |

### Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО                          | Подпись | Дата |
|--------|------------------------------|---------|------|
| 1BM71  | Богданов Артур Александрович |         |      |

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 130 с., 34 рис., 27 табл.,  
39 источников, 2 прил.

Ключевые слова: магистральный трубопровод, ручная дуговая сварка постоянным током, импульсно-дуговая сварка, покрытые электроды, отрицательные температуры, Крайний Север, макроструктура валика, микроструктура валика, размер зерен, микротвердость.

Объектом исследования является (ются) – разработка технологии, подбор сварочных материалов и параметров режима сварки, которые позволят, минимизировать влияние нарушений технологических параметров режимов сварки

Цель работы – исследование влияния параметров режима ручной дуговой сварки покрытыми электродами на структуру и свойства соединений магистральных трубопроводов, работающих в условиях низких климатических температур

В процессе исследования проводились сравнения различных марок покрытых электродов, их влияние на структуру и свойства металла шва при ручной дуговой сварке на постоянном токе и при импульсно-дуговой сварке в условиях низких климатических температур

В результате исследования были получены структуры, по которым дан ответ о положительном использовании импульсного питания дуги в условиях низких климатических температур, нежели постоянное питание.

Область применения: строительство магистральных нефте- и газопроводов на территории Крайнего Севера, где среднесуточная температура наиболее холодной пятидневки достигает минус 50°C, так же районы с низкими климатическими температурами.



## Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе применены следующие термины с соответствующими определениями.

Хладостойкость – способность материалов, элементов, конструкций и их соединений сопротивляться хрупким разрушениям при низких температурах окружающей среды.

Шлаковые включения – полости в металле шва, заполненные неметаллическими веществами, обычно окислами или комплексами окислов, образующимися вследствие химических реакций или механического засорения частицами электродных покрытий, флюсов и загрязнений кромок.

Микротвердость – твердость отдельных участков материала, определяемая вдавливанием алмазного индентора при малых нагрузках с использованием микроскопа для измерения размеров отпечатков. За меру микротвердости принимают отношение действительной нагрузки к площади поверхности отпечатка от алмазного индентора.

В настоящей работе применены следующие обозначения и сокращения:

- СМТ – сварка модулированным током;
- НАКС – Национальной Ассоциацией Контроля Сварки;
- ВНИИСТ – Всероссийский Научно-Исследовательский Институт по Строительству и Эксплуатации Трубопроводов;
- ЗТВ – зона термического влияния;
- ПДК – предельно допустимые концентрации;
- Кп – коэффициент пульсаций.

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

- РД 03-606-03 – Инструкция по визуальному и измерительному контролю;

- ГОСТ 5639-82 – Межгосударственный стандарт. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна;
- ГОСТ Р 57180 – Соединения сварные. Методы определения механических свойств, макроструктуры и микроструктуры;
- ГОСТ 7512-82 – Межгосударственный стандарт. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический контроль;
- ГОСТ 12.1.003-83 – Шум. Общие требования безопасности;
- СНиП 23-03-2003 – Защита от шума;
- ОСП-72/87 – Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений;
- НРБ-99/2009 – Нормы радиационной безопасности;
- СН 245-71 – Санитарные нормы проектирования промышленных зданий;
- СанПиН 2.2.4.3359-16 – Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.

## Оглавление

|                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| РЕФЕРАТ .....                                                                                                                                  | 8  |
| Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки .....                                                                                 | 9  |
| Введение .....                                                                                                                                 | 14 |
| 1 Сварка магистрального трубопровода в условиях Крайнего Севера .....                                                                          | 16 |
| 1.1 Особенности сварки трубопроводов работающих в условиях низких температур .....                                                             | 16 |
| 1.2 Сварочные материалы для сварки металла при низких температурах .....                                                                       | 18 |
| 1.3 Специальные методы и приёмы сварки при низких температурах .....                                                                           | 21 |
| 1.4 Применение модуляции сварочного тока .....                                                                                                 | 24 |
| 1.5 Металл, используемый для трубопровода в условиях низких температур .....                                                                   | 28 |
| 2 Методика и материалы исследования .....                                                                                                      | 31 |
| 3 Результаты проведенного исследования .....                                                                                                   | 37 |
| 3.1 Результаты исследования наплавленного металла .....                                                                                        | 37 |
| 3.2 Сравнение валиков по гистограммам .....                                                                                                    | 40 |
| 3.3 Характер роста зерен .....                                                                                                                 | 46 |
| 3.5 Неметаллические включения .....                                                                                                            | 50 |
| 3.6 Анализ твердости зерен .....                                                                                                               | 55 |
| 3.7 Визуальное наблюдение и дефекты .....                                                                                                      | 58 |
| 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....                                                                        | 62 |
| 4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения ..... | 62 |
| 4.2 Предпроектный анализ .....                                                                                                                 | 63 |
| 4.2.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....                                                                                 | 63 |
| 4.2.2 Анализ конкурентных технических решений .....                                                                                            | 64 |
| 4.2.3 SWOT-анализ .....                                                                                                                        | 65 |
| 4.2.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации .....                                                                                       | 68 |

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....                           | 70 |
| 4.3 Разработка устава научно-технического проекта.....                                                    | 71 |
| 4.4 Планирование научно-исследовательских работ .....                                                     | 72 |
| 4.4.1. Структура работ в рамках научного исследования .....                                               | 72 |
| 4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....                                                     | 73 |
| 4.4.3 Разработка графика проведения научного исследования .....                                           | 76 |
| 4.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....                                                   | 80 |
| 4.5.1 Расчет материальных затрат НТИ .....                                                                | 80 |
| 4.5.2 Основная заработная плата исполнителей темы .....                                                   | 81 |
| 4.5.3 Дополнительная заработная плата исполнительской системы.....                                        | 82 |
| 4.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....                                        | 83 |
| 4.5.5 Накладные расходы .....                                                                             | 84 |
| 4.5.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .                                     | 84 |
| 5 Социальная ответственность .....                                                                        | 88 |
| 5.1 Описание рабочего места .....                                                                         | 88 |
| 5.2 Анализ выявленных вредных факторов .....                                                              | 89 |
| 5.2.1 Показатели микроклимата в помещениях .....                                                          | 89 |
| 5.2.2 Возникновение шума в процессе сварки .....                                                          | 90 |
| 5.2.3 Освещенность рабочей зоны.....                                                                      | 90 |
| 5.2.4 Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны.....                       | 91 |
| 5.2.5 Мероприятия по обеспечению требований норм концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны..... | 92 |
| 5.3 Анализ опасных факторов, создаваемых установкой при сварке.....                                       | 93 |
| 5.3.1 Электробезопасность .....                                                                           | 93 |
| 5.3.2 Расчет защитного заземления .....                                                                   | 93 |
| 5.4 Мероприятия по обеспечению защиты исследователя от действия опасных и вредных факторов .....          | 96 |
| 5.4.1 Мероприятия по обеспечению оптимального микроклимата .....                                          | 96 |

|                                                                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.4.2 Мероприятия по обеспечению требований норм шума .....                                                            | 96  |
| 5.4.3 Мероприятия по обеспечению требований норм освещенности .....                                                    | 97  |
| 5.4.4 Мероприятия по обеспечению требований норм концентрации<br>вредных веществ в воздухе рабочей зоны .....          | 97  |
| 5.4.5 Мероприятия по обеспечению требований норм электробезопасности                                                   | 97  |
| 5.4.6 Мероприятия по обеспечению требований норм защиты брызг и<br>расплавленного металла .....                        | 99  |
| 5.5 Экологическая безопасность .....                                                                                   | 99  |
| 5.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....                                                                        | 101 |
| 5.7 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности и<br>социальной защиты работников на предприятии ..... | 103 |
| 5.8 Социальное страхование .....                                                                                       | 107 |
| 5.8.1 Страховщик – Фонд социального страхования РФ .....                                                               | 107 |
| 5.8.2 Единовременные и ежемесячные выплаты .....                                                                       | 108 |
| 5.8.3 Пособие по временной нетрудоспособности .....                                                                    | 109 |
| Заключение .....                                                                                                       | 110 |
| Список использованных источников .....                                                                                 | 111 |
| ПриложениеА .....                                                                                                      | 114 |
| ПриложениеБ .....                                                                                                      | 127 |

## Введение

В настоящее время строительство магистральных нефте- и газопроводов производится в большинстве случаев на территории Крайнего Севера, где среднесуточная температура наиболее холодной пятидневки достигает минус 50°C. Поэтому необходимо, чтоб сварные соединения трубопроводов выполнялись с применением специальных сварочных материалов для эксплуатации в условиях Крайнего Севера. К таким материалам можно отнести покрытые электроды марки УОНИ-13/Мороз, ХОБЭКС и наиболее распространенная марка электродов у технологов при строительстве магистрального трубопровода является японская марка LB-52U. Однако в большинстве случаев подрядная организация, которая выполняет строительство магистрального трубопровода, нарушает технологические параметры сварочного режима сварки, требования к сопутствующему и предварительному подогреву. Так же к охлаждению сварных стыков и проведению работ при определенных температурах окружающего воздуха. Это связано с тем, что подрядная организация спешит сдать объект в указанные сроки, но не успевая начинают нарушать технологические параметры при заполнении кромок стыка, уменьшают количество сварных швов.

На сегодняшний день существующие параметры ручной дуговой сварки постоянным током не позволяют получить в условиях низких климатических температур качественных сварных соединений. Т.к. увеличение сварочной ванны приводит к увеличению размера зерна.

В связи с этим актуальным является разработка такой технологии, подбор таких сварочных материалов и параметров режима сварки, которые позволили бы, минимизировать влияние нарушения технологических параметров режимов сварки.

Следовательно, целью данной работы является исследование влияния параметров режима ручной дуговой сварки покрытыми электродами на

структуру и свойства соединений магистральных трубопроводов, работающих в условиях низких климатических температур.

Для достижения поставленной цели необходимо сравнить различные марки покрытых электродов, которые удовлетворяют условиям Крайнего Севера. Оценить характер формирования структуры при наплавке ниточного валика покрытыми электродами на постоянном и импульсном питании дуги. Выполнить сварку стыковых соединений пластин из стали 09Г2С на скорректированных режимах выбранными марками покрытых электродов.

## 1 Сварка магистрального трубопровода в условиях Крайнего Севера

### 1.1 Особенности сварки трубопроводов работающих в условиях низких температур

Магистральные трубопроводы в районах Крайнего Севера, тундры, болот, переувлажненных участков наиболее удобно сооружать зимой, когда мороз сковывает грунт и эти районы становятся проходимыми для транспорта и всей сварочно-монтажной техники. Процесс сварки магистральных трубопроводов в условиях Крайнего Севера является сложным процессом и имеет свои особенности, по сравнению с сваркой при положительных температурах окружающей среды [1].

На сегодняшний день сварку магистральных трубопроводов в основном выполняют ручной дуговой сваркой покрытыми электродами.

Для обеспечения хорошего технологического процесса сварки в условиях низких климатических температур необходимо учитывать особенности формирования сварочных швов, которые могут отрицательно влиять на структуру, механические свойства и сплошность сварных соединений. С понижением температуры с плюс 20 до минус 50°C, длительность пребывания сварочной ванны в жидком состоянии уменьшается примерно на 10 %, что оказывает влияние на всплытие неметаллических включений из сварочной ванны [1].

В многослойных швах содержание шлаковых включений при сварке в условиях низких температур, может повышаться (в декабре - феврале) до 54 % от общего числа выявленных дефектов. В большинстве случаев это связано с более сложным удалением шлака со шва после выполнения каждого слоя, особенно при ручной сварке.

Так же высокие скорости охлаждения сопутствуют появлению в швах горячих трещин. Это связано с тем, что в результате повышения скорости охлаждения возрастает и скорость упругопластической деформации в зоне температур, при которых нагретый металл может находиться в хрупком



состоянии. Трещины могут образоваться под действием возникающих при этом усадочных напряжений.

На сварочный процесс существенное влияние оказывает ветер. По мере возрастания скорости ветра качество сварного шва ухудшается, что служит появлению большого количества пор в сварочном шве, это объясняется снижением защитного действия газовой фазы дуги при сварке открытой дугой [2].

При сварке в зимних условиях многие углеродистые и низколегированные стали способны переходить в хрупкое состояние, что создает опасность разрушения конструкции в процессе ее изготовления или эксплуатации. Чем ниже температура окружающего воздуха, тем выше вероятность хрупкого разрушения. Для районов Крайнего Севера, где сооружаются магистральные трубопроводы и другие конструкции, используют стали с низким порогом хладноломкости. Следовательно, при изготовлении и монтаже трубопровода запрещены ударные воздействия, а также резка на ножницах и продавливание отверстий.

Более 50 % отказов трубопроводов, эксплуатируемых в условиях Крайнего Севера, приходится именно на дефекты в сварных кольцевых швах. Однако других регионах России, примерно 50 % отказов приходится на коррозионное растрескивание [2].

В связи с вышесказанным, возникает необходимость совершенствовать существующие технологии и рекомендации по сварке магистральных трубопроводов работающих в условиях низких климатических температур.

## 1.2 Сварочные материалы для сварки металла при низких температурах

Нормами установлено, что для сварки магистральных трубопроводов используются специальные электроды с покрытием основного типа УОНИ-13/45 тип Э42А, УОНИ-13/55К, тип Э46А (низкоуглеродистые стали) и УОНИ-13/55, тип Э50А; ОЗС-33, тип Э50А; ТМУ-21У, тип Э50А, тип Э60, тип Э70 (низколегированные стали), применяемые для сварки в любом положении и обеспечивающие повышенную пластичность, ударную вязкость и стойкость металла шва к образованию трещин при низких температурах (до минус 40 °С) [3].

Производить сварочные работы на морозе – это большая ответственность, потому что сварка в таких условиях усложнена очень низкими температурами и ветром, из этого следует, низкая работоспособность оборудования для сварки и самого сварщика. Однако есть такие сварочные электроды УОНИ 13/55, которые являются универсальными для сваривания металлических конструкций при низких климатических температурах, а также при сваривании в нормальных условиях, в которых нет помех для сварочных работ.

Электродами УОНИ 13/55 можно производить сварочные работы, при достижении температуры в минус 40 градусов по Цельсию. Не многие марки сварочных электродов могут похвастаться данной особенностью, столь высокой морозостойкостью [4]. Данные электроды применяют для сваривания ответственных конструкций из низколегированных и углеродистых сталей. Также их используют для проведения сварочных работ, когда к металлу сварочного шва предъявляются высокие требования по ударной стойкости, прочности и вязкости [4].

Покрытие сварочных электродов УОНИ 13/55 основное. Производить сварочные работы электродами УОНИ 13/55 можно во всех пространственных положениях. Единственным исключением является

вертикальное положение сверху-вниз, в таком положении производить сваривание данными электродами не рекомендуется.

Электроды LB 52U предназначены для сварки труб из сталей с гарантированным минимальным пределом текучести не более 360 МПа включительно и класса с гарантированным минимальным пределом текучести свыше 360 МПа до 500 МПа. Электроды LB-52U аттестованы НАКС (Национальной Ассоциацией Контроля Сварки) и рекомендованы ВНИИСТом (Всероссийский Научно-Исследовательский Институт по Строительству и Эксплуатации Трубопроводов) для использования при строительстве и ремонте магистральных трубопроводов [5].

LB-52U – сварочный электрод с пониженным содержанием водорода, что позволяет значительно улучшить характеристики сварного шва. Обеспечивает высокую ударную вязкость и его часто используют для сварки трубопровода, морских конструкций и сооружений типа резервуаров. Обеспечивает намного лучшую стабилизацию дуги и проплавление, чем другие низководородные электроды [5].

Покрытие сварочных электродов LB-52U основное. Производить сварочные работы данными электродами можно во всех пространственных положениях.

Сварочный шов, полученный при помощи электрода LB-52U, приобретает отличные механические характеристики, стойкость к образованию трещин, высокую ударную вязкость в условиях низкой температуры. Материал сварного шва получается крепче, чем основной [6].

Электроды, рекомендуемые для сварки при низких температурах и условиях Крайнего Севера представлены в таблице 1. В зимних условиях независимо от условий хранения электроды с целлюлозным покрытием перед сваркой просушивают при температуре 80-100 °С в течение 1 часа. Электроды с основным покрытием ВСФС-50, УОНИ-13/55 (таблица 2) прокаливают при температуре 300-350 °С, а электроды ВСФ-65, ВСФ-85 (таблица 2) - при температуре 350-400 °С в течение 1 часа [7].

Таблица 1 – Электроды, рекомендуемые для сварки при отрицательных температурах

| Температура окружающей среды, °С       | Тип электрода | Марка электрода |
|----------------------------------------|---------------|-----------------|
| Для деталей из углеродистой стали      |               |                 |
| От 0 до -20                            | Э46           | МР-3            |
|                                        | Э46           | ОЗС-4           |
|                                        | Э46           | АНО-4           |
|                                        | Э42           | АНО-6           |
| От 0 до -50                            | Э42А          | УОНИ-13/45      |
| Для деталей из низколегированной стали |               |                 |
| От 0 до -40                            | Э42А          | УОНИ-13/45      |
|                                        | Э50А          | УОНИ-13/55      |
| От -40 до -50                          | Э 42А         | УОНИ-13/45      |

Таблица 2 – Электроды, применяемые для сварки трубопроводов и при отрицательных температурах

| Марка      | Диаметр, мм | Область применения                                               | Применяемые конструкции и минимальная температура эксплуатации |
|------------|-------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| ВСЦ-4      | 4           | Первый (корневой) слой шва для сталей с $\sigma_B$ до 550 МПа    | Подземные трубопроводы. -40°С                                  |
| ВСЦ-4А     | 4           | Первый слой шва для сталей с $\sigma_B=550-600$ МПа              | -//-                                                           |
| ВСЦ-Т      | 4           | Первый и второй слои шва для сталей с $\sigma_B$ до 600 МПа      | -//-                                                           |
| АНО-6      | 3;4         | Первый и последующие слои шва для сталей с $\sigma_B$ до 500 МПа | -//-                                                           |
| МР-3       | 4;5         | Первый и последующие слои шва для сталей $\sigma_B$ до 480 МПа   | Наземные, надземные трубопроводы, резервуары. -40°С            |
| ВСФС-50    | 4           | Второй слой шва для сталей с $\sigma_B$ до 600 МПа               | Подземные и надземные трубопроводы. -60°С                      |
| УОНИ-13/45 | 3;4         | Первый и последующие слои шва для сталей с $\sigma_B$ до 500 МПа | Подземные, наземные, надземные трубопроводы, резервуары. -40°С |
| УОНИ-13/55 | 3;4;5       | Первый и последующие слои шва для сталей с $\sigma_B$ до 550 МПа | -//-                                                           |
| УОНИ-13/65 | 3;4;5       | Первый и последующие слои шва для сталей с $\sigma_B$ до 650 МПа | Наземные, надземные резервуары. -60°С                          |

| Марка            | Диаметр,<br>мм | Область применения                                                            | Применяемые<br>конструкции и<br>минимальная<br>температура<br>эксплуатации |
|------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| ВСФ-60<br>ВСФ-65 | 4;5            | Заполняющие и облицовочные<br>слои шва для сталей с<br>$\sigma_b=550-600$ МПа | Подземные, наземные<br>трубопроводы. $-60^{\circ}\text{C}$                 |
| ВСФ-75<br>ВСФ-85 | 4;5            | Заполняющие и облицовочные<br>слои шва для сталей с<br>$\sigma_b$ до 700 МПа  | -//-                                                                       |

Электроды с основным покрытием при отрицательной температуре обладают удовлетворительными сварочно-технологическими свойствами, обеспечивая высокую пластичность, ударную вязкость и стойкость против трещинообразования сварных швов [7].

### 1.3 Специальные методы и приёмы сварки при низких температурах

Сущность дополнительных мероприятий, которые необходимо проводить при сварке на морозе, сводится к следующему. Желательно применять основной металл, специально предназначенный для конструкций, работающих при низких температурах. Такой металл в состоянии поставки имеет повышенную стойкость против перехода в хрупкое состояние и мало изменяет свои свойства в околошовной зоне под воздействием процесса сварки [8]. Транспортировать и хранить металл следует в условиях, исключающих его деформацию и повреждение поверхности.

При проектировании конструкций необходимо избегать резкого изменения сечения сопрягаемых элементов и сосредоточения большого числа швов в одном месте. Это может привести к значительной концентрации напряжений и повысить вероятность хрупкого разрушения в процессе изготовления конструкции при низких температурах. Особое внимание следует обращать на доступность швов, правильный выбор режимов сварки и типа подготовки кромок. Стыковые швы, как правило,

должны быть двусторонними. При односторонних стыковых швах необходимо обеспечить возможность полного провара кромок [8].

Сварочно-монтажные работы сборке трубопровода в условиях отрицательных температурах выполняют двумя способами:

- предусматривают сварку труб в секции на трубосварочных базах с последующим соединением секций в «нитку» на трассе;
- проводят сварку отдельных труб в «нитку» непосредственно на трассе.

Первый способ имеет целый ряд преимуществ, так как на трубосварочных базах можно обеспечить временное сооружение для укрытия рабочих мест сборщиков и сварщиков. Трубы перед сборкой очищают от снега, льда и т.д. Стыки труб собирают с применением внутренних центраторов.

Трубопровод из стали высокой прочности сваривают при температуре не ниже минус 15 °С при толщине стали до 16 мм и не ниже 0 °С при толщине от 16 до 25 мм. При более низких температурах сталь указанных толщин, сваривают с предварительным подогревом до 120—160 °С. При толщине стали свыше 25 мм, предварительный подогрев выполняют во всех случаях независимо от температуры окружающей среды. Подогревающее устройство часто устанавливают по линии стыка и равномерно нагревают концы труб до температуры, определенной в соответствии с расчетом, на расстоянии не менее 150 мм от торцов. Температуру контролируют термокарандашами, термокрасками и различными приборами. После выполнения подогрева сваривают первый слой шва [2].

При температуре стали всех классов ниже минус 5°С сварку ведут от начала до конца без перерыва, за исключением времени, необходимого на смену электрода и зачистку шва в месте возобновления сварки. Прекращать сварку до выполнения шва проектного размера и оставлять незаваренными отдельные участки шва не допускается. В случае вынужденного

прекращения сварки ее следует возобновить после подогрева стали в соответствии с технологическим процессом.

В трубопроводах, эксплуатируемых в районах с низкой температурой от минус 40 °С до минус 65 °С, дефекты сварных швов и основного металла, можно исправлять только после подогрева металла зоны дефекта до 100-120 °С. Дефекты заваривают после подогрева этой зоны до 180-200 °С [2].

Ударные нагрузки при отрицательных температурах становятся чрезвычайно опасными, для металла шва и труб. Поэтому, начиная от разгрузки труб и далее на всех этапах монтажно-сварочных работ, необходимо избегать ударов по трубам, прихваткам, резкого скатывания сварных плетей с роликоопор.

При использовании ударного инструмента выполняют местный подогрев металла до 150—200 °С. Вмятины глубиной более 50 мм исправлять уже нельзя.

Запрещается сразу же после сварки скатывать секции в снег, так как это может вызвать ухудшение структуры металла, создать напряжения в металле швов и появление трещин.

Первые два слоя сваривают электродами 2 – 3 мм, доследующие слои, электродами 4 мм. Для облицовочных слоев можно применять электроды 5 мм. Сварка ведется на постоянном токе при большей энергии, что обеспечивается увеличением сварочного тока на 10—20 % по сравнению со сваркой в условиях положительных температур [2].

Поворотные и неповоротные стыки труб со скосом кромок 30° при толщине стенки до 6 мм сваривают не меньше чем в 2 слоя, а при толщине стенки больше 6 мм — не менее чем в 3 слоя.

Отдельные слои шва накладывают так, чтобы замыкающие участки швов не совпадали друг с другом. При двухслойной сварке первый слой шва по высоте должен составлять 60—70 % толщины стенок труб и обеспечивать полный провар корня шва и кромок. При трехслойной сварке высота первого

слоя должна быть равна 40—50 % толщины стенок труб. Общая высота первого и второго слоев должна составлять 80—90 %, толщины стенок труб; третий слой должен заполнить всю разделку стыка и иметь плавный переход от основного к наплавленному металлу [2].

#### 1.4 Применение модуляции сварочного тока

Впервые сварка модулированным током осуществлена в 1949 г. А.А. Казимировым с сотрудниками (способ сварки под флюсом пульсирующей дугой). Анализ способов сварки модулированным током (изменение параметров режима по заданной программе), был основан на терминологии предложенной Шигаевым Т.Г. [9].

Все известные и возможные способы сварки с изменением параметров режима по определенному закону считается целесообразным именовать сваркой модулированным током.

Влияние параметров режима ручной дуговой сварки модулированным током на форму шва было рассмотрено в работах [10, 11]. Необходимые размеры шва могут быть достигнуты только путем регулирования паузы и импульса тока при неизменных токах паузы и импульса. На практике это позволяет снизить до минимума количество регулировок источника питания, упростить и ускорить процесс настройки на режим сварки и упростить технику сварки.

Импульсно-дуговая сварка – разновидность СМТ, при которой обеспечивается управляемый перенос электродного металла. За счет периодического охлаждения ванны создаются условия, препятствующие деформации фронта затвердевания. Исследователи Потапьевский А.Г., Ленивкин В.А, Дюргеров Н.Г., Сагиров Х.Н. рассматривали эти вопросы в своих работах [12], [13].

Сварку ведут на двух энергетических уровнях. Высокий (импульс) и низкий (пауза). В период низкого энергетического уровня (пауза) ток либо отсутствует (рисунок 1а), либо имеет небольшую величину (рисунок 1б).



Импульсы тока имеют, как правило, прямоугольную или близкую к ней форму (скорость нарастания тока  $dl/dx > 10$  кА/с), частота переноса капель соответствует частоте следования импульсов тока  $> 25$  Гц.

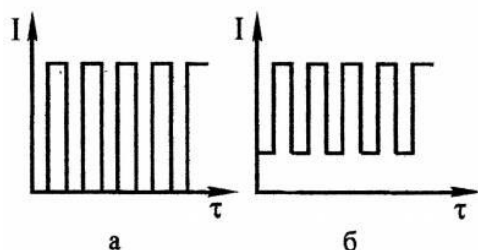


Рисунок 1 – Характер изменения тока при импульсно-дуговой сварке

Наложение импульсов позволяет существенно повысить интенсивность и устойчивость дугового разряда, изменяются гидродинамические процессы в сварочной ванне и условия ее затвердевания. Импульсное повышение давления дуги улучшает формирования шва, валик шва становится мелкочешуйчатым, наблюдается измельчение микроструктуры, связанное с ударным воздействием переносимых капель. В работе [14] исследовано влияние изменений вылета электрода на геометрические параметры швов при импульсно-дуговой сварке плавящимся электродом.

Установлено, что применение системы автоматической стабилизации средних значений напряжения на дуге с воздействием на параметры импульсов источника не позволяет компенсировать изменения ширины шва. Система автоматической стабилизации средних значений напряжения на дуге и сварочного тока с воздействием соответственно на параметры импульсов источника и скорость подачи электродной проволоки устраняет уменьшение ширины шва, вызванное увеличением вылета электрода. В работе [15] представлена система автоматической стабилизации процесса импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом, применение которой позволяет избежать появления дефектов типа пор, несплавлений, неравномерностей формирования швов, обеспечивает стабильность глубины проплавления, а

также улучшает качество формирования швов со стабильными геометрическими параметрами.

Сварка пульсирующей дугой – разновидность СМТ, при которой обеспечивается улучшение механических свойств сварного соединения путем термоциклического воздействия на сварочную ванну и околошовную зону. Параметры режима сварки – время нарастания  $T_n$  и спада  $T_c$  тока соизмеримы со временем импульса  $T_{и}$  и паузы  $T_{п}$ . Скорость изменения тока  $dl/dx < 10$  кА/с, частота следования импульсов меньше 25 Гц. В зависимости от способа модулирования сварочного тока и типа применяемого источника питания циклограмма процесса сварки пульсирующей дугой может иметь вид (рисунок 2).

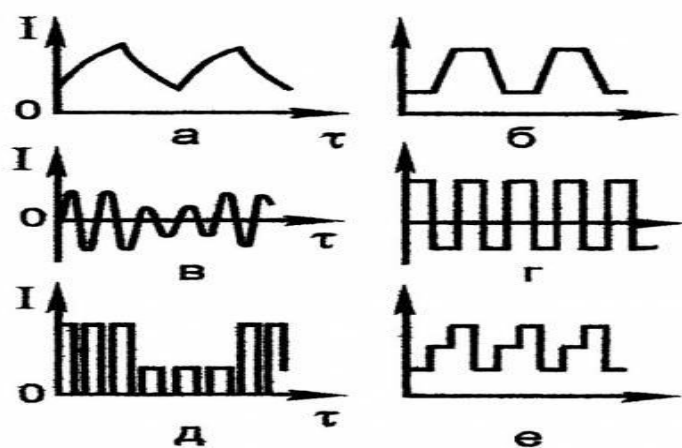


Рисунок 2 – Циклограммы процессов сварки пульсирующей дугой

Небольшая скорость изменения тока и низкая частота следования импульсов (рисунок 2а, 2б) требует синхронного изменения скорости подачи сварочной проволоки для сохранения устойчивости процесса [16]. Модулирование сварочного тока осуществляется также путем изменения напряжения питания двигателя подачи проволоки [17]. При модулировании переменного сварочного тока происходит периодическое изменение его амплитуды (рисунок 2в).

В работе [17] предложено модулировать сварочный ток по закону, представленному на рисунке 2д (сварка пачками импульсов). Частота

следования импульсов тока 5000...50000 Гц, частота изменения амплитуд импульсов 50...500 Гц. Этот прием позволяет достичь "резонансных" колебаний расплавленного металла ванны. Структура металла шва в таком случае отличается плотноупакованными столбчатыми кристаллитами, повышается прочность шва. Процесс сварки модулированным током, представленный на рисунке 2е используется в случаях, когда необходимо уменьшить скорость нарастания тока импульса. Роль второго (промежуточного) импульса двояка: он может быть подогревающим либо подготавливающим очередной сброс капли металла в ванну (при дуговой сварке плавящимся электродом) [18].

Для наглядности произведена сварка стали толщиной 10 мм с V-образной разделкой (угол раскрытия  $40^\circ$ ) с помощью установки УДИ-201 и многопостового сварочного выпрямителя ВКСМ-1000. Для сравнения выполняли сварку непрерывно горячей и пульсирующей дугами при одинаковой средней скорости 5 м/ч. При сварке в обычном режиме ток составлял 130... 150 А, а в пульсирующем изменялся от 50...70 до 200...220 А; напряжение на дуге в первом случае равнялось 20...22 В, а во втором в течение цикла пульсации оно возрастало от 16 до 26 В. В обоих случаях швы сваривали в нижнем положении с поперечными колебаниями электрода. Времени цикла пульсации дуги  $T_{\text{ц}} = 1,44\text{с}$  ( $T_{\text{н}} = 0,7\text{с}$ ,  $T_{\text{р}} = 0,74\text{с}$ ). При сварке в пульсирующем режиме производительность по сравнению с обычным режимом возрастает в 1,5..1,8 раза при хорошем формировании внешнего вида шва. Это возможно, т.к. пульсирующая дуга имеет больше, чем обычная дуга коэффициент сосредоточенности и обеспечивает качественную сварку с меньшим углом разделки.

Изучению влияния параметров режима сварки переменным модулированным током на скорость плавления покрытых электродов посвящена работа [19]. Сваривали сталь СтЗсп толщиной 10 мм электродами АНО-21 диаметром 3 мм. Исследован характер расплавления электрода в зависимости от параметров режима сварки с применением метода

планирования эксперимента. Ток импульса  $J_{и}$  изменяли в пределах 120...200А, ток паузы  $J_{п}$  - в интервале 40... 120 А, длительность импульса  $t_{и}$  и паузы  $t_{п}$  – в диапазоне 0,02... 0,4 с. Исследованиями было установлено, что при сварке модулированным током скорость плавления электрода повышается примерно на 20 % по сравнению со сваркой стационарной дугой, преимущественно за счет увеличения тока импульса. Полученные результаты позволили оптимизировать процесс ручной дуговой сварки переменным модулированным током и разработать режимы сварки стыковых соединений толщиной до 10 мм. Таким образом, существующие способы сварки толстолистового металла - электрошлаковая, электроннолучевая, в среде защитных газов или под флюсом при всех своих возможностях имеют существенные ограничения и недостатки.

Применение метода адаптивной импульсно-дуговой сварки позволяет получать у сварных соединений низкоуглеродистых сталей типа 09Г2С, 10Г2С, 17Г1СУ, более высокую однородность структуры и в 1,5-2,5 раза уменьшить размеры зерен металлов сварного шва и ЗТВ, а также повысить однородность распределения основных легирующих элементов в металле шва и снизить их угар [20].

### 1.5 Металл, используемый для трубопровода в условиях низких температур

Для обеспечения работоспособности сварных соединений при низких температурах должна быть выбрана при проектировании и изготовлении сварных строительных конструкций сталь, имеющая достаточно низкий температурный интервал хрупкости и мало изменяющая свои свойства в околошовной зоне под воздействием процесса сварки [21].

Это правило подбора стали для изготовления конструкций, работающих в различных климатических районах нашей страны, предусмотрено в работе [22].

Требования к металлам, применяемые в условиях крайнего севера:

- металл должен выдерживать сильные ветровые нагрузки;
- свободно противостоять давлению снеговых нагрузок;
- выдерживать давление даже при низких температурах: минус 40 °С, минус 60 °С;
- трубы для районов Крайнего Севера должны выдерживать воздействия динамических нагрузок, которые могут быть вызваны резким нарушением технологического процесса.

Бесшовная горячедеформированная труба хорошо подходит для работ в условиях низких климатических температур. Стали марок 09Г2С, 12Х18Н10Т, 13ХФА, 17Г1С отлично подходят по перечисленные условия.

Не следует применять трубы общего назначения в местах, где в зимнее время температура достигает минус 40 °С, т.к. стандартные виды труб не способны выдерживать сильных перегрузов и морозов [23].

Широкое распространение и популярность стали 09Г2С объясняется тем, что ее высокие механические свойства позволяют экономить при изготовлении строительных конструкций. Следует отметить, что она имеет высокую устойчивость к язвенной коррозии, сульфитному коррозионному растрескиванию и появлению водородных трещин. Более того, такие конструкции имеют меньший вес. Из данной стали изготавливаются, элементы и детали сварных металлических конструкций, которые могут работать при температурах от минус 70 °С до плюс 450 °С. Лист 09Г2С используется и для производства листовых конструкций в нефтяной и химической промышленности, судостроении и машиностроении. Устойчивость к низким температурам позволяет применять трубу 09Г2С в условиях крайнего севера для прокладки магистральных нефте – и газопроводов.

Труба 12Х18Н10Т обладает прекрасной повышенной коррозионной стойкостью и хладостойкостью. У нее великолепнейшие гидроизоляционные свойства и она не боится очень низкой температуры. Ее используют для

нефте- и газопроводов, при транспортировке газа, а также в системах поддержания пластового давления [23].

Сталь 17Г1С – применяется для изготовления сварных металлоконструкций и деталей, работающих под давлением при температурах от минус 40 °С до плюс 475 °С; деталей и элементов трубопроводов пара и горячей воды атомных станций, с расчётной температурой среды не выше 350°С при рабочем давлении менее 2,2 МПа (22 кгс/см<sup>2</sup>), сварных переходов, фланцев, сварных тройников и других фасонных деталей трубопроводов с температурой эксплуатации от минус 40 °С до плюс 350 °С; для строительства газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов, тепловых электростанций и тепловых сетей, прямо-шовных электросварных экспандированных труб, предназначенных для строительства трубопроводов высокого давления; электросварных спирально-шовных наружным диаметром 720, 820, 1020 и 1220 мм с антикоррозионным наружным покрытием для работы под давлением до 7,4 МПа (75 кгс/см<sup>2</sup>), предназначенных для магистральных трубопроводов транспортирующих некоррозионно-активный газ [24].

## 2 Методика и материалы исследования

В процессе выполнения магистерской диссертации для наплавки и сварки покрытыми электродами, было использовано следующее оборудование:

- установка УДИ-201;
- многопостовой сварочный выпрямитель ВКСМ-1000;
- балластный реостат РБ-302.

Для оценки влияния различных марок покрытых электродов и параметров режима сварки на формирование структуры и свойств наплавленного металла была выполнена наплавка ниточных валиков на металлические пластины из стали 09Г2С толщиной 10 мм. Длина наплавленного валика составляла 250...300 мм.

Для технологических работ использовались покрытые электроды следующих марок:

- ООО «Высокие технологии» (электроды марки УОНИ-13/МОРОЗ), г. Москва;
- ООО «ХОБЭКС» (электроды марки ХОБЭКС) г. Волгоград;
- ООО НПЦ «Сварочные материалы» (электроды марки LB-52KRU, LB-52МК) г. Краснодар;
- ООО «Герон» (электроды марки ГЕРОН УОНИ-13/55) г. Томск;
- “Kobesteel” ltd (электроды марки LB-52TU) Japan.

Их химический состав представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Электроды покрытые, применяемые при наплавке и заварке

| Марка электрода | C, %  | Si, % | Mn, % | Ni, % | Mo, % | S, %  | P, %  | KCV, Дж/см <sup>2</sup> | $\sigma_b$ , МПа | Отн. уд-е $\delta_5$ , % |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------------|------------------|--------------------------|
| УОНИ-13/МОРОЗ   | 0,075 | 0,3   | 0,7   | 2,8   | -     | 0,010 | 0,017 | 210                     | 660              | 22,0                     |
| ХОБЭКС          | 0,09  | 0,42  | 0,83  | -     | -     | 0,022 | 0,024 | 260                     | 540              | 29                       |
| LB-52KRU        | 0,09  | 0,42  | 0,9   | -     | -     | 0,017 | 0,020 | $\geq 49$ при -30°C     | 540              | 29                       |

| Марка электрода  | C, %      | Si, %     | Mn, %     | Ni, % | Mo, % | S, %  | P, %  | KCV, Дж/см <sup>2</sup> | $\sigma_b$ , МПа | Отн. уд-е $\delta_5$ , % |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------------------------|------------------|--------------------------|
| ЛБ-52МК          | 0,08-0,09 | 0,28-0,34 | 0,98-1,14 | -     | -     | 0,006 | 0,012 | 217                     | 547              | 28,7-31,0                |
| ГЕРОН УОНИ-13/55 | 0,09      | 0,42      | 0,83      | -     | -     | 0,022 | 0,024 | 260                     | 540              | 29                       |
| ЛБ-52U           | 0,06      | 0,52      | 1,01      | 0,01  | 0,01  | 0,005 | 0,011 | 100 при -40°C           | 540              | 34                       |

Параметры режима наплавки ниточного валика для каждой марки электродов представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры режима наплавки ниточного валика

| Номер образца | Сварочные материалы | Род и полярность тока | Сила тока, А                           | Напряжение, В | Длительность импульсов, с |
|---------------|---------------------|-----------------------|----------------------------------------|---------------|---------------------------|
| 1-1           | УОНИ-13Мороз, Ø3 мм | Пост, обр             | 79,6                                   | 22,2          |                           |
| 1-2           | УОНИ-13Мороз, Ø4 мм | Пост, обр             | 154,1                                  | 23,0          |                           |
| 1-3           | УОНИ-13Мороз, Ø3 мм | Имп., обр             | $I_n=112$<br>$I_n=30$<br>$I_{cp}=92,3$ | 20,4          | $\tau_n=\tau_n=0,3$       |
| 1-4           | УОНИ-13Мороз, Ø4 мм | Имп., обр             | $I_n=160$<br>$I_n=34$<br>$I_{cp}=146$  | 21,6          | $\tau_n=\tau_n=0,3$       |
| 2-1           | Хобэкс, Ø3 мм       | Пост, обр             | 81,5                                   | 21            |                           |
| 2-2           | Хобэкс, Ø4 мм       | Пост, обр             | 150,3                                  | 22,6          |                           |
| 2-3           | Хобэкс, Ø3 мм       | Имп., обр             | $I_n=105$<br>$I_n=29$<br>$I_{cp}=91,8$ | 20,1          | $\tau_n=\tau_n=0,3$       |
| 2-4           | Хобэкс, Ø4 мм       | Имп., обр             | $I_n=178$<br>$I_n=34$<br>$I_{cp}=154$  | 21,2          | $\tau_n=\tau_n=0,3$       |
| 3-1           | ЛБ-52KRU, Ø3 мм     | Пост, обр             | 84,4                                   | 19,8          |                           |
| 3-2           | ЛБ-52KRU, Ø4 мм     | Пост, обр             | 150,2                                  | 20,0          |                           |
| 3-3           | ЛБ-52KRU, Ø3 мм     | Имп., обр             | $I_n=105$<br>$I_n=29$<br>$I_{cp}=94$   | 19,0          | $\tau_n=\tau_n=0,3$       |
| 3-4           | ЛБ-52KRU, Ø4 мм     | Имп., обр             | $I_n=208$<br>$I_n=36$<br>$I_{cp}=145$  | 22            | $\tau_n=\tau_n=0,3$       |



Продолжение таблицы 4

| Номер образца | Сварочные материалы | Род и полярность тока | Сила тока, А                                                     | Напряжение, В | Длительность импульсов, с             |
|---------------|---------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------------|
| 4-1           | ЛБ-52МК, Ø3 мм      | Пост, обр             | 87,2                                                             | 20,1          |                                       |
| 4-2           | ЛБ-52МК, Ø4 мм      | Пост, обр             | 153                                                              | 22,1          |                                       |
| 4-3           | ЛБ-52МК, Ø3 мм      | Имп., обр             | $I_{\text{н}}=110$<br>$I_{\text{п}}=30$<br>$I_{\text{ср}}=92,6$  | 19,6          | $\tau_{\text{н}}=\tau_{\text{п}}=0,3$ |
| 4-4           | ЛБ-52МК, Ø4 мм      | Имп., обр             | $I_{\text{н}}=186$<br>$I_{\text{п}}=36$<br>$I_{\text{ср}}=151$   | 20,1          | $\tau_{\text{н}}=\tau_{\text{п}}=0,3$ |
| 5-1           | Герон-13/55, Ø3 мм  | Пост, обр             | 82,2                                                             | 21,1          |                                       |
| 5-2           | Герон-13/55, Ø4 мм  | Пост, обр             | 151,4                                                            | 21,5          |                                       |
| 5-3           | Герон-13/55, Ø3 мм  | Имп., обр             | $I_{\text{н}}=120$<br>$I_{\text{п}}=33$<br>$I_{\text{ср}}=97,6$  | 19,5          | $\tau_{\text{н}}=\tau_{\text{п}}=0,3$ |
| 5-4           | Герон-13/55, Ø4 мм  | Имп., обр             | $I_{\text{н}}=210$<br>$I_{\text{п}}=38$<br>$I_{\text{ср}}=151,8$ | 20,3          | $\tau_{\text{н}}=\tau_{\text{п}}=0,3$ |
| 6-1           | ЛБ-52У, Ø3 мм       | Пост, обр             | 80,6                                                             | 21,5          |                                       |
| 6-2           | ЛБ-52У, Ø4 мм       | Пост, обр             | 140,7                                                            | 21,7          |                                       |

Для оценки наплавленных ниточных валиков производились визуально-измерительный контроль и металлографические исследования. Визуально-измерительный контроль проводился в соответствии с РД 03-606-03 (инструкция по визуальному и измерительному контролю), металлографические исследования проводились по ГОСТ 5639-82 и ГОСТ Р 57180.

Для металлографических исследований были вырезаны образцы поперек наплавленного ниточного валика. Образцы шлифовались и полировались до шероховатости Rz 1,25 мкм.

Выявление структуры обработанного металла осуществляли методом окунания предварительно отполированной поверхности в реактив, которые имеют следующие состав:  $\text{HNO}_3:\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}=2:100$ . Время выдержки металла в реактиве варьировалось от 2 до 5 секунд. Структуру получившихся образцов

исследовали с помощью инвертированного металлографического микроскопа Olympus GX51.

Микротвердость измеряли на стационарном микротвердомере HVS-1000 с шагом по глубине 100 мкм при нагрузке 10 Н в поперечном направлении.

После анализа формирующихся структур наплавленного металла были сварены образцы из стали 09Г2С на скорректированных режимах. Параметры режима сварки представлены в приложении таблица Б.1.

На рисунке 3 представлены конструктивные элементы сварных соединений.

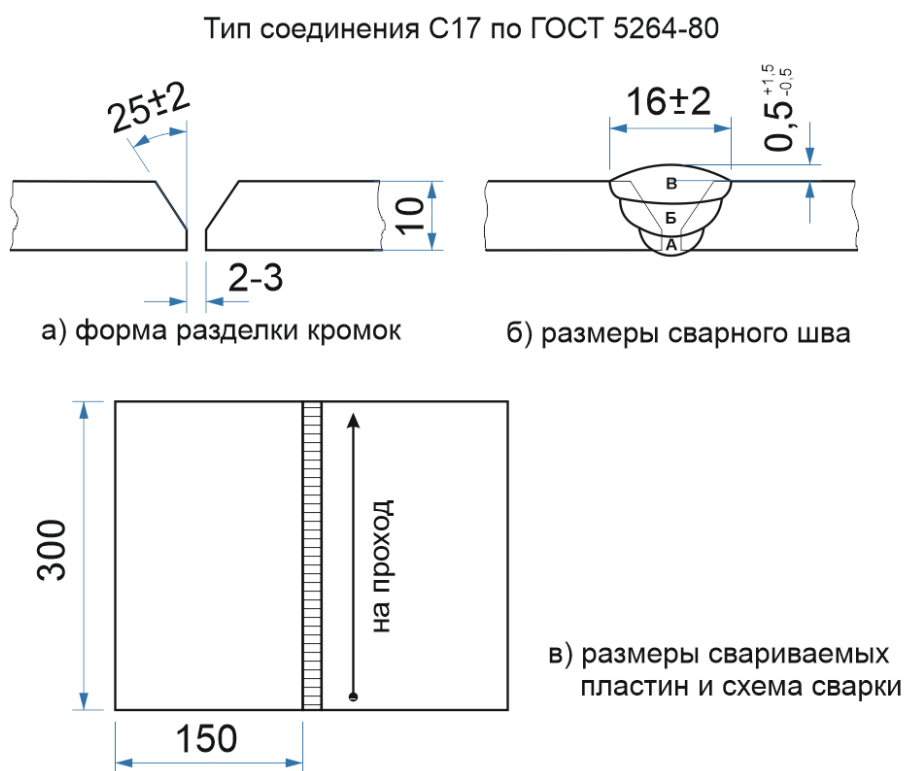


Рисунок 3 – Размеры образцов сварных соединений

Выполненные сварные соединения оценивались визуально-измерительным и радиографическим контролем. Визуальный и измерительный контроль был выполнен в соответствии с РД 03-606-03, а радиографический контроль по ГОСТ 7512-82.

Погонная энергия валика сварного шва выполненного постоянным током находится по формуле:

$$q = \frac{\eta \cdot I_{св} \cdot U_{д}}{V_{св}}, \quad (1)$$

где  $\eta$  - эффективный КПД нагрева металла, кал/с;

$U_{д}$  - напряжение на дуге, В;

$I_{св}$  - ток сварки, А;

$V_{св}$  - скорость сварки, м/ч.

Погонная энергия наплавленных валиков выполненных ручной дуговой сваркой постоянным током представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Погонная энергия для ручной дуговой наплавки постоянным током

| Номер образца | Сварочные материалы               | Сила тока, А | Погонная энергия, $q \cdot 10^{-2}$ , Дж/см |
|---------------|-----------------------------------|--------------|---------------------------------------------|
| 1-1           | УОНИ-13/Мороз, $\varnothing 3$ мм | 79,6         | 481                                         |
| 1-2           | УОНИ-13/Мороз, $\varnothing 4$ мм | 154,1        | 498                                         |
| 2-1           | ХОБЭКС, $\varnothing 3$ мм        | 81,5         | 540                                         |
| 2-2           | ХОБЭКС, $\varnothing 4$ мм        | 150,3        | 630                                         |
| 3-1           | LB-52KRU, $\varnothing 3$ мм      | 84,4         | 640                                         |
| 3-2           | LB-52KRU, $\varnothing 4$ мм      | 150,2        | 567                                         |
| 4-1           | LB-52МК, $\varnothing 3$ мм       | 87,2         | 550                                         |
| 4-2           | LB-52МК, $\varnothing 4$ мм       | 153          | 522                                         |
| 5-1           | УОНИ-13/55, $\varnothing 3$ мм    | 82,2         | 566                                         |
| 5-2           | УОНИ-13/55, $\varnothing 4$ мм    | 151,4        | 431                                         |
| 6-1           | LB-52U, $\varnothing 3$ мм        | 80,6         | 441                                         |
| 6-2           | LB-52U, $\varnothing 4$ мм        | 140,7        | 406                                         |

Погонная энергия валика наплавленного валика выполненного импульсно-дуговой сваркой представлена в таблице 6 и находится по формуле:

$$q = \frac{I_u \cdot U_u \cdot c + I_n \cdot U_n \cdot (1 - c)}{V_{св}}, \quad (2)$$

где  $I_u$  - ток импульса, А;

$U_{и}$  - напряжение импульса, В;

$I_{п}$  - ток паузы, А;

$U_{п}$  - напряжение паузы, В

$V_{св}$  - скорость сварки, м/ч.

$$c = \tau_{и} / (\tau_{и} + \tau_{п}), \quad (3)$$

где  $\tau_{и}$  – длительность импульса;

$\tau_{п}$  – длительность паузы.

Таблица 6 – Погонная энергия для импульсно-дуговой наплавки

| Номер образца | Сварочные материалы               | Сила тока, А                                | Погонная энергия, $q \cdot 10^{-2}$ , Дж/см |
|---------------|-----------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1-3           | УОНИ-13/Мороз, $\varnothing 3$ мм | $I_{и}=112$<br>$I_{п}=30$<br>$I_{ср}=92,3$  | 269                                         |
| 1-4           | УОНИ-13/Мороз, $\varnothing 4$ мм | $I_{и}=160$<br>$I_{п}=34$<br>$I_{ср}=146$   | 387                                         |
| 2-3           | ХОБЭКС, $\varnothing 3$ мм        | $I_{и}=105$<br>$I_{п}=29$<br>$I_{ср}=91,8$  | 326                                         |
| 2-4           | ХОБЭКС, $\varnothing 4$ мм        | $I_{и}=178$<br>$I_{п}=34$<br>$I_{ср}=154$   | 430                                         |
| 3-3           | LB-52KRU, $\varnothing 3$ мм      | $I_{и}=105$<br>$I_{п}=29$<br>$I_{ср}=94$    | 321                                         |
| 3-4           | LB-52KRU, $\varnothing 4$ мм      | $I_{и}=208$<br>$I_{п}=36$<br>$I_{ср}=145$   | 604                                         |
| 4-3           | LB-52МК, $\varnothing 3$ мм       | $I_{и}=110$<br>$I_{п}=30$<br>$I_{ср}=92,6$  | 310                                         |
| 4-4           | LB-52МК, $\varnothing 4$ мм       | $I_{и}=186$<br>$I_{п}=36$<br>$I_{ср}=151$   | 549                                         |
| 5-3           | УОНИ-13/55, $\varnothing 3$ мм    | $I_{и}=120$<br>$I_{п}=33$<br>$I_{ср}=97,6$  | 287                                         |
| 5-4           | УОНИ-13/55, $\varnothing 4$ мм    | $I_{и}=210$<br>$I_{п}=38$<br>$I_{ср}=151,8$ | 564                                         |

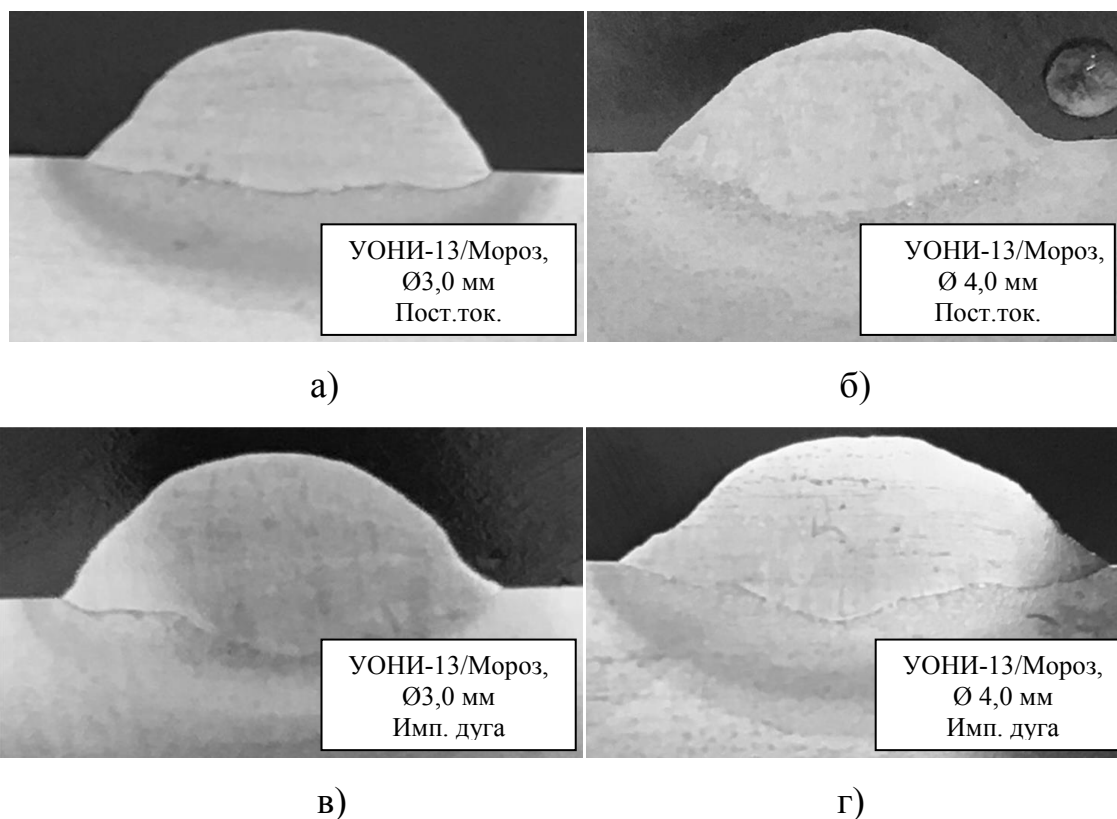
### 3 Результаты проведенного исследования

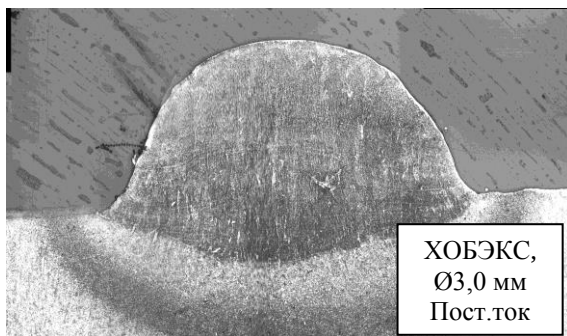
#### 3.1 Результаты исследования наплавленного металла

В процессе выполнения наплавки покрытыми электродами было выявлено легкое зажигание и стабильное горение дуги при использовании электродов марок УОНИ-13/Мороз и LB-52U. При формировании швов УОНИ-13/Мороз, LB-52МК и LB-52U электродами наблюдалось легкое отделение шлака, хорошее формирование шва и высокая жидкотекучесть шлаковой ванны. Остальные марки покрытых электродов показали плохое отделение шлака (как песок), повышенное разбрызгивание металла, плохое зажигание дуги и постоянное залипание электрода.

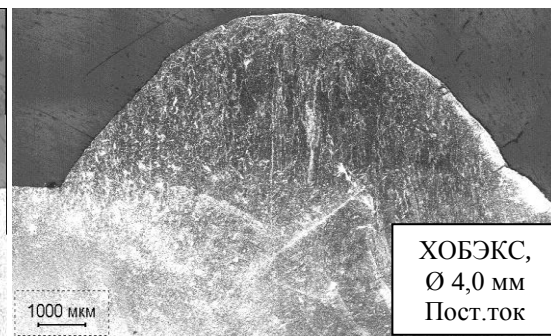
В зависимости от диаметра электрода, его марки и характера питания дуги изменялась форма наплавленных валиков.

На рисунке 4 представлены макрофотографии поперечного сечения наплавленных валиков.

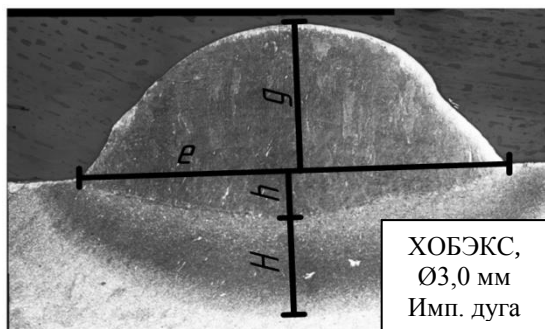




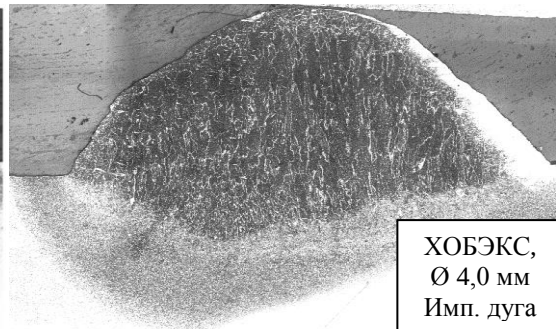
д)



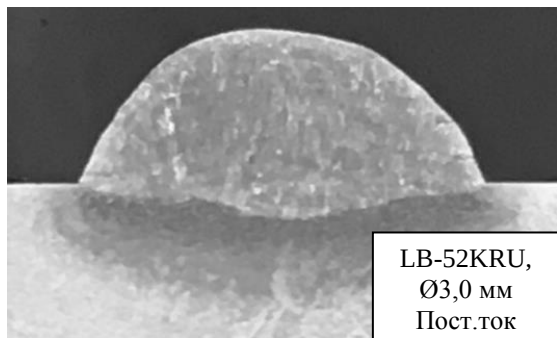
е)



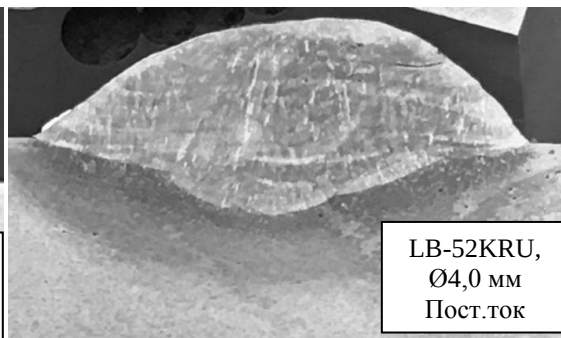
ж)



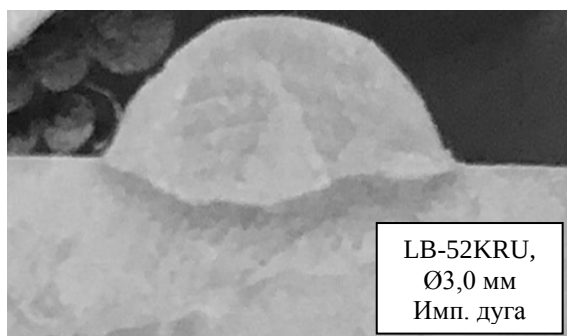
з)



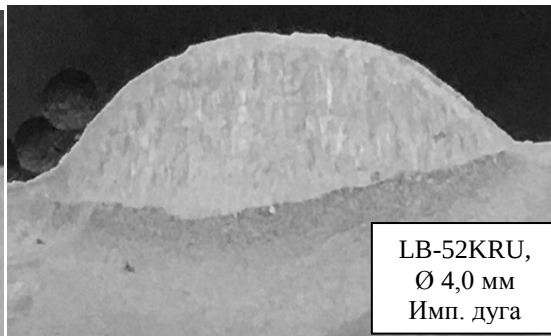
и)



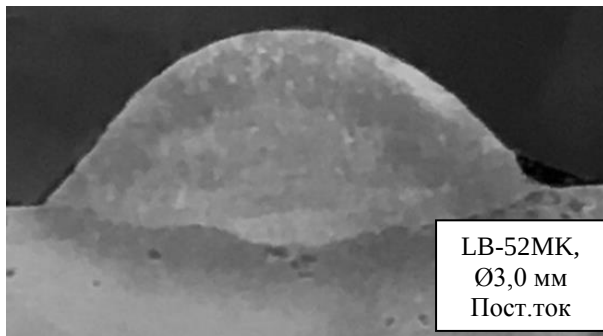
к)



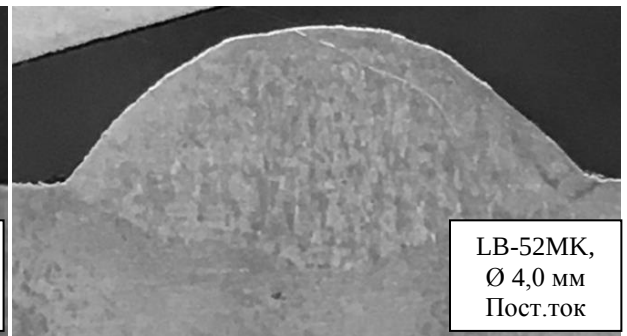
л)



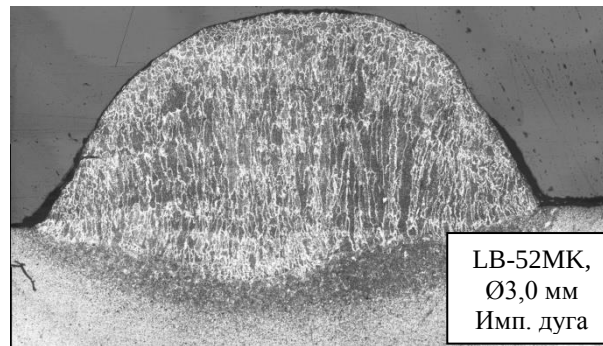
м)



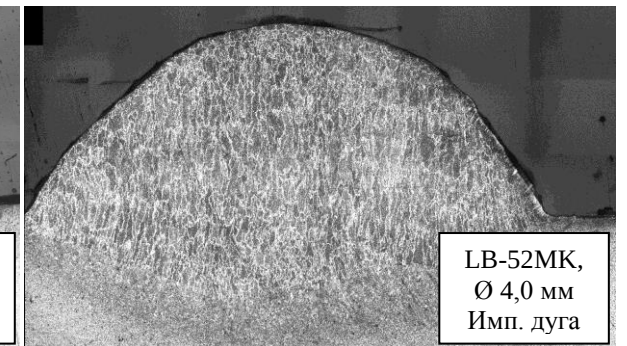
н)



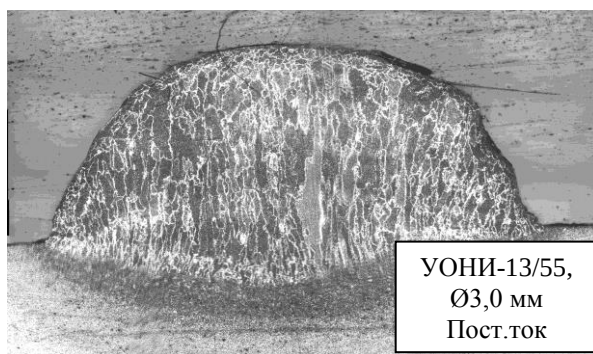
о)



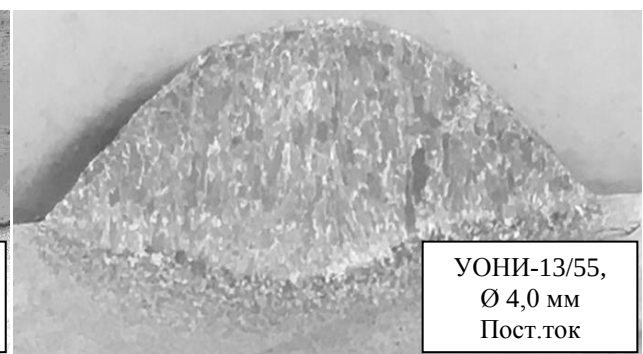
п)



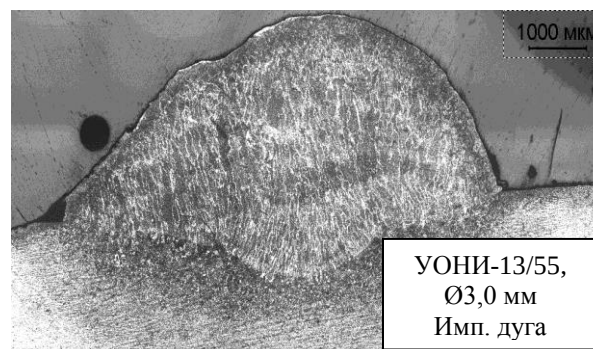
р)



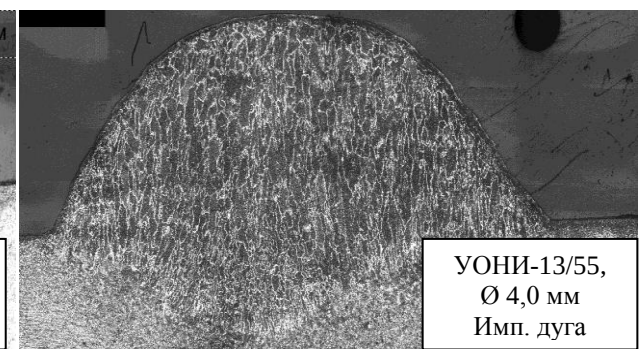
с)



т)



у)



ф)

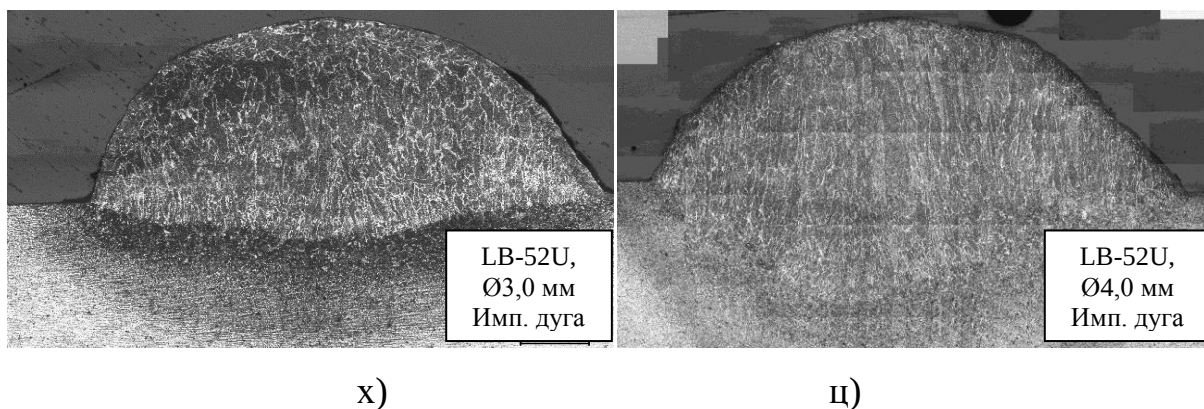


Рисунок 4 – Макрофотографии поперечного сечения наплавленных валиков

а – образец 1-1; б – образец 1-2; в – образец 1-3; г – образец 1-4; д – образец 2-1; е – образец 2-2; ж – образец 2-3; з – образец 2-4; и – образец 3-1; к – образец 3-2; л – образец 3-3; м – образец 3-4; н – образец 4-1; о – образец 4-2; п – образец 4-3; р – образец 4-4; с – образец 5-1; т – образец 5-2; у – образец 5-3; ф – образец 5-4; х – образец 6-1; ц – образец 6-2

### 3.2 Сравнение валиков по гистограммам

Из гистограмм, изображенных на рисунках 5 и 6, следует, что если учитывать 5 % разброс значений, то высота ниточных валиков образцов имеет почти одинаковую высоту. Только у марки электродов ХОБЭКС диаметром 3 мм получились низкие показатели высоты при среднем значении погонной энергии. И электроды УОНИ-13/Мороз диаметром 4 мм также имеют низкий показатель высоты валика при среднем значении погонной энергии. Хорошие показатели высоты валика имеют электроды марки LB-52U и LB-52МК.

Так же из данных гистограмм можно заметить, что УОНИ-13/Мороз, LB-52МК и LB-52U имеют повышенный коэффициент плавления, т.к. при малых значениях погонной энергии валики имеют аналогичную высоту, как у валиков выполненных другими электродами.





Рисунок 5 – Гистограмма по высоте валика для электродов диаметром 3 мм



Рисунок 6 – Гистограмма по высоте валика для электродов диаметром 4 мм

На рисунках 7 и 8 представлены гистограммы по ширине валика в зависимости от диаметра и от погонной энергии сварки для каждой марки покрытых электродов, используемых в работе.

Покрытые электроды марки ХОБЭКС и УОНИ-13/Мороз, как и с высотой, имеют малое значение ширины при значении погонной энергии выше среднего. Это объясняется их меньшим коэффициентом плавления. Так же вновь можно отметить покрытые электроды марок LB-52U и LB-52МК,

они имеют хорошие показатели ширины наплавленного ниточного валика, как при сварке постоянным питанием, так и при импульсном питании дуги. Это объясняется тем, что у данных электродов высокий показатель коэффициента плавления, относительно других марок.



Рисунок 7 – Гистограмма по ширине валика для электродов диаметром 3 мм

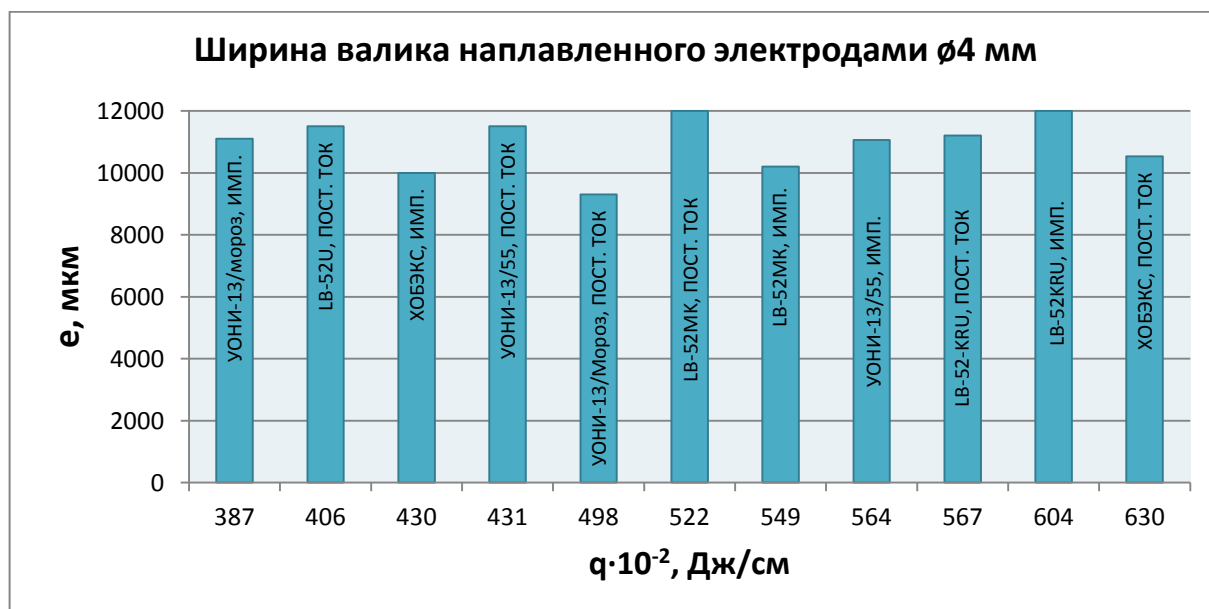


Рисунок 8 – Гистограмма по ширине валика для электродов диаметром 4 мм

На гистограммах, изображенных на рисунках 9 и 10, можно отметить электроды марок LB-52U и LB-52МК, они имеют хорошие показатели глубины проплавления относительно других марок. Однако при повышении

диаметра электрода для импульсно-дуговой наплавки глубина проплавления меняется незначительно. Низкое значение глубины проплавления при значении погонной энергии выше среднего, получилось у электродов марки УОНИ-13/Мороз, LB-52KRU диаметром 3 мм. Также из данных гистограмм видно, что использование импульсно-дуговой сварки приводит к значительному снижению глубины проплавления, чем при постоянном питании дуги.



Рисунок 9 – Гистограмма по глубине проплавления валика для электродов диаметром 3 мм



Рисунок 10 – Гистограмма по глубине проплавления валика для электродов диаметром 4 мм

Данные показатели объясняются тем, что в большинстве случаев большая глубина проплавления достигается на постоянном токе обратной полярности (это подтверждают гистограммы на рисунках 9 и 10), потому что дуга лучше сфокусирована на рабочей поверхности.

Так же влияет угол наклона электрода в направлении сварки, влияет на то, как дуга направлена на рабочую поверхность. При угле атаки от  $0^\circ$  до  $10^\circ$  (т. е. если электрод почти перпендикулярен поверхности) глубина проплавления максимальна. По мере увеличения угла глубина проплавления снизится.

При сварке покрытыми электродами разных диаметров при одинаковой силе сварочного тока в случае с электродом меньшего диаметра глубина проплавления будет больше, т.к. данный электрод имеет меньшую площадь сечения. В каждом случае через покрытый электрод проходит одинаковый ток, из-за этого плотность тока в случае меньшего электрода оказывается выше. Поэтому из-за более высокой плотности тока электроды меньшего диаметра имеют большую глубину проплавления.

Скорость наплавки ниточного шва влияет на то, сколько времени есть у энергии дуги на то, чтобы проникнуть в основной материал в каждой отдельно взятой точке шва. По мере увеличения скорости сварки время нахождения дуги в отдельной точке шва снижается, из-за чего снижается глубина проплавления и наоборот.

На рисунке 4ж образца 2-3, величина Н обозначает ширину ЗТВ образца. Таким способом при помощи инвертированного металлографического микроскопа Olympus GX51 была измерена ширина ЗТВ каждого образца.

Из гистограмм, изображенных на рисунках 11 и 12 видно, что у электродов марки УОНИ-13/55 низкий показатель ширины ЗТВ, даже при значениях погонной энергии выше среднего. Так же из данных гистограмм, можно отметить покрытые электроды LB-52U и LB-52МК, т.к. у данных

марок электродов ширина ЗТВ при повышении диаметра электрода почти не изменилась.

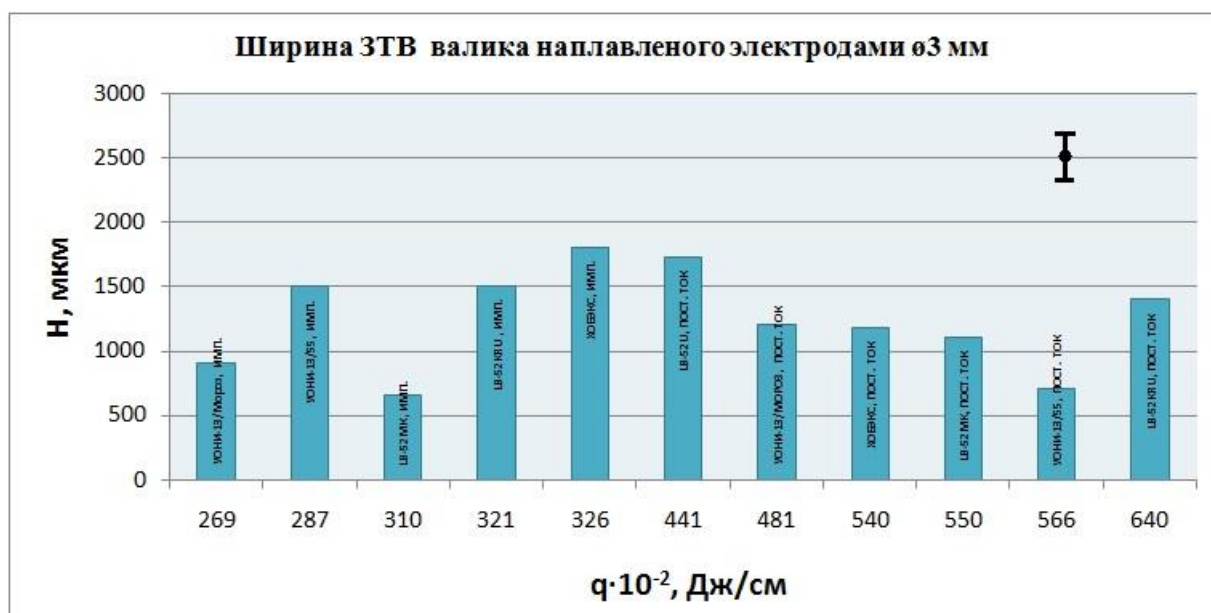


Рисунок 11 – Гистограмма по ширине ЗТВ электродов диаметром 3 мм

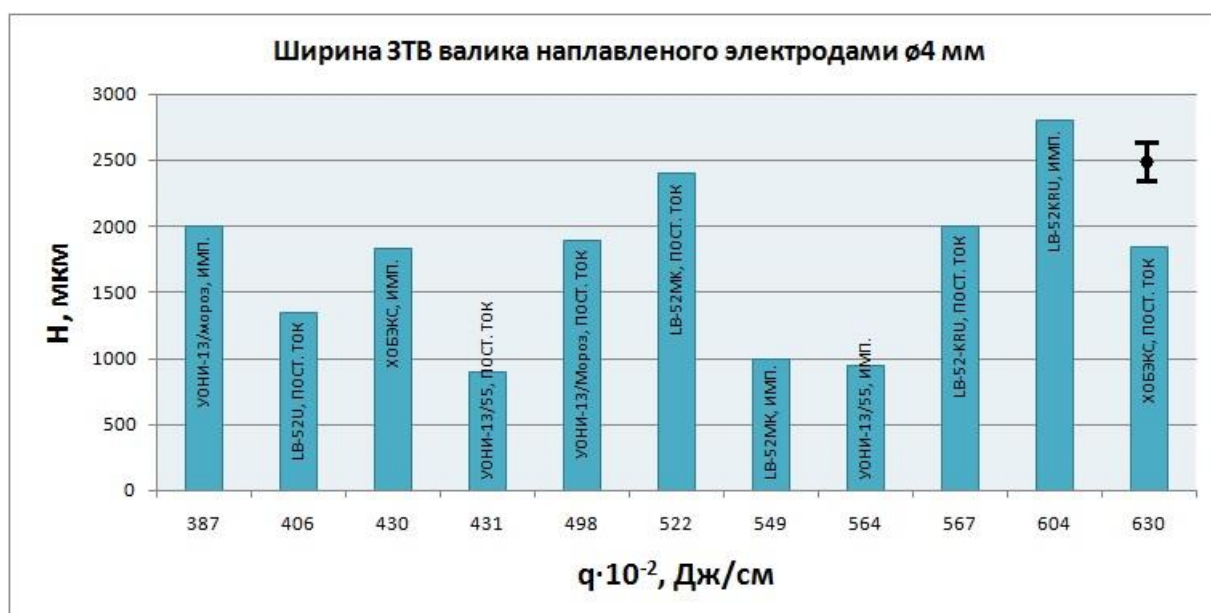
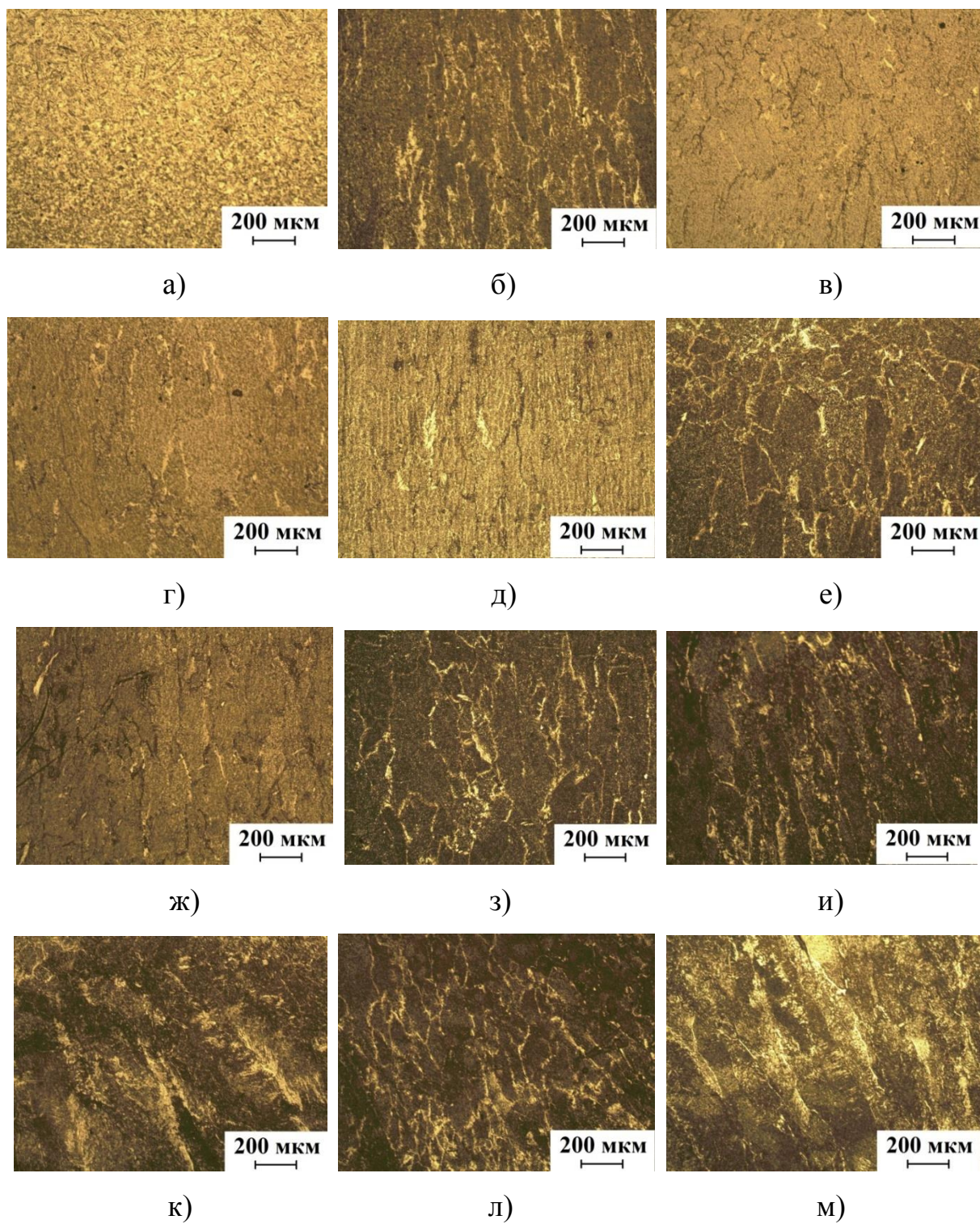


Рисунок 12 – Гистограмма по ширине ЗТВ электродов диаметром 4 мм



### 3.3 Характер роста зерен

С помощью инвертированного металлографического микроскопа Olympus GX51 на рисунке 13 показаны фотографии микроструктуры наплавленных валиков.





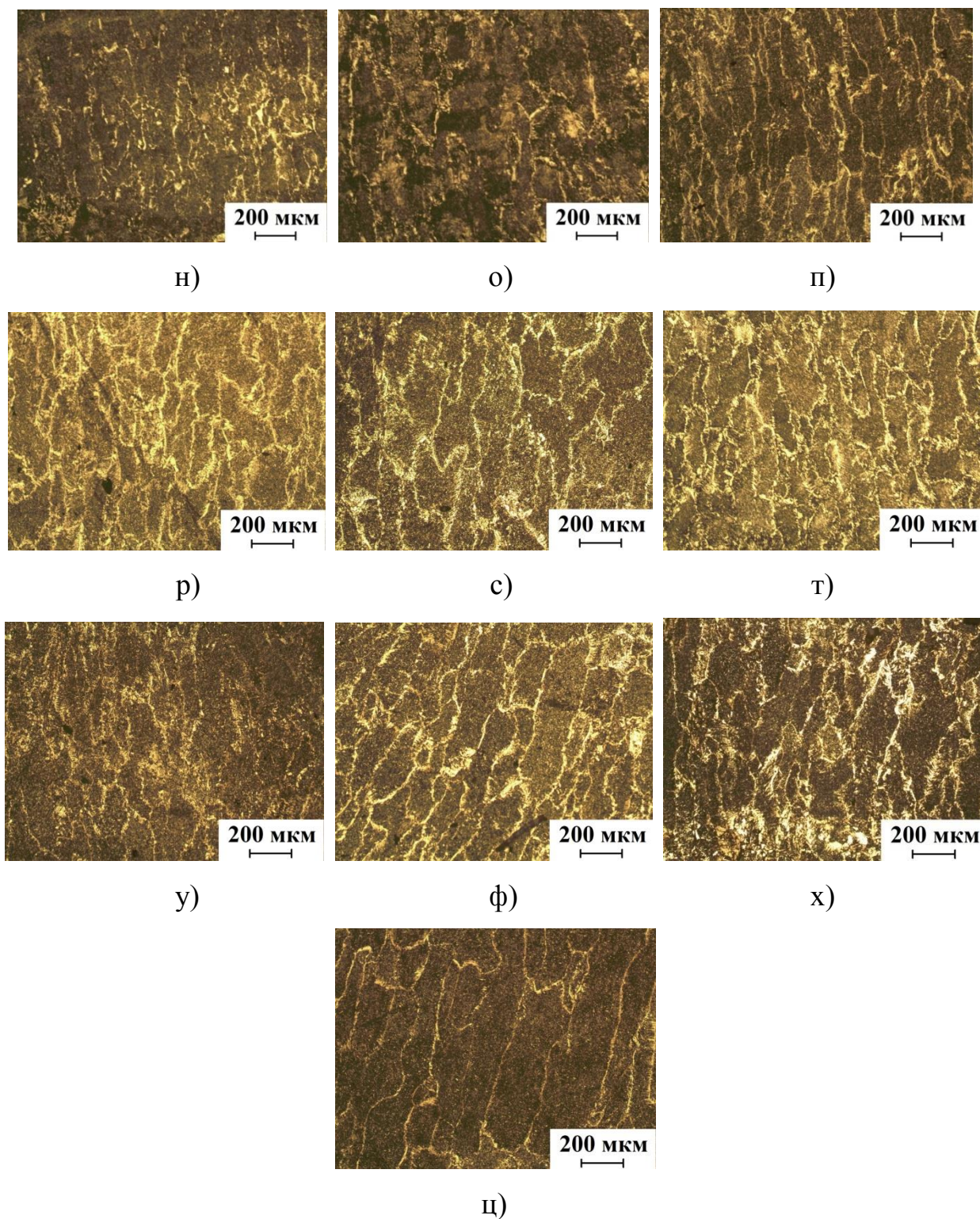


Рисунок 13 – Фотографии микроструктуры образцов

а – образец 1-1; б – образец 1-2; в – образец 1-3; г – образец 1-4; д –  
образец 2-1; е – образец 2-2; ж – образец 2-3; з – образец 2-4; и – образец 3-1;  
к – образец 3-2; л – образец 3-3; м – образец 3-4; н – образец 4-1; о –  
образец 4-2; п – образец 4-3; р – образец 4-4; с – образец 5-1; т – образец 5-2;  
у – образец 5-3; ф – образец 5-4; х – образец 6-1; ц – образец 6-2

Тепловложение в процессе сварки оказывает значительное влияние на формирование структуры наплавленного металла. У большинства образцов с меньшей погонной энергией структура получилась с разориентированными мелкими зернами, у остальных образцов структура имеет форму столбчатых кристаллов по всей длине наплавки.

Так же по предоставленным структурам видно, что использование импульсно-дуговой сварки приводит к измельчению зерна и его разориентации, это связано с тем, что при использовании модулированного тока с большими длительностью импульса и длительностью паузы ( $\tau_{\text{и}}=\tau_{\text{п}}=0,3$  мс), происходит неравномерная кристаллизация наплавленного металла.

Микроструктура наплавленного металла выглядит в виде пакетов дендритов, отличающихся углом разориентации. Режимы с длительностью импульса практически равной длительности паузы приводят к получению структуры наплавленного металла, у которого угол разориентации между соседними пакетами дендритов превышает  $20^\circ$ . Измельчение структуры при импульсно-дуговой наплавке способствует изменению твердости, что влечет за собой повышенные прочностные характеристик и снижение риска возникновения деформации.

### 3.4 Сравнение гистограмм по размеру зерен

Из гистограмм, изображенных на рисунках 14 и 15 можно отметить, что при импульсном питании дуги, при наплавке электродами УОНИ-13/Мороз формируется незначительно меньшей длины зерно, чем при постоянном питании дуги. Так же при увеличении диаметра электрода длина зерен, также незначительно увеличивается, но если взять 5% разброс измерений, то зерна имеют примерно близкую друг к другу длину зерна.





Рисунок 14 – Гистограмма средней длине зерна электродов диаметром 3 мм

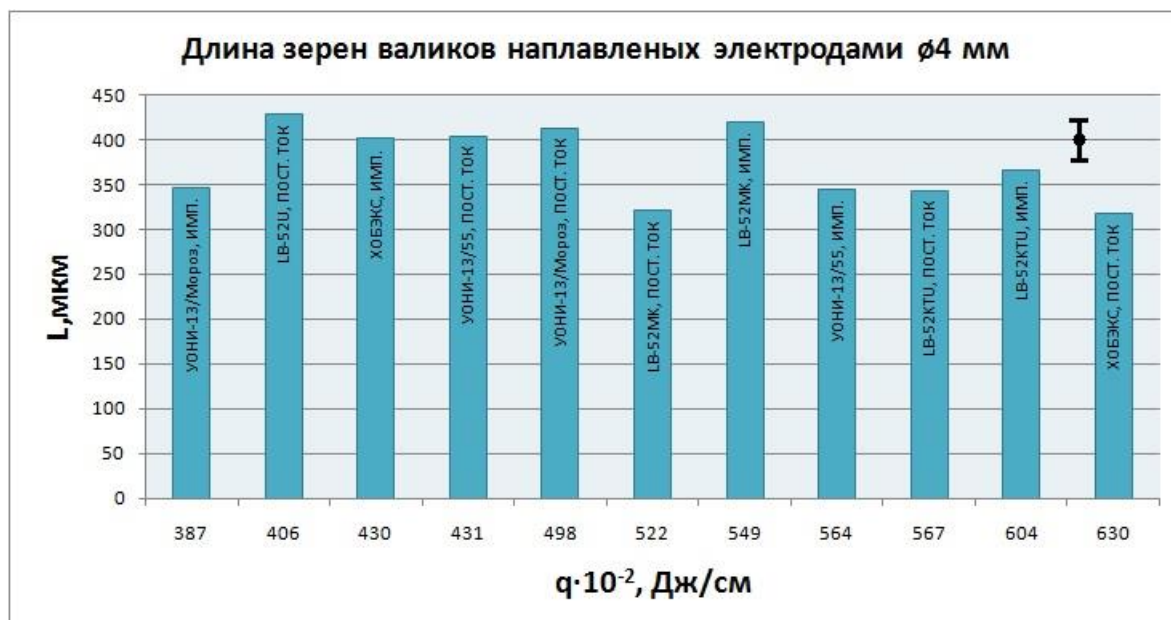


Рисунок 15 – Гистограмма средней длине зерна электродов диаметром 4 мм

Однако из гистограмм 16 и 17 можно заметить, обратное при использовании импульсного питания дуги, у всех марок электродов происходит увеличение ширины зерна наплавленного валика. Незначительное повышение ширины зерна происходит и при увеличении диаметра электрода. Электроды марки УОНИ-13/Мороз, при импульсном питании имеют свойство к уменьшению зерна.

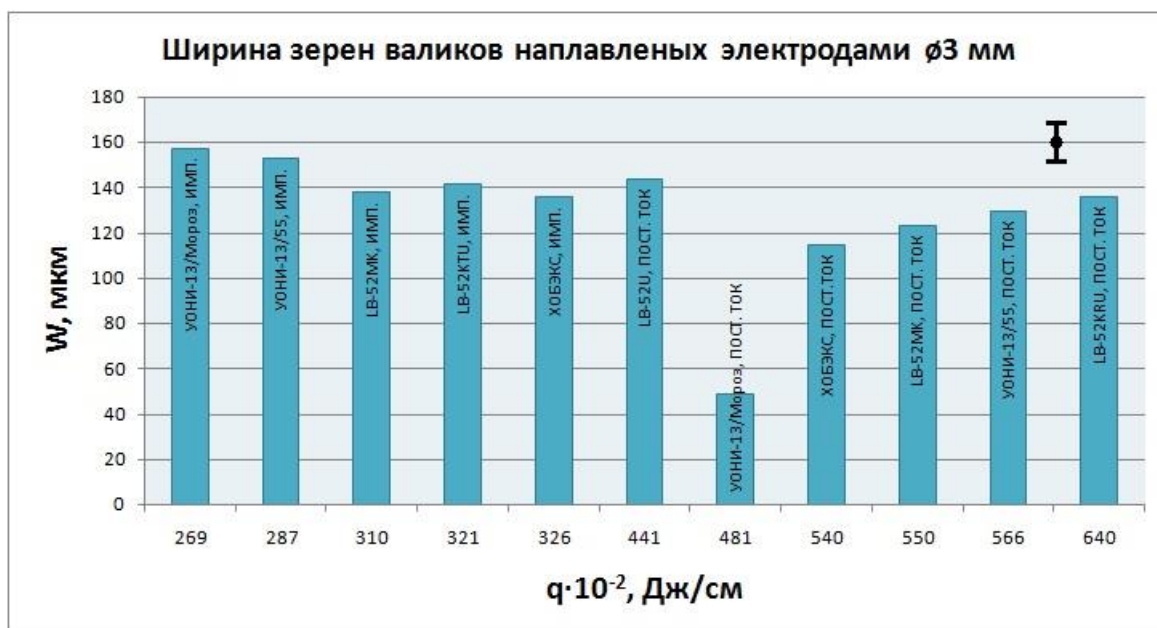


Рисунок 16 – Гистограмма средней ширины зерна для электродов диаметром 3 мм

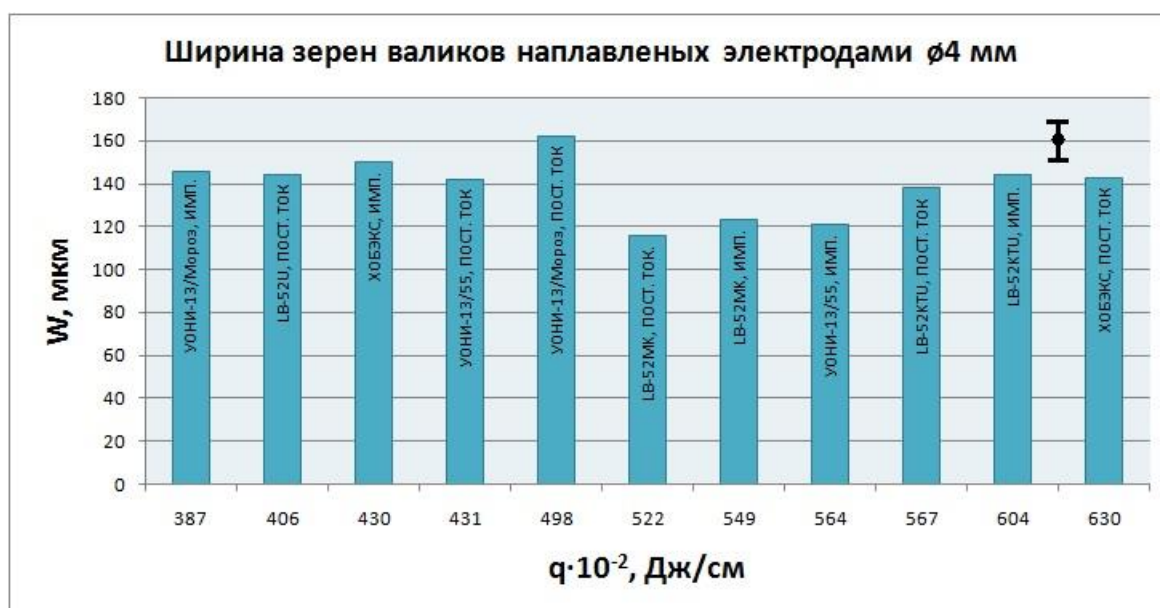


Рисунок 17 – Гистограмма средней ширины зерна для электродов диаметром 4 мм

### 3.5 Неметаллические включения

Неметаллические включения в стали, являясь в большинстве своем весьма хрупкими и непрочными, могут понизить механические свойства стали. Крупные включения иногда служат началом образования трещин, в особенности при работе деталей в условиях повторных напряжений или в

случае больших термических и структурных напряжений. Неметаллические включения в стали способствуют также неравномерному обособлению структурных составляющих.

Влияние неметаллических включений в стали на изменение механических и иных свойств зависит от температуры плавления и способности к смачиванию зерен основного металла, а также от общего количества неметаллических включений и их свойств. Если неметаллические включения в сталях не смачивают зерна основного металла или являются по своей природе тугоплавкими, то они имеют округлую форму и располагаются чаще всего внутри зерен, то они ухудшают механические свойства стали незначительно. Если же неметаллические включения в стали являются легкоплавкими и вместе с тем обладают способностью к смачиванию зерен основного металла, то перед затвердеванием они растекаются по границам зерен и образуют хрупкие разобщающие зерна пленки, то в этом случае происходит значительное ухудшение механических свойств у стали. На рисунке 18 изображены фрагменты образца 2-1, исследованные на неметаллические включения

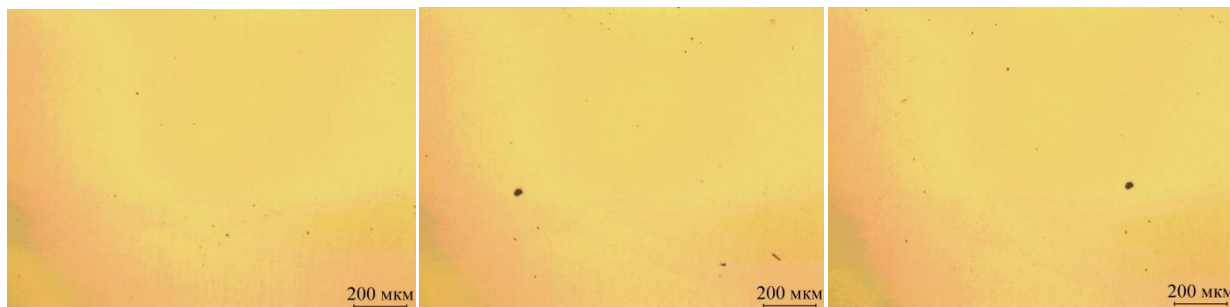


Рисунок 18 – Неметаллические включения образца 2-1

Были найдены данные включения, которые по своим размерам не превышают 30 мкм, а то и намного меньшего размера. Т.к. максимально допустимый размер неметаллических включений в сталях различных типов для магистральных трубопроводов равен 100 мкм. И данное включение по форме имеет округлую форму, значит, то оно ухудшают механические свойства стали незначительно. Аналогично происходит и с образцом 2-2

(рисунок 19), только у него скопление включений, которые не превышают размеров 100 мкм

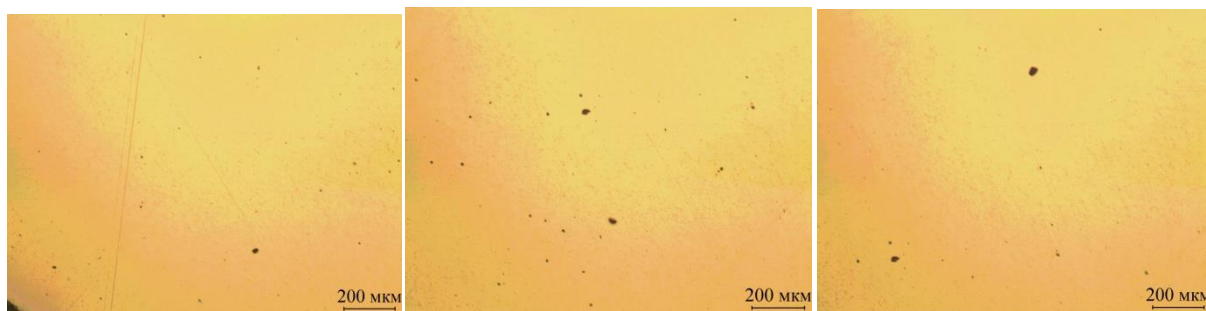


Рисунок 19 – Неметаллические включения образца 2-2

Однако на фрагментах образца 2-3 изображенных на рисунке 20, наблюдаются удлинённые неметаллические включения. Данные включения, так же как и у предыдущих образцов не превышают размера больше 50 мкм. Но в свою очередь они значительно ухудшают механические свойства стали, нежели включения округлой формы.



Рисунок 20 – Неметаллические включения образца 2-3

Неметаллические включения образца 2-4 (рисунок 21), представляют собой остроугольную форму. Их размер превышает 50 мкм, но меньше 100 мкм, что находится в допуске для трубопровода. Данные включения такой формы будут значительно ухудшать механические свойства стали.

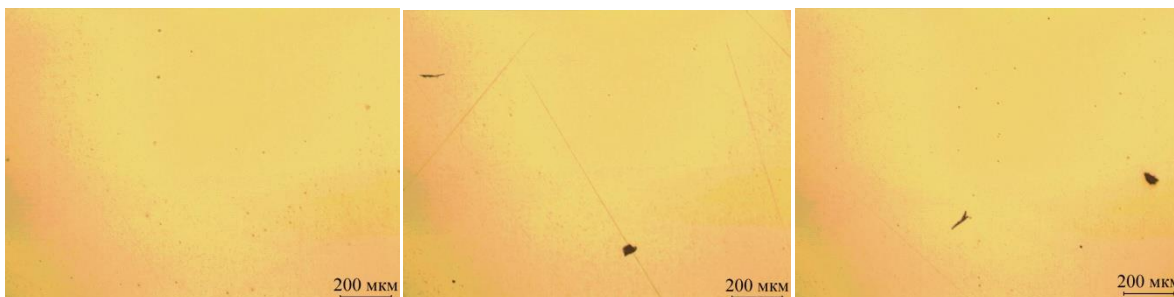


Рисунок 21 – Неметаллические включения образца 2-4



У образцов 4-3 (рисунок 22) и 4-4 (рисунок 23) неметаллические включения настолько малы (меньше 10 мкм), что на механические свойства стали не окажут какого-либо влияния.

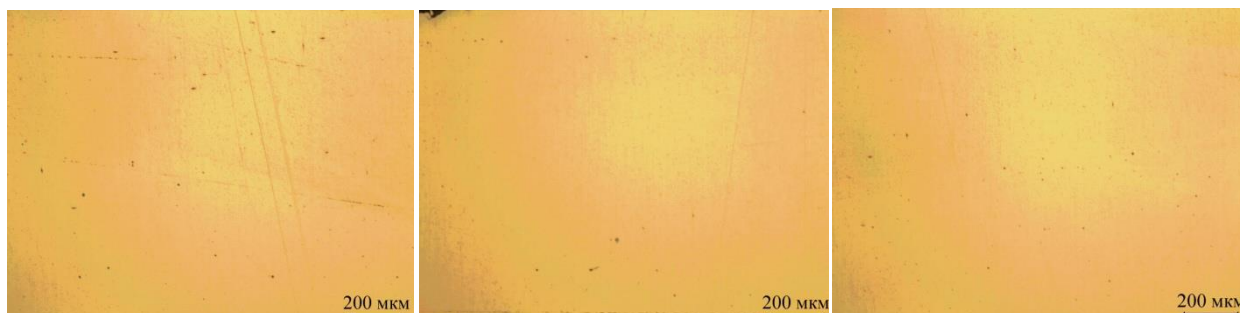


Рисунок 22 – Неметаллические включения образца 4-3

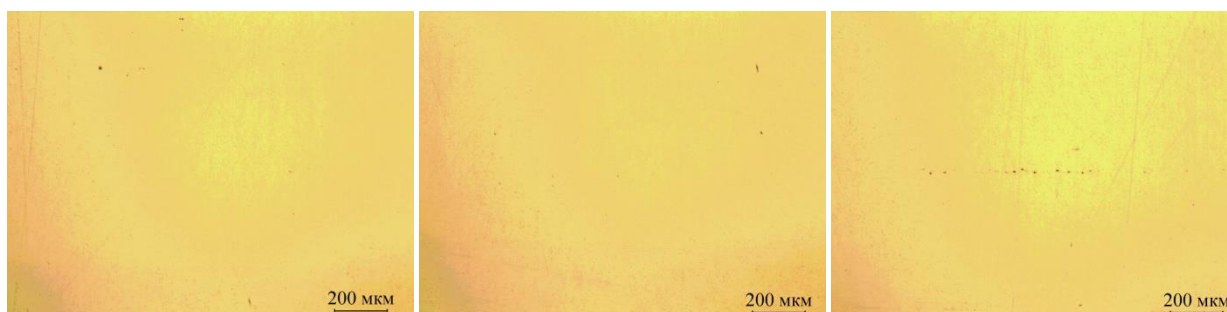


Рисунок 23 – Неметаллические включения образца 4-4



Рисунок 24 – Неметаллические включения образца 5-1

Исследование образца 5-1 (рисунок 24) на неметаллические включения сваренного ручной дуговой сваркой показало, что наблюдаются включения превышающие 100 мкм (допустимо менее 100 мкм). Т.к. включения имеют остроугольную форму, такая форма способствует значительному влиянию на механические свойства стали. Так же происходит с образцами 5-3 и 5-4 изображенных на рисунках 25 и 26, наблюдается наличие включений длинной остроугольной формы и превышающие размером 100 мкм.



Рисунок 25 – Неметаллические включения образца 5-3



Рисунок 26 – Неметаллические включения образца 5-4

А вот у образцов 6-1 (рисунок 27) и 6-2 (рисунок 28) сваренных ручной дуговой сваркой, замечено скопления неметаллических включений круглой формы в большом объеме. Данные включения не превышают размера 50 мкм. Размер включений большого влияния на механические свойства стали не окажет, а вот скопления значительно ухудшат механические свойства стали.



Рисунок 27 – Неметаллические включения образца 6-1

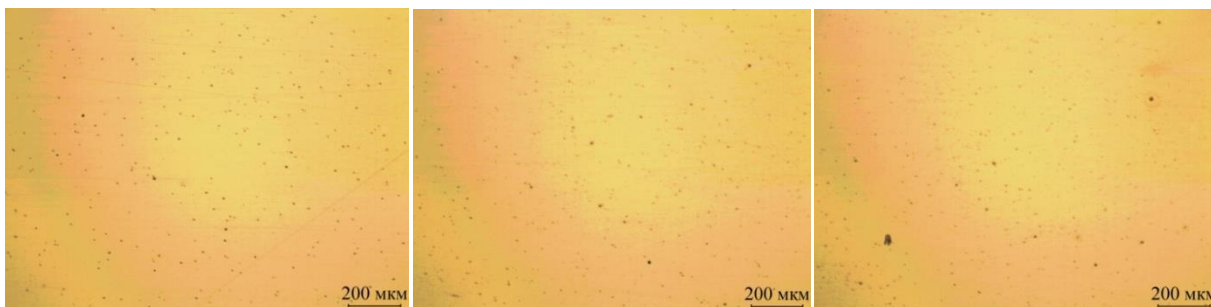
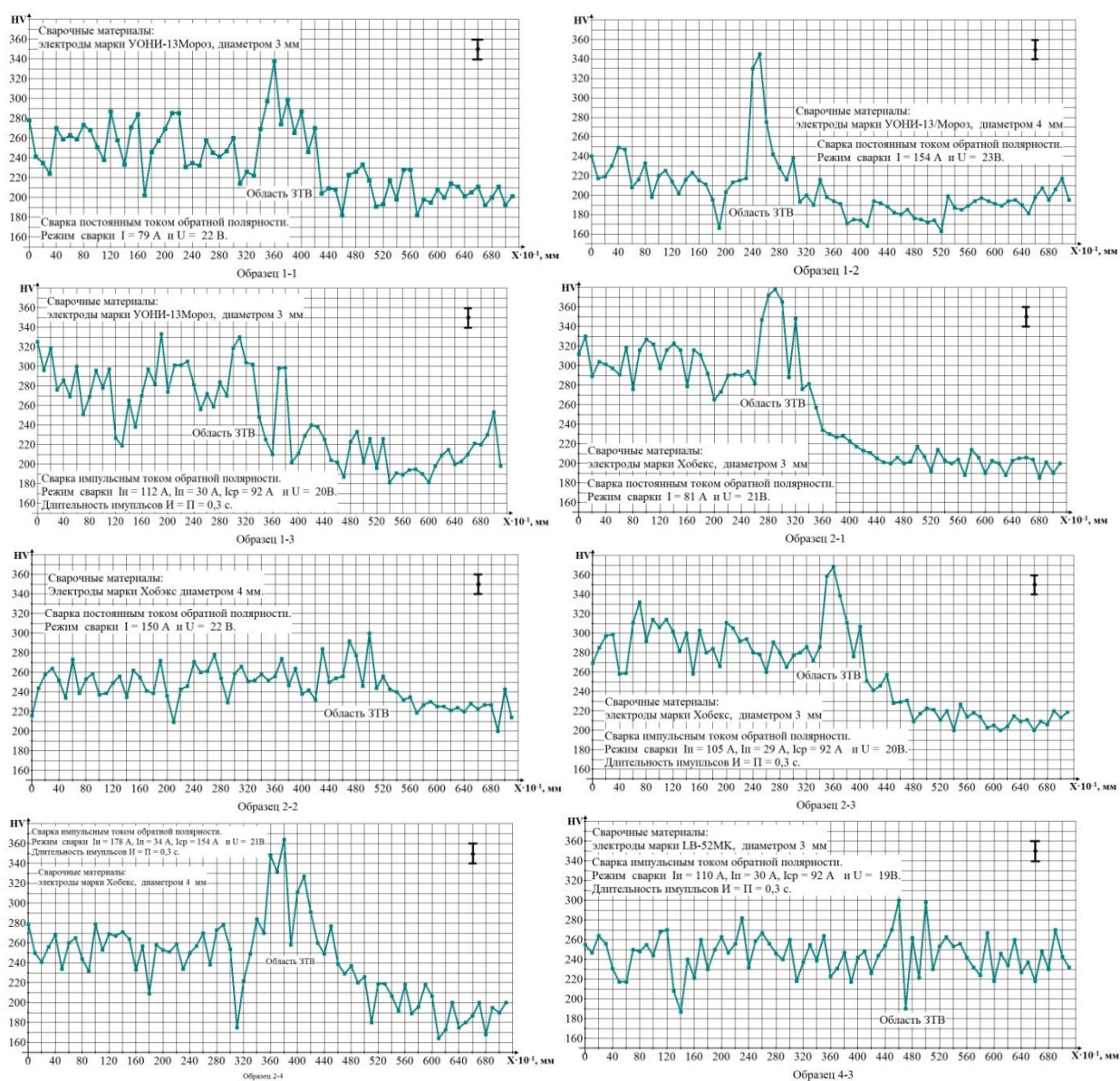


Рисунок 28 – Неметаллические включения образца 6-2

### 3.6 Анализ твердости зерен

На рисунке 29 представлены графики зависимости твердости по Виккерсу от расстояния укола микротвердомером.





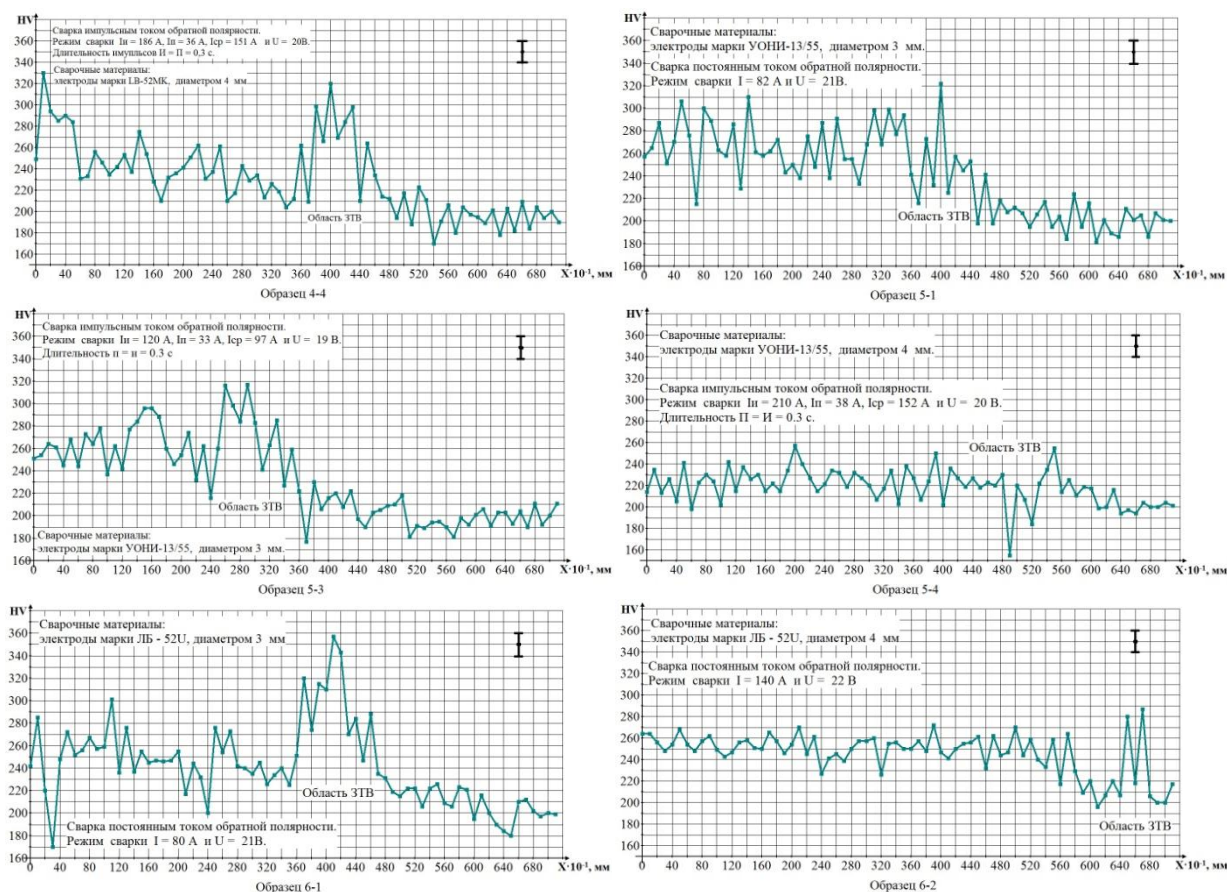


Рисунок 29 – Графики микротвердости наплавленных валиков

У всех образцов независимо от режимов и марки электродов в зоне ЗТВ наблюдается повышенная твердость. У образцов 2-2, 6-2 (каждый сварен ручной дуговой сваркой постоянным током обратной полярности) и 5-4 (образец сварен импульсно-дуговой сваркой) из графиков твердости видно равномерность распределения по всему сечению. А у остальных образцов разброс между значениями достаточно велик, чтоб можно было сделать вывод о равномерности твердости в сечении. Использование повышенных режимов приводит к понижению прочности в большинстве случаев. И использование ручной импульсно-дуговой сварки, также понижает твердость, но равномерно распределяет ее значения по всему сечению.

Как видно из гистограмм, изображенных на рисунках 30 и 31, дисперсия по твердости образцов уменьшается как при увеличении диаметра электрода, так и при использовании импульсно-дуговой сварки.





Рисунок 30 – Дисперсия по твердости ручной дуговой сварки постоянным  
ТОКОМ

А вот при использовании импульсно-дуговой сварки происходит наоборот, увеличение дисперсии по твердости, также при увеличении диаметра электрода происходит увеличении. Только электроды марки УОНИ-13/55 имеют обратную закономерность.

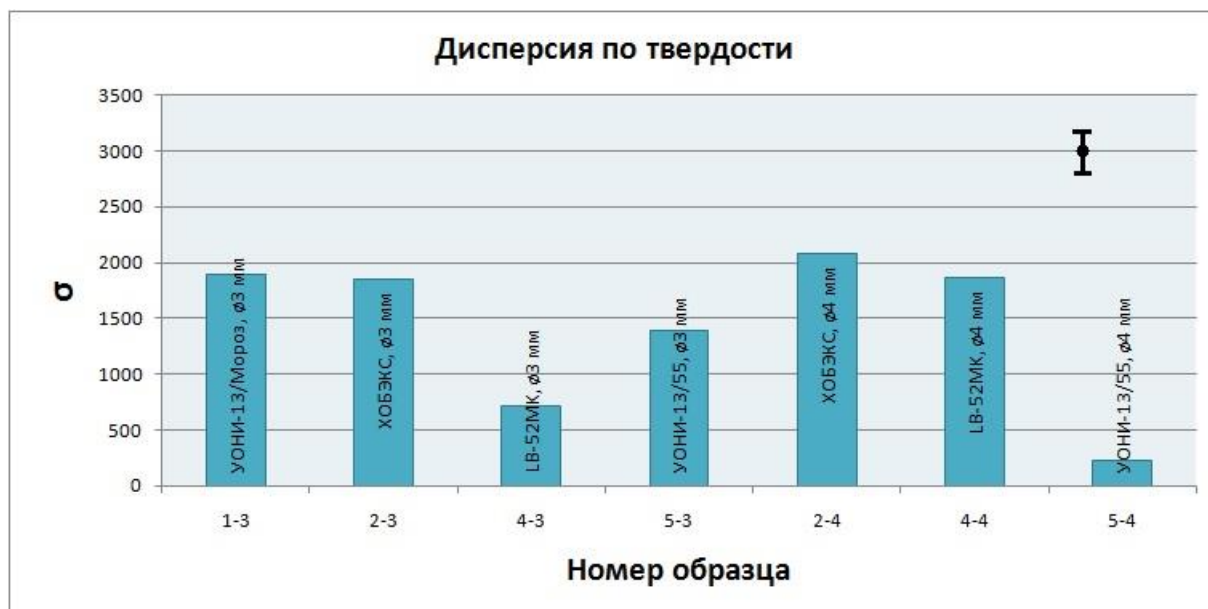


Рисунок 31 – Дисперсия по твердости импульсно-дуговой сварки

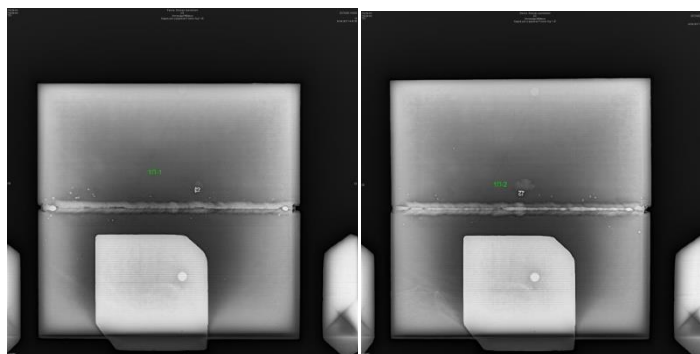
### 3.7 Визуальное наблюдение и дефекты

Сварка контрольных соединений на исследованных режимах наплавки показала, что применение близких по значению параметров режима для разных марок электродов неприемлемо.

Так, при сварке электродами УОНИ-13/Мороз, ХОБЭКС, УОНИ-13/55 наблюдается формирование дефектов в виде непровара по разделке корня шва, несплавления в корне шва, несплавления по границе заполнения

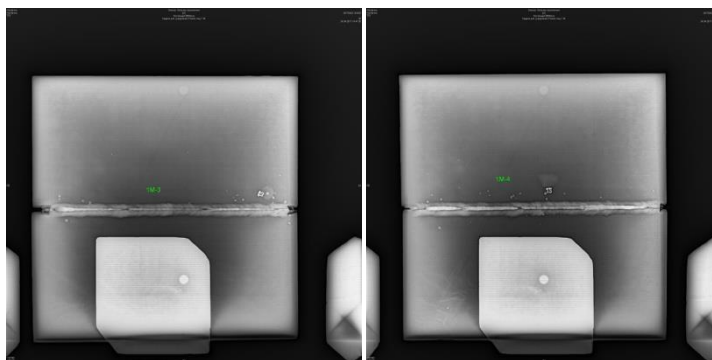
В сварных швах, сформированных электродами таких марок, как LB-52МК и УОНИ-13/55 наблюдается порообразование и шлаковые включения.

На рисунке 32 представлены радиографические снимки контрольных образцов выполненных ручной дуговой постоянной током и импульсно-дуговой сваркой.



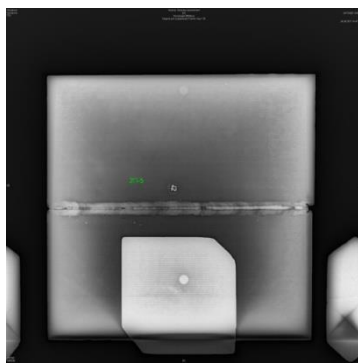
а)

б)

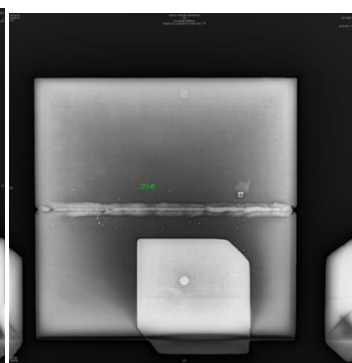


в)

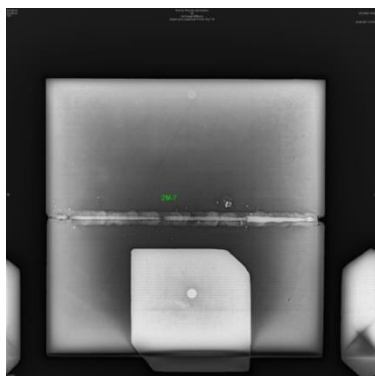
г)



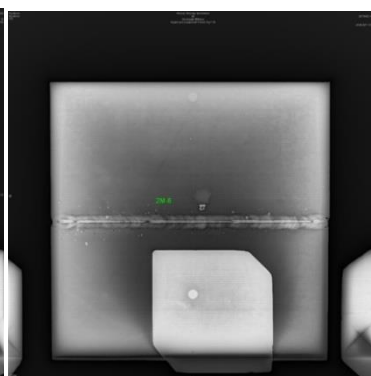
д)



е)



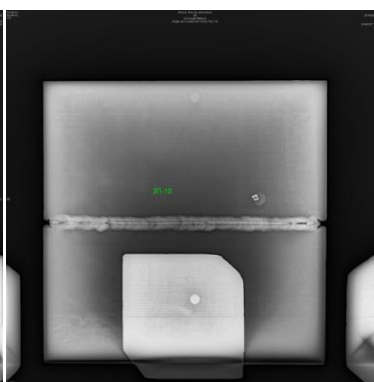
ж)



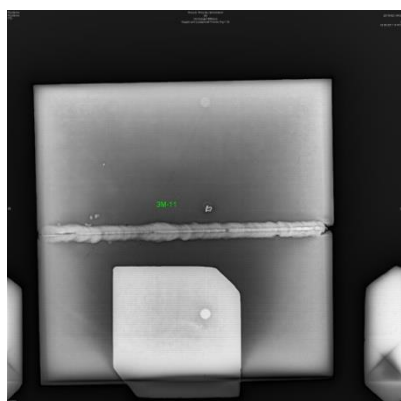
з)



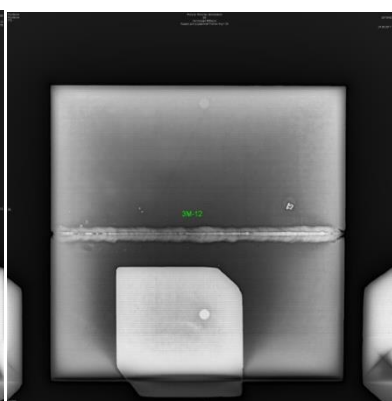
и)



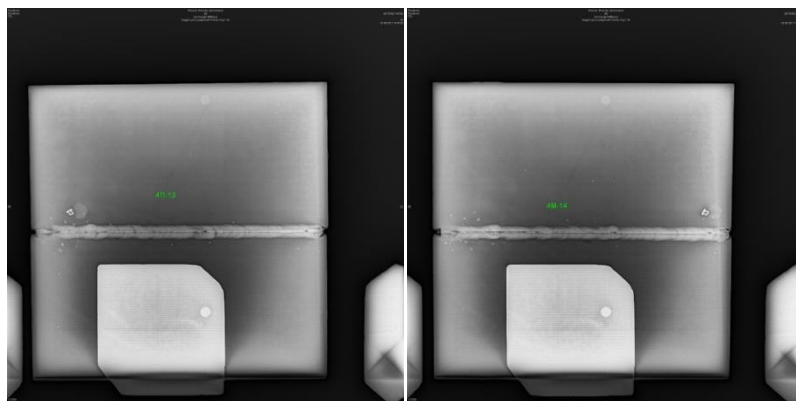
к)



л)

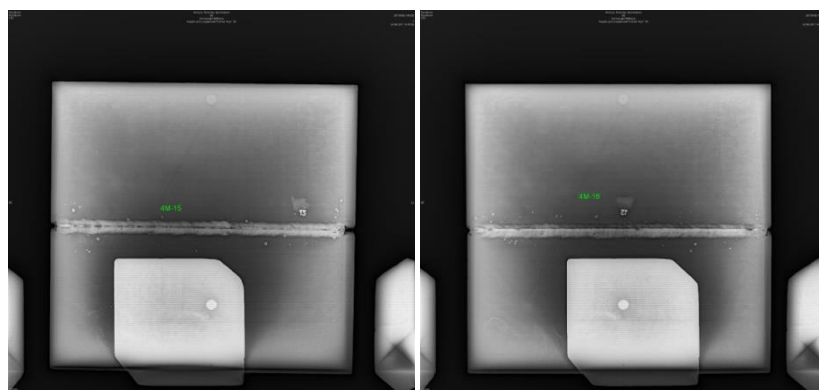


м)



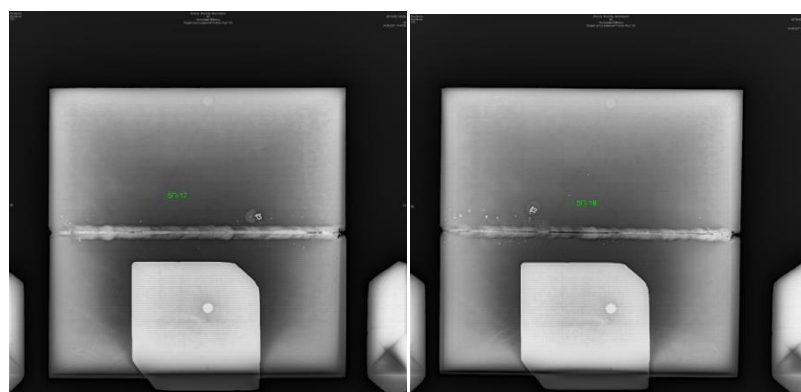
и)

о)



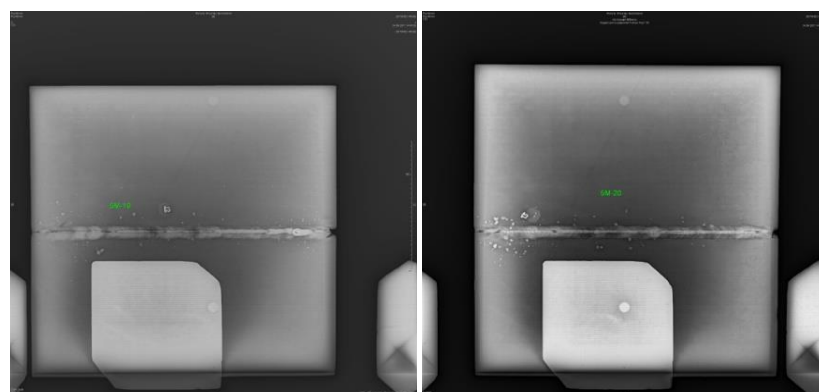
п)

р)



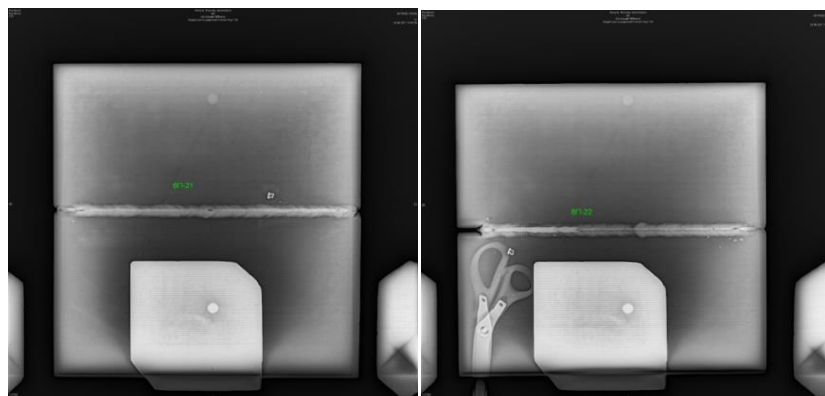
с)

т)



у)

ф)



х)

ц)

Рисунок 32 – Радиографические снимки контрольных образцов

а – образец 1-1; б – образец 1-2; в – образец 1-3; г – образец 1-4; д –  
 образец 2-1; е – образец 2-2; ж – образец 2-3; з – образец 2-4; и – образец 3-1;  
 к – образец 3-2; л – образец 3-3; м – образец 3-4; н – образец 4-1; о –  
 образец 4-2; п – образец 4-3; р – образец 4-4; с – образец 5-1; т – образец 5-2;  
 у – образец 5-3; ф – образец 5-4; х – образец 6-1; ц – образец 6-2

## 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Выпускная квалификационная работа по теме «Влияние параметров режима ручной дуговой сварки покрытыми электродами на структуру и свойства соединений магистральных трубопроводов, работающих в условиях низких климатических температур» выполняется в рамках научно-исследовательской работы.

В данной работе было необходимо провести обзор разработок лаборатории, в которой проводились исследования, связанные с разработкой различного оборудования и технологии для различных видов сварки.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательской работы, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Основная задача данной работы разработать технологию сварки неповоротного стыка трубопровода, работающего при низких температурах. Это означает, что необходимо подобрать режимы сварки используя ручную дуговую и импульсно-дуговую сварку покрытыми электродами. Подобрать из множества марок электродов, такие, которые будут оптимальных для выполнения поставленной задачи. Для достижения данных задач, необходимо выполнить анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализа, составить структуру работ в рамках научного исследования, определить трудоемкости выполнения работ, разработать графика проведения научного исследования, составить бюджет НТИ (материальные затраты, затраты на спецоборудование, основная ЗП, дополнительная ЗП,

накладные расходы и т.д.), а также определить социальную и экономическую эффективность исследования.

## 4.2 Предпроектный анализ

### 4.2.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Магистерская диссертация по теме «Влияние параметров режима ручной дуговой сварки покрытыми электродами на структуру и свойства соединений магистральных нефтегазопроводов» выполняется в рамках научно-исследовательской работы для организации. Заинтересованными лицами в полученных данных будут являться сотрудники организации поставляющих и добывающих нефтяную и газовую продукцию, а также сотрудники ОЭИ, ИШНКБ.

Суть работы заключается в определении оптимального способа и режимов сварки стыка нефтегазопровода.

В зависимости от категории потребителей (коммерческие организации, физические лица) необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования. Например, для коммерческих организаций критериями сегментирования могут быть: месторасположение; отрасль; выпускаемая продукция; размер и др. Таблица 7 представляет собой сегментирование рынка.

Таблица 7 - Сегментирование рынка

|                                                         |                                      | Показатель        |                    |                    |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
|                                                         |                                      | Низкий показатель | Средний показатель | Высокий показатель |
| Технологические показатели качества сварного соединения | Кол-во дефектов на 1 см сварного шва | 1,2,3             | -                  | -                  |
|                                                         | Разбрызгивание электродного металла  | 1,2               | -                  | 3                  |
|                                                         | Глубина проплавления, мм             | 3                 | 2                  | 1                  |

где: 1 – ручная дуговая сварка плавящимся электродом (разработка);  
 2 – ручная дуговая сварка плавящимся электродом с модуляцией;  
 3 – ручная дуговая сварка неплавящимся электродом в среде защитного газа.

Результат сегментирования показал, что уровень конкуренции низок. Ручная дуговая сварка плавящимся электродом (разработка), как видно из сегментирования, хороший способ, который может получать качественные сварные соединения трубопровода, работающего при низких температурах.

#### 4.2.2 Анализ конкурентных технических решений

Для оценки конкурентоспособности используется  $B_{к1}$  – ручная дуговая сварка плавящимся электродом с модуляцией,  $B_{к2}$  – ручная дуговая сварка плавящимся электродом (разработка),  $B_{к3}$  – ручная дуговая сварка неплавящимся электродом в среде защитного газа. Оценка производится по пяти бальной шкале, где 1 – очень плохо, 2 – плохо, 3 – удовлетворительно, 4 – хорошо, 5- отлично. В таблице 8 представлена оценочная карта.

Таблица 8 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

| Критерии оценки                                         | Вес критерия | Баллы    |          |          | Конкурентоспособность |          |          |
|---------------------------------------------------------|--------------|----------|----------|----------|-----------------------|----------|----------|
|                                                         |              | $B_{к1}$ | $B_{к2}$ | $B_{к3}$ | $K_{к1}$              | $K_{к2}$ | $K_{к3}$ |
| 1                                                       | 2            | 3        | 4        | 5        | 6                     | 7        | 8        |
| <b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b> |              |          |          |          |                       |          |          |
| 1. Повышение производительности труда пользователя      | 0,03         | 4        | 4        | 2        | 0,12                  | 0,12     | 0,06     |
| 2. Удобство в эксплуатации                              | 0,05         | 3        | 5        | 5        | 0,15                  | 0,25     | 0,25     |
| 3. Количество дефектов                                  | 0,03         | 4        | 4        | 5        | 0,12                  | 0,12     | 0,15     |
| 4. Проплавление металла                                 | 0,04         | 5        | 5        | 2        | 0,2                   | 0,2      | 0,08     |
| 5. Надежность                                           | 0,05         | 5        | 4        | 3        | 0,25                  | 0,2      | 0,15     |
| 6. Разбрызгивание                                       | 0,04         | 2        | 2        | 5        | 0,08                  | 0,08     | 0,2      |
| 7. Безопасность                                         | 0,05         | 3        | 5        | 3        | 0,15                  | 0,25     | 0,15     |
| 8. Количество выполняемых функций                       | 0,05         | 4        | 4        | 5        | 0,20                  | 0,20     | 0,25     |
| 9. Внешнее качество шва                                 | 0,05         | 4        | 5        | 3        | 0,2                   | 0,25     | 0,15     |
| 10. Стоимость                                           | 0,07         | 5        | 5        | 2        | 0,35                  | 0,35     | 0,14     |



| Экономические критерии оценки эффективности |          |           |           |           |            |            |            |
|---------------------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| 1. Конкурентоспособность продукта           | 0,07     | 4         | 4         | 5         | 0,28       | 0,28       | 0,35       |
| 2. Уровень проникновения на рынок           | 0,05     | 4         | 5         | 3         | 0,2        | 0,25       | 0,15       |
| 3. Цена                                     | 0,05     | 5         | 3         | 2         | 0,28       | 0,15       | 0,1        |
| 4. Предполагаемый срок эксплуатации         | 0,05     | 4         | 4         | 3         | 0,2        | 0,2        | 0,15       |
| 5. Послепродажное обслуживание              | 0,07     | 4         | 4         | 4         | 0,28       | 0,28       | 0,28       |
| 6. Финансирование научной разработки        | 0,06     | 5         | 5         | 5         | 0,3        | 0,3        | 0,3        |
| 7. Срок выхода на рынок                     | 0,03     | 3         | 3         | 3         | 0,15       | 0,15       | 0,15       |
| 8. Наличие сертификации разработки          | 0,06     | 4         | 4         | 4         | 0,24       | 0,24       | 0,24       |
| <b>Итого</b>                                | <b>1</b> | <b>77</b> | <b>80</b> | <b>64</b> | <b>3,3</b> | <b>3,7</b> | <b>3,3</b> |

Для анализа конкурентных технических решений используем формулу:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (4)$$

где,  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Рассчитав конкурентоспособность трех технологий ручной дуговой сварки, можно сказать, что конкурентоспособность системы  $K_1$  составляет 3,3,  $K_2$  – 3,7, а  $K_3$  – 3,3. Таким образом система  $K_2$ , которая предлагается в работе, более конкурентоспособна.

#### 4.2.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ поможет выявить слабые и сильные стороны проекта, также возможности и угрозы, то есть исследовать данный проект (работу) для внешней и внутренней среды. Данные характеристики приведены в таблице 9.

Таблица 9 –SWOT-анализ

|                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                            | <b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b><br>С1. Востребованность научного исследования.<br>С2. Актуальность работы.<br>С3. Использование технологии близкой к условиям реальной среды..<br>С4. Мобильность системы. | <b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b><br>Сл1. Относительная точность полученных данных<br>Сл2. Трудоемкость получения результатов<br>Сл3. Низкая производительность<br>Сл4. Использование дополнительного оборудования |
| <b>Возможности:</b><br>В1. Использование труднодоступного оборудования.<br>В2. Усовершенствование метода путем улучшения наплавления металла.<br>В3. Появление дополнительного спроса.<br>В4. Повышение стоимости конкурентных разработок. |                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Угрозы:</b><br>У1. Отсутствие спроса.<br>У2. Развитая конкуренция технологий.<br>У3. Ограничения на экспорт технологии<br>У4. Введения дополнительных требований к сертификации                                                         |                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                           |

При анализе данной интерактивной таблицы 10 можно выявить следующие коррелирующие сильные стороны и возможности: В1С2, В2С1.

Таблица 10 –Интерактивная матрица проекта

|                     | Сильные стороны проекта |    |    |    |    |
|---------------------|-------------------------|----|----|----|----|
|                     |                         | С1 | С2 | С3 | С4 |
| Возможности проекта | В1                      | -  | +  | +  | +  |
|                     | В2                      | +  | +  | +  | -  |
|                     | В3                      | -  | +  | +  | +  |
|                     | В4                      | -  | +  | 0  | +  |

При анализе данной интерактивной таблицы 11 можно выявить следующие коррелирующие слабые стороны и возможности: В2Сл1, В3В4Сл3Сл4. В таблице 12 представлен итоговый анализ.

Таблица 11 – Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

| Слабые стороны проекта |    |     |     |     |     |
|------------------------|----|-----|-----|-----|-----|
| Возможности проекта    |    | Сл1 | Сл2 | Сл3 | Сл4 |
|                        | B1 | -   | -   | -   | +   |
|                        | B2 | +   | -   | +   | -   |
|                        | B3 | -   | +   | -   | +   |
|                        | B4 | +   | +   | +   | -   |

Таблица 12 – SWOT – анализ итог

|                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                            | <b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b><br>С1. Востребованность научного исследования.<br>С2. Актуальность работы.<br>С3. Использование технологии близкой к условиям реальной среды..<br>С4. Мобильность системы. | <b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b><br>Сл1. Относительная точность полученных данных<br>Сл2. Трудоемкость получения результатов<br>Сл3. Низкая производительность<br>Сл.4 Использование дополнительного оборудования |
| <b>Возможности:</b><br>В1. Использование труднодоступного оборудования.<br>В2. Усовершенствование метода путем улучшения наплавления металла.<br>В3. Появление дополнительного спроса.<br>В4. Повышение стоимости конкурентных разработок. | В1С2 – возможность использования технологий для сварки других материалов не взирая на толщину; В2С1– некоторые виды сплавов дают улучшенные характеристики.                                                                          | В2Сл.1 – с повышением цен на комплектующие резко возрастет первоначальный вклад в массовое производство; В3В4Сл3Сл4 – повышение цены на подготовку персонала и оборудование                                                               |
| <b>Угрозы:</b><br>У1. Отсутствие спроса.<br>У2. Развитая конкуренция технологий.<br>У3. Ограничения на экспорт технологии<br>У4. Введения дополнительных требований к сертификации                                                         | У1С3 – некоторые компании не захотят рисковать, применяя новые технологии, У2С3 – шов станет длинней, потребует проработки новых тех. карты.                                                                                         | У1Сл.2– уменьшения разбрызгивания потребует повышения мощности источника, а у многих они и так работают на пределах своих возможностей..                                                                                                  |

В ходе проведенного SWOT-анализа, для проекта характерен баланс сильных и слабых сторон, а также возможностей и угроз. Проект достаточно стабилен, но для получения больших дополнительных конкурентных преимуществ, необходимо усовершенствовать процесс наплавления металла, чтобы получать более точные данные и найти более широкое применение данной технологии.

#### 4.2.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Коммерциализация инновационного продукта – процесс совпадения форматов поведения покупателя и продавца инновационного продукта относительно возможности использования, стоимости, перехода прав собственности на инновационный продукт.

На данном этапе производится оценка степени готовности проекта к коммерциализации и определение уровня собственных знаний для ее проведения или завершения.

При проведении анализа по таблице 13, приведенной ниже, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Таблица 13 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

| <b>№<br/>п/п</b>    | <b>Наименование</b>                                                               | <b>Степень<br/>проработанности<br/>научного проекта</b> | <b>Уровень<br/>имеющихся знаний<br/>у разработчика</b> |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 1                   | Определен имеющийся научно-технический задел                                      | 5                                                       | 5                                                      |
| 2                   | Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела  | 5                                                       | 5                                                      |
| 3                   | Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке         | 5                                                       | 5                                                      |
| 4                   | Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок   | 4                                                       | 4                                                      |
| 5                   | Определены авторы и осуществлена охрана их прав                                   | 0                                                       | 5                                                      |
| 6                   | Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности                         | 4                                                       | 3                                                      |
| 7                   | Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта                                 | 2                                                       | 3                                                      |
| 8                   | Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки                        | 0                                                       | 3                                                      |
| 9                   | Определены пути продвижения научной разработки на рынок                           | 4                                                       | 5                                                      |
| 10                  | Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки                       | 2                                                       | 5                                                      |
| 11                  | Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок    | 0                                                       | 1                                                      |
| 12                  | Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот | 2                                                       | 3                                                      |
| 13                  | Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки            | 5                                                       | 5                                                      |
| 14                  | Имеется команда для коммерциализации научной разработки                           | 1                                                       | 1                                                      |
| 15                  | Проработан механизм реализации научного проекта                                   | 1                                                       | 1                                                      |
| <b>ИТОГО БАЛЛОВ</b> |                                                                                   | <b>43</b>                                               | <b>55</b>                                              |

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (5)$$

где  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;

$B_i$  – балл по  $i$ -му показателю.

Анализируя выше приведенную таблицу, значение  $B_{\text{сум}}$  получилось от 40 до 55, то такая разработка считается средней, а знания разработчика достаточными для ее коммерциализации.

#### 4.2.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

При коммерциализации научно-технических разработок владелец интеллектуальной собственности преследует вполне определенную цель, которая во многом зависит от того, куда в последующем он намерен направить полученный коммерческий эффект. Это может быть получение средств для продолжения своих научных исследований и разработок, одноразовое получение финансовых ресурсов для каких-либо целей или для накопления, обеспечение постоянного притока финансовых средств, а также их различные сочетания.

При этом время продвижения товара на рынок во многом зависит от правильности выбора метода коммерциализации. Задача данного раздела – это выбор метода коммерциализации объекта исследования и обоснование его целесообразности. Для того чтобы это сделать необходимо ориентироваться в возможных вариантах.

В данной выпускной квалификационной работе выбран метод инжиниринга и передачи интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия. При выборе данных методов коммерциализации возможно предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с

проектированием. Также строительством и вводом объекта в эксплуатацию с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика, усовершенствованием имеющихся производственных процессов вплоть до внедрения изделия в производство и даже сбыта продукции. Так же планируется писать коммерческое предложение потенциальным покупателям, это организации поставляющих и добывающих нефтяную и газовую продукцию в России и странах зарубежья.

#### 4.3 Разработка устава научно-технического проекта

Целью данной работы является разработка технологии сварки неповоротного стыка трубопровода, работающего при низких температурах.

Основная задача данной работы состоит в том, чтобы подобрать режимы сварки используя ручную дуговую и импульсно-дуговую сварку покрытыми электродами. Подобрать из множества марок электродов, такие, которые будут оптимальных для выполнения поставленной задачи.

Заинтересованными лицами в полученных данных будут являться сотрудники организации поставляющих и добывающих нефтяную и газовую продукцию, а также сотрудники ОЭИ, ИШНКБ. Информация по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 14.

Таблица 14 – Заинтересованные стороны проекта

| <b>Заинтересованные стороны проекта</b>              | <b>Ожидания заинтересованных сторон</b>                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Сотрудники ОЭИ, ИШНКБ                                | Получение высокой стабильности параметров режима и качество сварных соединений, возможность исследования процесса ручной дуговой сварки и импульсно-дуговой сварки |
| Организации, добывающие нефтяную и газовую продукцию | Высокое качество сварных соединений, энерго-экономичность, низкая цена, высокая производительность и использование при отрицательных температурах                  |

В таблице 15 представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей. Цели проекта включают цели в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Таблица 15 - Цели и результат проекта

|                                      |                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Цели проекта:                        | Разработка технологии сварки неповоротного стыка трубопровода, работающего при низких температурах (от -20 до -60 градусов).                                   |
| Ожидаемые результаты проекта:        | Получить высокую стабильность параметров режима и качество сварных соединений при использовании различных марок электродов, увидеть отличия в технологии.      |
| Критерии приемки результата проекта: | Оценка технологии будет проведена во время создания сварочных образцов (шлифов), после этого будет проведено измерение микротвердости и анализ микроструктуры. |
| Требования к результату проекта:     | Требование:                                                                                                                                                    |
|                                      | Сварка охлажденных образцов                                                                                                                                    |
|                                      | Режимы сварки должны быть стабильными                                                                                                                          |
|                                      | Сварные швы должны быть равномерные                                                                                                                            |
|                                      | Бездефектность                                                                                                                                                 |

#### 4.4 Планирование научно-исследовательских работ

##### 4.4.1. Структура работ в рамках научного исследования

Научное исследование будет состоять из четырех основных этапов, таких как: разработка технического задания и календарного плана, теоретическая подготовка, экспериментальные исследования и обобщение и оценка результатов по данной теме. Каждый этап содержит перечень важных работ, которые необходимо выполнить. В зависимости от вида работ будет свой исполнитель. Перечень этапов представлен в таблице 16.



Таблица 16 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

| Основные этапы                  | № раб | Содержание работ                                               | Должность исполнителя         |
|---------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Разработка технического задания | 1     | Выбор темы, постановка цели и задач ВКР                        | Научный руководитель          |
|                                 | 2     | Составление предварительного плана ВКР                         | Научный руководитель          |
| Теоретическая подготовка        | 3     | Подбор и первоначальное ознакомление с литературой по теме ВКР | Инженер                       |
|                                 | 4     | Изучение и выбор метода исследований в ВКР                     | Инженер                       |
|                                 | 5     | Написание теоретической части ВКР                              | Инженер                       |
|                                 | 6     | Подбор оборудования и заготовок для проведения процесса        | Научный руководитель          |
| Экспериментальные исследования  | 7     | Наплавление металла на заготовки                               | Инженер                       |
|                                 | 8     | Получение результатов исследования                             | Инженер                       |
|                                 | 9     | Создание базы данных исследования                              | Инженер                       |
|                                 | 10    | Анализ базы исследования/полученных результатов                | Научный руководитель, инженер |
| Обобщение и оценка результатов  | 11    | Оформление итогового варианта ВКР                              | Инженер                       |
|                                 | 12    | Согласование и проверка работы с научным руководителем         | Научный руководитель, инженер |

Таким образом, выделили основные этапы работ и их содержание, а также исполнителей, выполняющие данные работы.

#### 4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Для определения ожидаемого значения трудоемкости используем формулу:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (6)$$

где  $t_{ожи}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы человек-дней;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), человек-дней;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), человек-дней.

После того, как рассчитали  $t_{\text{ож}i}$ , рассчитывается продолжительность каждой работы в рабочих днях:

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{\text{Ч}_i}, \quad (7)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, рабочих дней;

$t_{\text{ож}i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человек-дней.

$\text{Ч}_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, человек.

Составление предварительного плана ВКР:

$t_{\max i} = 3$  дней;  $t_{\min} = 1$  дня.

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = (3+6)/5 = 1,4 \text{ дня};$$

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{\text{Ч}_i} = 1,4/1 = 1,4 \approx 2 \text{ дня}$$

Подбор и первоначальное ознакомление с литературой по теме ВКР:

$t_{\max i} = 14$  дней;  $t_{\min} = 7$  дней.

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = (21+28)/5 = 9,8 \text{ дней.}$$

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{\text{Ч}_i} = 9,8/2 = 4,9 \approx 5 \text{ дней.}$$

Изучение и выбор метода исследований в ВКР:

$t_{\max i} = 14$  дней;  $t_{\min} = 10$  дней.

$$t_{\text{ожі}} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = (30+28)/5 = 11,6 \text{ дней.}$$

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ожі}}}{\text{Ч}_i} = 11,6/2 = 5,8 \approx 6 \text{ дней}$$

Написание теоретической части ВКР:

$t_{\max i} = 21$  дня;  $t_{\min} = 14$  дней.

$$t_{\text{ожі}} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = (42+42)/5 = 16,8 \text{ дней.}$$

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ожі}}}{\text{Ч}_i} = 16,8/1 = 16,8 \approx 17 \text{ дней}$$

Подбор оборудования и заготовок для проведения процесса, наплавление металла на заготовки

$t_{\max i} = 12$  дней;  $t_{\min} = 7$  дней.

$$t_{\text{ожі}} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = (21+24)/5 = 9 \text{ дней.}$$

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ожі}}}{\text{Ч}_i} = 9/2 = 4,5 \approx 5 \text{ дней}$$

Получение результатов исследования и создание базы данных исследования

$t_{\max i} = 14$  дней;  $t_{\min} = 7$  дней.

$$t_{\text{ожі}} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = (21+28)/5 = 9,8 \text{ дней.}$$

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ожі}}}{\text{Ч}_i} = 9,8/1 = 9,8 \approx 10 \text{ дней}$$

#### Анализ базы исследования/полученных результатов

$t_{\max i} = 21$  дней;  $t_{\min} = 7$  дней.

$$t_{\text{ожі}} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = (21+42)/5 = 29,4 \text{ дней.}$$

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ожі}}}{\text{Ч}_i} = 29,4/2 = 14,7 \approx 15 \text{ дней}$$

#### 4.4.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для разработки графика проведения научного исследования будет использована диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (8)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (9)$$

где  $T_{\text{кал}} = 365$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}} = 104$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}} = 14$  – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48.$$

Все рассчитанные значения вносим в таблицу 17, после заполнения таблицы 17 строим календарный план-график (таблица 18).

График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта, с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделим различной штриховкой в зависимости от исполнителей.

Таблица 17 - Временные показатели проведения научного исследования

| Название<br>работы                                             | Трудоёмкость работ                  |     |                                 |     |                                 |      | Длительность<br>работ в<br>рабочих днях<br>$T_{pi}$ |     | Длительность<br>работ в<br>календарных<br>днях<br>$T_{ki}$ |      |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|------|-----------------------------------------------------|-----|------------------------------------------------------------|------|
|                                                                | $t_{min}$ ,<br>чел-дни              |     | $t_{max}$ , чел-<br>дни         |     | $t_{ож\bar{i}}$ ,<br>чел-дни    |      |                                                     |     |                                                            |      |
|                                                                | Научны<br>й<br>руковод<br>и<br>тель | Инж | Научн<br>ыйрук<br>оводит<br>ель | Инж | Научн<br>ыйрук<br>оводи<br>тель | Инж  | Научн<br>ыйрук<br>оводи<br>тель                     | Инж | Научн<br>ыйрук<br>оводи<br>тель                            | Инж  |
| Выбор темы, постановка цели и задач ВКР                        | 3                                   | -   | 5                               | -   | 3,8                             | -    | 4                                                   | -   | 6                                                          | -    |
| Составление предварительного плана ВКР                         | 1                                   |     | 3                               |     | 1,4                             | -    | 2                                                   | -   | 2                                                          | -    |
| Подбор и первоначальное ознакомление с литературой по теме ВКР | 7                                   | 7   | 14                              | 14  | 9,8                             | 9,8  | 5                                                   | 5   | 4                                                          | 12   |
| Изучение и выбор метода исследований в ВКР                     | 10                                  | 10  | 14                              | 14  | 11,6                            | 11,6 | 6                                                   | 6   | 2                                                          | 21   |
| Написание теоретической части ВКР                              | -                                   | 14  | -                               | 21  |                                 | 16,8 | -                                                   | 17  | -                                                          | 17   |
| Подбор оборудования и заготовок для проведения процесса        | 7                                   | 7   | 12                              | 12  | 9                               | 9    | 5                                                   | 5   | 5                                                          | 5    |
| Наплавление металла на заготовки                               | 7                                   | 7   | 12                              | 12  | 9                               | 9    | -                                                   | 10  | -                                                          | 10   |
| Получение результатов исследования                             | -                                   | 7   | -                               | 14  | -                               | 9,8  | -                                                   | 10  | -                                                          | 10   |
| Создание базы данных исследования                              | -                                   | 7   | -                               | 14  | -                               | 9,8  | -                                                   | 10  | -                                                          | 10,5 |
| Анализ базы исследования/полученных результатов                | 7                                   | 7   | 21                              | 21  | 29,8                            | 29,8 | 5                                                   | 25  | 10                                                         | 35   |
| Оформление итогового варианта ВКР                              | -                                   | 10  | -                               | 21  |                                 | 14,4 | -                                                   | 14  | -                                                          | 21   |
| Согласование и проверка работы с научным руководителем         | 2                                   | 2   | 4                               | 4   | 2,8                             | 2,8  | 1                                                   | 1   | 1,5                                                        | 1,5  |

Таблица 18 - Календарный план-график проведения НИОКР по теме

| № работ | Вид работ                                                      | Исполнители                   | T <sub>кi</sub> ,<br>Кал<br>Дн. | Продолжительность выполнения работ |   |   |             |   |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |
|---------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|---|---|-------------|---|---|------|---|---|--------|---|---|-----|---|---|
|         |                                                                |                               |                                 | январь                             |   |   | феврал<br>ь |   |   | март |   |   | апрель |   |   | май |   |   |
|         |                                                                |                               |                                 | 1                                  | 2 | 3 | 1           | 2 | 3 | 1    | 2 | 3 | 1      | 2 | 3 | 1   | 2 | 3 |
| 1       | Выбор темы, постановка цели и задач ВКР                        | Научный руководитель          | 6                               |                                    | ▨ |   |             |   |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |
| 2       | Составление предварительного плана ВКР                         | Научный руководитель          | 2                               |                                    | ▨ |   |             |   |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |
| 3       | Подбор и первоначальное ознакомление с литературой по теме ВКР | Научный руководитель, инженер | 4<br>12                         |                                    |   | ▨ |             |   |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |
| 4       | Изучение и выбор метода исследований в ВКР                     | Научный руководитель, инженер | 2<br>21                         |                                    |   |   | ▨           |   |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |
| 5       | Написание теоретической части ВКР                              | Инженер                       | 17                              |                                    |   |   |             |   |   | ▨    | ▨ | ▨ |        |   |   |     |   |   |
| 6       | Подбор оборудования и заготовок для проведения процесса        | Научный руководитель, инженер | 5<br>5                          |                                    |   |   |             |   |   |      |   | ▨ |        |   |   |     |   |   |
| 7       | Наплавление металла на заготовки                               | Инженер                       | 10                              |                                    |   |   |             |   |   |      |   |   | ▨      | ▨ |   |     |   |   |
| 8       | Получение результатов исследования                             | Инженер                       | 10                              |                                    |   |   |             |   |   |      |   |   |        | ▨ | ▨ |     |   |   |
| 9       | Создание базы данных исследования                              | Инженер                       | 10,5                            |                                    |   |   |             |   |   |      |   |   |        | ▨ | ▨ |     |   |   |
| 10      | Анализ базы исследования/полученных результатов                | Научный руководитель, инженер | 10<br>35                        |                                    |   |   |             |   |   |      |   |   |        |   | ▨ |     |   |   |
| 11      | Оформление итогового варианта ВКР                              | Инженер                       | 21                              |                                    |   |   |             |   |   |      |   |   |        |   |   | ▨   | ▨ | ▨ |
| 12      | Согласование и проверка работы с научным руководителем         | Научный руководитель, инженер | 1,5                             |                                    |   |   |             |   |   |      |   |   |        |   |   |     |   | ▨ |

Инженер - ▨▨▨▨▨ Научный руководитель – ▨▨▨▨▨

## 4.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

### 4.5.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расх i}, \quad (10)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расх i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Исп.1 – ручная дуговая сварка (разработка);

Исп.2 – ручная импульсно-дуговая сварка;

Исп.3 – ручная сварка в среде защитного газа.

Расчет материальных затрат представлен в таблице 19.

Таблица 19 – Расчет материальных затрат

| №<br>п/<br>п | Наименование<br>оборудования | Кол-во<br>единиц<br>оборудования |       |       | Мощность<br>электроприбора,<br>кВт |       |       | Общая стоимость<br>оборудования, руб. |       |       |
|--------------|------------------------------|----------------------------------|-------|-------|------------------------------------|-------|-------|---------------------------------------|-------|-------|
|              |                              | Исп.1                            | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1                              | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1                                 | Исп.2 | Исп.3 |
| 1.           | Компьютер                    | 1                                |       |       | 0,350                              |       |       | 26500                                 |       |       |
| 2.           | Сталь для образцов           | 1                                |       |       | -                                  | -     | -     | 44000                                 |       |       |
| 3.           | Пачка электродов             | 1                                | 1     | 1     | -                                  | -     | -     | 850                                   | 750   | 1200  |
| 4.           | Сварочный инвертор           | 1                                | 1     | 1     | 3                                  | 3     | 5     | 15000                                 | 15000 | 20000 |
| Итого:       |                              | 4                                | 4     | 4     | 3,350                              | 3,350 | 5,350 | 86350                                 | 86250 | 91700 |



Расчет на электроэнергию определяется по формуле:

$$E_э = \sum N_i \cdot T_э \cdot Ц_э, \quad (11)$$

где  $N_i$  - мощность электроприборов по паспорту, кВт;

$T_э$  - время использования электрооборудования, час;

$Ц_э$  – цена одного кВт ·ч, руб.

$$E_э = 3,350 \cdot 250 \cdot 4,36 = 3651,5 \text{ руб.}$$

$$E_э = 5,350 \cdot 250 \cdot 4,36 = 5,831,5 \text{ руб.}$$

#### 4.5.2 Основная заработная плата исполнителей темы

Данная статья включает оплату труда научному руководителю и инженеру, также ежемесячно выплачивается премия в размере 12-20% от оклада.

Оклад по данным ТПУ для старшего преподавателя со степенью кандидат наук составляет 23100 рублей без районного коэффициента.

Таким образом, заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (12)$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата;

$З_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле

$$З_{дн} = \frac{З_{м} \cdot М}{F_{д}}, \quad (13)$$

где  $З_{м}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$М$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при отпуске в 24 раб. Дня;  $М = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. Дней  $М = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя);

В таблице 20 представлены показатели рабочего времени.

Таблица 20 – Баланс рабочего дня

| Показатели рабочего времени                  | Руководитель | Студент |
|----------------------------------------------|--------------|---------|
| Календарное число дней                       | 365          | 365     |
| Количество нерабочих дней                    |              |         |
| - выходные дни/праздничные дни               | 118          | 118     |
| Потери рабочего времени                      |              |         |
| - отпуск                                     | 50           | 93      |
| Действительный годовой фонд рабочего времени | 197          | 154     |

$$Z_{\text{зп}}(\text{науч.рук} - \text{ль}) = 34534(\text{руб.}) \quad Z_{\text{дн}}(\text{науч.рук} - \text{ль}) = 1244,30(\text{руб.})$$

$$Z_{\text{зп}}(\text{инженер}) = 25415(\text{руб.}) \quad Z_{\text{дн}}(\text{инженер}) = 115,70(\text{руб.})$$

$$Z_{\text{м}}(\text{науч.рук} - \text{ль}) = 54054(\text{руб.})$$

$$Z_{\text{м}}(\text{инженер}) = 39780(\text{руб.})$$

Таблица 21 представляет собой расчет основной заработной платы инженера и руководителя.

Таблица 21 – Расчет основной заработной платы

| Исполнители            | Разряд | $k_r$ | $Z_{\text{ге}}$<br>руб. | $k_{\text{пр}}$ | $k_d$ | $k_p$ | $Z_{\text{м}}$<br>руб | $Z_{\text{дн}}$<br>руб. | $T_{\text{р.}}$<br>раб.<br>Дн. | $Z_{\text{осн.}}$<br>руб. |
|------------------------|--------|-------|-------------------------|-----------------|-------|-------|-----------------------|-------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| Руководитель           | КН     |       | 23100                   | 0,3             | 0,5   | 1,3   | 54054                 | 1244,30                 | 20                             | 23022                     |
| Инженер                | -      |       | 17000                   | 0,3             | 0,5   | 1,3   | 39780                 | 1115,70                 | 77                             | 65231,80                  |
| Итого $Z_{\text{осн}}$ |        |       |                         |                 |       |       |                       |                         |                                | 88253,80                  |

Итого по статье «Основная заработная плата» - 88253,80 руб.

#### 4.5.3 Дополнительная заработная плата исполнительской системы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Расчет производится по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (14)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

$$З_{\text{доп}}(\text{студент}) = 3315(\text{руб.})$$

$$З_{\text{доп}}(\text{науч.рук} - \text{ль}) = 4504,50(\text{руб.})$$

Итого по статье «дополнительная заработная плата» - 7819,50 руб.

#### 4.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (15)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

$$З_{\text{внеб}}(\text{науч.рук} - \text{ль.}) = 12086,6(\text{руб.})$$

$$З_{\text{внеб}}(\text{студент}) = 2361(\text{руб.})$$

На 2014 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 30,2%. В таблице 22 представлены отчисления во внебюджетные фонды.

Таблица 22 – Отчисления во внебюджетные фонды

| Исполнитель                                  | Основная заработная плата, руб. | Дополнительная заработная плата, руб. |
|----------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| Научный руководитель                         | 23022                           | 4504,50                               |
| Инженер                                      | 17000                           | 3315                                  |
| Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды | 30,2% = 0,302                   |                                       |
| Итого :                                      | 12086,6                         | 2361                                  |

Итого по статье «Отчисления во внебюджетные фонды» - 14448,12 руб.

#### 4.5.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (16)$$

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$З_{\text{накл}} = 14163,80(\text{руб.})$$

Таким образом, по статье «накладные расходы» - 14163,80 руб.

#### 4.5.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

При планировании бюджета научного исследования было обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. Итоговые затраты представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Бюджет затрат НИП

| Наименование статьи                                          | Общая сумма затрат, руб. |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Материальные затраты НТИ                                     | 264300                   |
| Затраты по основной заработной плате исполнителей темы       | 88253,8                  |
| Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы | 7819,5                   |
| Отчисления во внебюджетные фонды                             | 14448,12                 |
| Накладные расходы                                            | 14163,80                 |
| <b>Итого:</b>                                                | <b>388985,22</b>         |

4.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (17)$$

где  $\Phi_{pi}$  – стоимость i-ого варианта исполнения;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения научно исследовательского проекта.

$$I_{\Phi}^p = \frac{86350}{91700} = 0,94;$$

$$I_{\Phi}^1 = \frac{86250}{91700} = 0,94;$$

$$I_{\Phi}^2 = \frac{91700}{91700} = 1;$$

$I_{\Phi}^p$  – ручная дуговая сварка (разработка) (исп.1);

$I_{\Phi}^1$  – ручная импульсно-дуговая сварка (исп.2);

$I_{\Phi}^2$  – ручная сварка в среде защитного газа (исп.3).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m = \sum_{i=1}^n a_i b_i, \quad (18)$$

где  $I_m$  – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го параметра;

$b_i$  – балльная оценка  $i$ -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, которая приведена ниже.

Разработка –ручная дуговая сварка плавящимся электродом.

Аналог 1 – ручная дуговая сварка плавящимся электродом с модуляцией.

Аналог 2 – ручная дуговая сварка неплавящимся электродом.

Сравнительная оценка характеристик разработки и ее аналогов представлена в таблице 24.

Таблица 24 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

| Критерии                 | Весовой коэффициент параметра | Разработка | Аналог 1 | Аналог 2 |
|--------------------------|-------------------------------|------------|----------|----------|
| Производительность труда | 0,3                           | 5          | 3        | 4        |
| Технологичность          | 0,1                           | 5          | 5        | 4        |
| Энергосбережение         | 0,14                          | 5          | 4        | 3        |
| Безопасность             | 0,12                          | 4          | 3        | 4        |
| Затраты на материалы     | 0,3                           | 5          | 4        | 3        |
| ИТОГО                    | 1                             | 4,55       | 3,35     | 2,85     |

По формуле и данным таблицы 24 рассчитаем интегральный показатель ресурсоэффективности и финансовый показатель.

$$I_m^p = 0,3 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,14 \cdot 5 + 0,12 \cdot 4 + 0,3 \cdot 5 = 4,55;$$

$$I_m^{a1} = 0,3 \cdot 3 + 0,1 \cdot 5 + 0,14 \cdot 4 + 0,12 \cdot 3 + 0,3 \cdot 4 = 3,35;$$

$$I_m^{a2} = 0,3 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,14 \cdot 3 + 0,12 \cdot 4 + 0,3 \cdot 3 = 2,85;$$

Интегральный показатель эффективности разработки определяется по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{ф}}^p}, \quad (19)$$

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{4,55}{0,94} = 4,84.$$

В таблице 25 представлены данные сравнительной эффективности разработки и ее аналогов.

Таблица 25 – Сравнительная эффективность разработки

| № п/п | Показатели                                              | Разработка | Аналог 1 | Аналог 2 |
|-------|---------------------------------------------------------|------------|----------|----------|
| 1     | Интегральный финансовый показатель разработки           | 0,94       | 0,94     | 1        |
| 2     | Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки | 4,55       | 3,35     | 2,85     |
| 3     | Интегральный показатель эффективности                   | 4,64       | 3,56     | 2,85     |
| 4     | Сравнительная эффективность вариантов исполнения        | -          | 1,4      | 1,6      |

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет судить о приемлемости текущей разработки с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Таким образом, данный проект является эффективным, поскольку разрушения в основном происходят в зонах сварных соединений. Это неизбежно приводит к снижению допустимых рабочих нагрузок на нефтегазопроводах при низких температурах окружающего воздуха и существенно ограничивает их срок службы. Также можно сказать, что разработанный проект имеет значительно больше ресурсных, финансовых и экономических достоинств по сравнению с аналогами и тем самым является востребованным на рынке.

## 5 Социальная ответственность

Выпускная квалификационная работа по теме «Влияние параметров режима ручной дуговой сварки покрытыми электродами на структуру и свойства соединений магистральных трубопроводов, работающих в условиях низких климатических температур» выполняется в рамках научно-исследовательской работы для организации. Заинтересованными лицами в полученных данных будут являться сотрудники организации поставляющих и добывающих нефтяную и газовую продукцию, а также ОЭИ, ИШНКБ.

Основная задача данной работы разработать технологию сварки неповоротного стыка трубопровода, работающего при низких температурах. Это означает, что необходимо подобрать режимы сварки используя ручную дуговую и импульсно-дуговую сварку покрытыми электродами. Подобрать из множества марок электродов, такие, которые будут оптимальных для выполнения поставленной задачи.

В данном разделе ВКР проанализированы основные аспекты социальной ответственности, необходимые в ходе исследования (экологические возможные негативные последствия и ущерб здоровью человека и окружающей среде, чрезвычайные ситуации, правовые нормы и др.).

### 5.1 Описание рабочего места

Научно-исследовательская работа выполнялась в лаборатории сварки НИТПУ. Помещение лаборатории оборудовано местной вытяжной вентиляцией воздуха и расположено на 1 этаже 3 этажного производственного корпуса. В помещении размещено оборудование для ручной дуговой и импульсно-дуговой сварки. Площадь лаборатории составляет 50 м<sup>2</sup> и в ней размещено 4 рабочих места.

В соответствии с [25], помещения в которых производятся исследования сварочных процессов относятся к категории Г, так как в них могут находиться негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном



состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и горючие газы, которые сжигаются в качестве топлива. Для предотвращения возникновения ЧС в помещении установлено два огнетушителя и изображен план эвакуации из здания.

## 5.2 Анализ выявленных вредных факторов

### 5.2.1 Показатели микроклимата в помещениях

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей. Оптимальные микроклиматические условия обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-ми часовой рабочей смены, не вызывают отклонений в состоянии здоровья и создают предпосылки для высокой работоспособности. Согласно [26], показателями, характеризующими микроклимат, являются: температура воздуха, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха, интенсивность теплового излучения.

Температуры воздуха и поверхностей, относительная влажность и скорость движения воздуха приведены в таблице 26 для категории Ib, к ней относятся работы с интенсивностью энергозатрат 121-150 ккал/ч, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением.

Перепады температуры воздуха по высоте и по горизонтали, а также изменения температуры воздуха в течение смены при обеспечении оптимальных величин микроклимата на рабочих местах не должны превышать 2 °С и выходить за пределы величин, указанных в таблице 26.

Таблица 26 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений [26]

| Период года | Категория работ по уровню энергозатрат, Вт | Температура воздуха, °С | Температура поверхностей, °С | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с |
|-------------|--------------------------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Холодный    | 16 (140-174)                               | 21-23                   | 20-24                        | 60-40                              | 0,1                            |
| Теплый      | 16 (140-174)                               | 22-24                   | 21-25                        | 60-40                              | 0,1                            |

### 5.2.2 Возникновение шума в процессе сварки

Методы установления предельно допустимых шумовых характеристик оборудования для контактной сварки изложены в [27]. Шум на рабочих местах также может проникать извне через каналы вентиляции и проем двери из кабинета в коридор. Для оценки шума используют частотный спектр измеряемого уровня звукового давления, выраженного в децибелах (дБ), в активных полосах частот, который сравнивают с предельным спектром.

По характеру спектра в помещении присутствуют широкополосные шумы. Источник шумов – сгорание покрытого электрода при сварке. Для рабочих помещений административно-управленческого персонала производственных предприятий, лабораторий, помещений для измерительных и аналитических работ уровень шума не должен превышать 50 дБ [28].

### 5.2.3 Освещенность рабочей зоны

Рациональное освещение имеет большое значение для высокопроизводительной и безопасной работы. Нормирование значений освещенности рабочей поверхности при сварочных работах составляет 200 лк [29].

Освещение осуществляется светильниками общего и местного освещения. Светильник состоит из источника искусственного освещения (лампы) и осветительной арматуры.

Отклонение освещенности от нормы может быть вызвано ошибочным расположением ламп в помещении, отсутствием окон в помещении, не правильным выбором количества осветительных приборов и не рациональной загрузкой на них электрического тока. Данный фактор может стать причиной неадекватного восприятия человеком технологического процесса, его утомления, а также вызвать пульсирующие головные боли.

#### 5.2.4 Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Наиболее характерным вредным фактором практически для всех способов сварки является образование и поступление в воздух рабочей зоны сварочных аэрозолей, содержащие токсичные вещества. Причиной образования сварочных газов и вредных веществ в процессе сварки могут быть наличие масла и антикоррозионного покрытия на поверхности свариваемых деталей, сгорание обмазки электрода. При сварке деталей из цветных металлов также выделяются вредные вещества.

Токсичные включения, входящие в состав сварочного электрода, и вредные газы при их попадании в организм человека через дыхательные пути могут оказывать на него неблагоприятное воздействие и вызывать ряд профзаболеваний. Мелкие частицы пыли (от 2 до 5 мкм), проникающие глубоко в дыхательные пути, представляют наибольшую опасность для здоровья, пылинки размером до 10 мкм и более задерживаются в бронхах, также вызывая их заболевания.

В процессе исследования ручной дуговой и импульсно-дуговой сварки могут выделяться вредные вещества и их предельно допустимые концентрации в воздухе рабочей зоны, в зависимости от химического состава материала образцов и электродов, которые указаны в таблице 27 [30].

Таблица 27 – ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны

| Наименование вещества                            | Величина ПДК, мг/м <sup>3</sup> | Преимущественное агрегатное состояние в условиях производства | Класс опасности |
|--------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------|
| Алюминий и его сплавы                            | 2                               | A                                                             | III             |
| Бериллий и его соединения                        | 0,001                           | A                                                             | I               |
| Ванадий и его соединения                         | 0,1/0,5                         | A                                                             | I               |
| Вольфрам                                         | 6                               | A                                                             | IV              |
| Железа оксид с примесью оксидов марганца (до 3%) | 6                               | A                                                             | IV              |
| Кадмия оксид                                     | 0,1/0,03                        | A                                                             | I               |
| Кобальт металлический, оксид кобальта            | 0,5                             | A                                                             | II              |
| Марганец(до 20% в сварочном аэрозоле)            | 0,2                             | A                                                             | II              |
| Медьметаллическая                                | 1/0,5                           | A                                                             | II              |
| Молибден                                         | 3/05                            | A                                                             | III             |
| Титан                                            | 10                              | A                                                             | IV              |
| Торий                                            | 0,05                            | A                                                             | I               |
| Цинк оксид                                       | 0,5                             | A                                                             | II              |
| Хрома оксид                                      | 1                               | A                                                             | III             |

Примечания: ПДК для атмосферного воздуха, указанные в числителе, являются максимально разовыми, а в знаменателе и без дроби – среднесуточными II - пары и/или газы; A - аэрозоли.

#### 5.2.5 Мероприятия по обеспечению требований норм концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Для эффективного улавливания сварочного газов при работе в помещении кроме общей приточной вытяжной вентиляции рекомендуется и местная вентиляция. Кроме этого в качестве индивидуальной защиты применяют фильтрующие противопылевые респираторы.

## 5.3 Анализ опасных факторов, создаваемых установкой при сварке

### 5.3.1 Электробезопасность

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока. В зависимости от индивидуальных показателей человека (масса, рост, строение тела, пол, род занятий), его физического состояния (болезнь, наличие состояния алкогольного опьянения), параметров протекающего тока (сила тока и его частота), состояния окружающей среды зависит поражающее воздействие на организм.

Одним из наиболее опасных параметров являются переменный ток с частотой от 10 до 120 Гц. Наиболее безопасным напряжением для человека является до 12 В, условно безопасным до 36 В [31]. Опасной величиной считается ток, более 10 мА, а смертельным более 100 мА. Опасность поражения человека электрическим током существует во всех случаях, когда используются электрические установки и оборудование.

Основными причинами поражения электрическим током могут послужить следующие факторы: прикосновение к токоведущим частям или прикосновение к конструктивным частям, оказавшимся под напряжением.

### 5.3.2 Расчет защитного заземления

У сварочного оборудования система заземления состоит из заземлителей – металлических предметов, углубленных в землю, заземляющих проводников и заземляющей магистрали. Соединение заземлителей с элементами электроустройств должно быть надежно закреплено посредством сварки. В качестве материала для выполнения заземлителей применяют сталь. В нашем случае – трубы диаметром 100 мм, которые соединены между собой, с помощью полосовой стали. Для того, чтобы уменьшить колебания удельного сопротивления грунта заземлители забивают в землю так, чтобы их верх находился на расстоянии 0,7-0,8 м от уровня земли. Тем самым достигаются

более влажные и непромерзающие слои грунта. Полосовую сталь для соединения заземлителей принимаем сечением 60x10 мм.

Оборудование работает под напряжением 380 вольт. По таблице 1 [32] определяем для нашего случая по нормам допускаемого сопротивления заземлителей 4 Ом, а по таблице 4 [32] удельное сопротивление грунта (сугликон) составляет  $\rho_{\text{г}} = 10^4$  Ом.

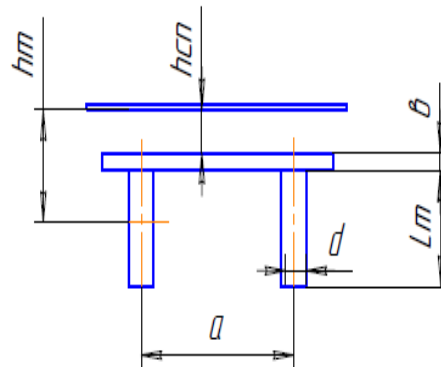


Рисунок 33 – Схема заземления

Основные геометрические параметры схемы заземления:  $h_m = 2500$  мм;  $h_{\text{сп}} = 800$  мм;  $L_m = 3500$  мм;  $d = 100$  мм;  $a = 3800$  мм.

Учитывая возможность промерзания грунта зимой и просыхания летом, определяем расчетное значение  $\rho_{\text{э}}$  и  $\rho_{\text{н}}$  (Ом·см) при использовании трубчатых заземлителей и стальной полосы. Коэффициенты  $K_{\text{э}}$  и  $K_{\text{н}}$  берем из таблицы 5 [10] для соответствующей климатической зоны.

$$P_{\text{э}} = \rho_{\text{т}} \cdot K_{\text{э}} = 1 \cdot 10^4 \cdot 1,9 = 1,9 \cdot 10^4, \quad (20)$$

$$P_{\text{н}} = \rho_{\text{н}} \cdot K_{\text{н}} = 1 \cdot 10^4 \cdot 4,5 = 4,5 \cdot 10^4, \quad (21)$$

Определяем величину сопротивления растекания тока от одной забитой в землю трубы в соответствии с изложенным в [8].

$$R_{\text{э}} = \frac{\rho_{\text{э}}}{2 \cdot \pi \cdot L_m} \left( \ln \frac{2 \cdot L_m}{d} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot H_m + L_m}{4 \cdot H_m - L_m} \right), \quad (22)$$

где  $L_m$  – длина электрода, см;

$d$  – диаметр электрода, см;

$H_m$  – глубина заложения, см.

Подставляем значения в формулу (22) и получаем:

$$R_{\text{э}} = \frac{1,9 \cdot 10^4}{2 \cdot 3,14 \cdot 350} \left( \ln \frac{2 \cdot 350}{10} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 250 + 350}{4 \cdot 250 - 350} \right) = 37 \text{ Ом.}$$

Определяем требуемое число заземлителей (шт.) в соответствии с [32]:

$$n = \frac{R_{\text{э}}}{r_{\text{э}}} = \frac{37}{4} = 9,2, \quad (23)$$

где  $r_{\text{э}}$  – допускаемое сопротивление, Ом.

Принимаем количество труб  $n = 9$  шт.

Определяем длину соединительной полосы,  $L_n$  если электроды расположены по контуру:

$$L_n = a \cdot (n - 1) = 3800 \cdot 8 = 30,4 \text{ м.}$$

Определяем сопротивление соединительной полосы (Ом) [33]:

$$R_n = \frac{\rho_n}{2 \cdot 3,14 \cdot L_n} \cdot \ln \frac{2 \cdot L_n^2}{h_{\text{сн}} \cdot b} = \frac{4,5 \cdot 10^4}{2 \cdot 3,14 \cdot 30400} \cdot \ln \frac{2 \cdot 30400^2}{80 \cdot 6} = 3,6 \text{ Ом.}$$

Результирующее сопротивление системы заземления определяется по формуле:

$$R_c = \frac{R_{\text{э}} \cdot R_n}{R_{\text{э}} \cdot n_{\text{э}} + R_n \cdot \eta_n \cdot N}, \quad (24)$$

где  $\eta_{\text{э}}$  – коэффициент использования электродов,  $\eta_{\text{э}} = 0,78$ ;

$\eta_n$  – коэффициент использования полосы,  $\eta_n = 0,55$ .

Тогда с учетом всех значений получаем:

$$R_c = \frac{37 \cdot 3,6}{37 \cdot 0,78 + 3,6 \cdot 0,55 \cdot 9} = 2,9 \text{ Ом.}$$

Проверка:  $R_c < r_{\text{э}}$

$$R_c = 2,9 \text{ Ом} < r_{\text{э}} = 4 \text{ Ом.}$$

Таким образом, диаметр заземлителя  $d = 100$  мм при числе заземлителей  $n = 9$  штук на расстоянии 3,8 метра друг от друга. Длина соединительной полосы 30,4 метра, сопротивление соединительной полосы  $R_n = 3,6$  Ом при

глубине заложения  $h_{\text{п}} = 2,5$  м, что является достаточным для обеспечения защиты при данной схеме расположения заземлителей.

Опасным фактором, неблагоприятно воздействующим на здоровье человека в процессе сварки являются искры и брызги расплавленного металла из зоны сварки. Это явление также может быть причиной местных ожогов.

#### 5.4 Мероприятия по обеспечению защиты исследователя от действия опасных и вредных факторов

##### 5.4.1 Мероприятия по обеспечению оптимального микроклимата

Для того чтобы создать необходимые метеорологические условия рабочей зоны и предотвратить различные переохлаждения и перегревания организма в небольших помещениях устанавливают кондиционеры. С помощью кондиционирования воздуха в закрытых помещениях можно поддерживать необходимую температуру, а также скорость движения воздуха.

Микроклимат производственных помещений поддерживается на оптимальном уровне системой водяного центрального отопления, естественной вентиляцией, а также искусственным кондиционированием и дополнительным прогревом в холодное время года.

##### 5.4.2 Мероприятия по обеспечению требований норм шума

Для снижения шума в помещениях используют средства звукоизоляции и звукопоглощения, устанавливают глушители шума и рационально продумывают технологию производства с использованием малошумных технологических процессов. Также в качестве индивидуальных средств защиты от шума применяют различные противοшумные наушники, вкладыши, шлемы, каски и костюмы.

В лаборатории, которой ведутся сварочные работы, главным источником шума является источник питания, который по характеру спектра является широкополосным.



Уменьшение влияния данного фактора возможно путём:

- 1) изоляции источников шумов;
- 2) проведение акустической обработки помещения;
- 3) создание дополнительных ДВП или ДСП изоляционных перегородок;

#### 5.4.3 Мероприятия по обеспечению требований норм освещенности

Для производственных помещений, а также научно-технических лабораторий коэффициент пульсаций освещенности ( $K_p$ ) должен быть не больше 10%.

В целях уменьшения пульсаций ламп, их включают в разные фазы трехфазной цепи, стабилизируют постоянство прохождения в них переменного напряжения. Но самым рациональным решением данного вредного фактора является изначально правильное расположение и подключение источников света в помещении, путем замеров освещенности, при помощи люксметра, и сравнения полученных результатов с нормативными документами.

#### 5.4.4 Мероприятия по обеспечению требований норм концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Для эффективного улавливания сварочного газов при работе в помещении кроме общей приточной вытяжной вентиляции рекомендуется и местная вентиляция. Кроме этого в качестве индивидуальной защиты применяют фильтрующие противопылевые респираторы.

#### 5.4.5 Мероприятия по обеспечению требований норм электробезопасности

С целью исключения опасности поражения электрическим током необходимо соблюдать следующие правила электрической безопасности:

- перед включением установки должна быть визуально проверена ее электропроводка на отсутствие возможных видимых нарушений изоляции, а также на отсутствие замыкания токопроводящих частей держателей электродов;

- при появлении признаков замыкания необходимо немедленно отключить от электрической сети установку;

- запрещается при включении контактной машины одновременно прикасаться к верхнему и нижнему электродам, имеющим естественное заземление.

К защитным мерам от опасности прикосновения к токоведущим частям электроустановок относятся: изоляция, ограждение, блокировка, пониженные напряжения, электрозащитные средства.

Среди распространенных способов защиты от поражения электрическим током при работе с электроустановками различают:

- защитное заземление – предназначено для превращения «замыкания на корпус» в «замыкание на землю», с тем, чтобы уменьшить напряжение прикосновения и напряжение шага до безопасных величин (выравнивание самый распространенный способ защиты от поражения электрическим током;

- зануление – замыкание на корпус электроустановок;

- системы защитного отключения – отключение электроустановок в случае проявления опасности пробоя на корпус;

- защитное разделение сетей;

- предохранительные устройства.

К работам на электроустановках допускаются лица, достигшие 18 лет, прошедшие инструктаж и обученные безопасным методам труда. К тому же электробезопасность зависит и от профессиональной подготовки работников, сознательной производственной и трудовой дисциплины. Целесообразно каждому работнику знать меры первой медицинской помощи при поражении электрическим током.

#### 5.4.6 Мероприятия по обеспечению требований норм защиты брызг и расплавленного металла

Для предохранения тела от ожогов основной защитой является использование специальной одежды и обуви. Костюм и рукавицы должны быть исправными. Костюм одевается с напуском брюк на обувь, чтобы не оставалось незащищенных частей тела. Наиболее подходящей обувью являются ботинки без шнурков с гладким верхом и застежкой сзади либо с резиновыми растягивающими боковинами. Пользование рукавицами предохраняет руки одновременно от ожогов и от порезов об острые кромки металла. В качестве защитных средств от действия излучения дуги, кроме спецодежды, используются маска или шлем. Глаза защищаются от излучения специальными темными стеклами, светофильтрами, вставленными в щиток или шлем, которым сварщик защищает лицо во время сварочных работ [34].

#### 5.5 Экологическая безопасность

Экологическая безопасность – это допустимый уровень негативного воздействия со стороны природных и антропогенных факторов экологической опасности на окружающую среду и человека.

При проведении исследований сварочных процессов загрязнение окружающей среды происходит за счет выбросов в атмосферу, не уловленной фильтрацией пыли, газов и других сварочных аэрозолей, а также образования твёрдых отходов (огарки электродов, затвердевший шлак и так далее).

Воздушная среда помещений загрязняется сварочными аэрозолями, в состав которых могут входить оксиды марганца, хрома, цинка и кремния, фтористые и другие соединения, а также газы (оксиды углерода, азота и т.п.). Эти вещества оказывают неблагоприятное воздействие на организм человека. В связи с этим необходимо проводить мероприятия по очистке вредных выбросов, например, устанавливать очистные фильтры на выходе воздуховода, что значительно снизит количество выбросов вредных веществ в атмосферу.

В качестве фильтров, применяемых для осуществления местной вентиляции, рекомендуется использовать «сухие» пористые фильтры, так называемые рукавные фильтры ФРКИ. Степень очистки газов в них при соблюдении правил технической эксплуатации достигает 99,9% [35].

К твердым отходам, образующимся при проведении исследований в сварочном производстве можно отнести уже отработанные образцы, обрезки металла, используемого для их изготовления, металлическая стружка от электродов и прочие. Отходы собираются в мусоросборники и контейнеры, которые по мере заполнения удаляются из помещений в специально отведенные места. Вывозят отходы, как правило, на специально выделенные места захоронения или на общие свалки [36].

Использование вторичных сырьевых ресурсов и отходов производства - одно из важнейших направлений повышения эффективности производства. Является необходимым условием снижения уровня промышленного загрязнения окружающей среды.

Существует два пути утилизации металлических отходов: без переплава и с переплавом. В соответствии с этим отходы можно подразделить на следующие две основные группы: деловые (кусковые) отходы сортового и листового проката, используемые для изготовления новых образцов или предназначенные для передачи другим предприятиям; металлолом и стружка.

Очевидно, что утилизация отходов без переплава является более рациональной, поскольку в этом случае отпадает необходимость в их переработке, связанной с большими энергозатратами и отрицательно воздействующей на окружающую среду.

Переработка металлических отходов с переплавом является основным путем их утилизации. Выплавка вторичных металлов из скрапа - амортизационного лома, т.е. металлолома, получаемого от амортизации и морального износа металлических конструкций, машин и т.д., и производственных отходов (обрезков, стружки и т.п.) представляет собой самую крупную сферу потребления, твердых отходов в промышленности [36].

При написании магистерской диссертации были следующие отходы: использованная бумага и шариковые ручки, которые в ходе их непригодности выкидывались в мусорное ведро, а затем и в мусорный контейнер. Вредных выбросы в атмосферу производились в малом количестве, радиационного заражения не произошло, чрезвычайные ситуации не наблюдались, поэтому существенных воздействий на окружающую среду и соответственно вреда природе не оказывалось.

## 5.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации относятся к совокупности опасных событий или явлений, приводящих к нарушению безопасности жизнедеятельности. К ним относятся: высокие и низкие температуры, физическая нагрузка, поражающие токсичные дозы сильнодействующих ядовитых веществ, высокие дозы облучения, производственные шумы и вибрации и многое другое могут приводить к нарушению жизнедеятельности человека.

Основными причинами возникновения чрезвычайных ситуаций являются, во-первых, внутренние, к которым относятся: сложность технологий, недостаточная квалификация персонала, проектно-конструкторские недоработки, физический и моральный износ оборудования, низкая трудовая и технологическая дисциплина. Во-вторых, внешние чрезвычайные ситуации, - это стихийные бедствия, неожиданное прекращение подачи электроэнергии, воды, технологических продуктов, терроризм, войны.

Инженерно-технические мероприятия должны обеспечивать повышенную устойчивость промышленных зданий и сооружений при наступлении чрезвычайных ситуаций.

Должны проводиться организационные мероприятия, которые предусматривают заблаговременную разработку и планирование действий персонала или личного состава штаба, служб и формирований государственной обороны в условиях возникновения чрезвычайной ситуации.

Пожарная безопасность – состояние объекта, при котором исключается возможность пожара, а в случае его возникновения предотвращается воздействие на людей опасных его факторов и обеспечивается защита материальных ценностей.

Противопожарная защита – это комплекс организационных и технологических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, предотвращение пожара, ограничение его распространения, а также на создание условий для успешного тушения пожаров.

Пожар – неконтролируемое горение, приводящее к ущербу и возможным человеческим жертвам. Опасными факторами пожара, воздействующими на людей, являются: открытый огонь; искры; повышенная температура окружающей среды; токсичные продукты горения, дым; пониженная концентрация кислорода.

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. Во всех служебных помещениях обязательно должен быть «План эвакуации людей при пожаре», регламентирующий действия персонала в случае возникновения очага возгорания и указывающий места расположения пожарной техники.

С целью предотвращения пожаров необходимо:

1. Уходя из помещения проверить отключения всех электронагревательных приборов, электроустановок, а также силовой и осветительной сети.
2. Курить только в отведенных для курения местах.
3. В случае возникновения пожара приступить к его тушению имеющимися средствами, эвакуироваться и вызвать по телефону «01» пожарную службу.
4. Сотрудники должны быть ознакомлены с планом эвакуации людей и материальных ценностей при пожаре. План эвакуации должен находиться в каждом помещении и на каждом этаже лестничной площадке.

В производственных помещениях проходит большое количество проводов и большое количество электроприборов. Не правильная изоляция

данных проводов, или отсутствие заземления может привести к поражению человека или к возникновению возгораний.

В целях безопасности в помещениях имеются рубильники для полного обесточивания помещения, а также изоляция проводов, защитное состояние сети и применение специальных защитных устройств (сетевые фильтры, автоматические выключатели).

План эвакуации людей из лаборатории производственного корпуса показан на рисунке 34.

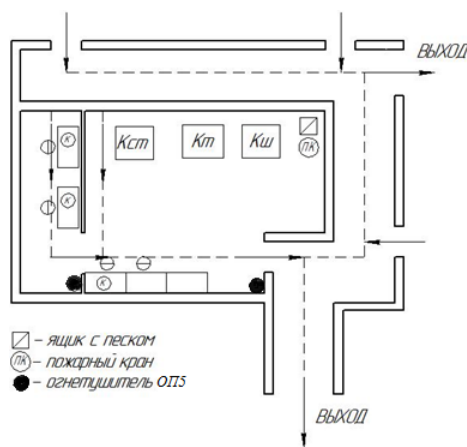


Рисунок 34 – План эвакуации при пожаре

## 5.7 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности и социальной защиты работников на предприятии

Все требования по технике безопасности можно разделить на следующие виды: требования безопасности к сварочному оборудованию, предупреждение травматизма, требования к вентиляции помещения, противопожарная безопасность.

К электросварочному оборудованию предъявляются следующие требования безопасности. Электросварочная установка всегда должна иметь паспорт, инструкцию по эксплуатации, инвентарный номер. Электроустановки включаются в электросеть только при помощи пусковых устройств. Включать в электросеть и отключать от нее электросварочные установки, а также производить ремонтные работы должны только электромонтеры. Прочему

персоналу эти операции производить запрещается. Необходимо постоянно следить за исправностью изоляции питающих проводов, отсутствием оголенных токоведущих частей, а также за целостностью заземляющего провода. Состояние изоляции должно проверяться мегомметром не реже одного раза в месяц. Размещение сварочного оборудования, а также расположение и конструкция его узлов и механизмов должны обеспечивать безопасный и свободный доступ к нему.

Все электрооборудование должно быть заземлено. Заземление выполняется с целью обеспечения безопасности людей при нарушении изоляции токоведущих частей, для обеспечения нормальных режимов работы установки, для защиты электрооборудования от перенапряжений, для молниезащиты зданий и сооружений. Надежность заземления проверяется путем замеров.

Наиболее распространенными средствами индивидуальной защиты от различных вредных и опасных факторов является спецодежда, спецобувь, предохранительные приспособления.

Для предохранения тела от ожогов основной защитой является использование специальной одежды и обуви. Костюм и рукавицы должны быть исправными. Костюм одевается с напуском брюк на обувь, чтобы не оставалось незащищенных частей тела. Наиболее подходящей обувью являются ботинки без шнурков с гладким верхом и застежкой сзади либо с резиновыми растягивающими боковинами. Пользование рукавицами предохраняет руки одновременно от ожогов и от порезов об острые кромки металла. В качестве защитных средств от действия излучения дуги, кроме спецодежды, используются маска или шлем. Глаза защищаются от излучения специальными темными стеклами, светофильтрами, вставленными в щиток или шлем, которым сварщик защищает лицо во время сварочных работ.

К проведению сварочных работ разрешается допускать сварщиков после соответствующего обучения, имеющих удостоверение на право выполнения данного вида сварочных работ, прошедших инструктаж и проверку знаний



техники безопасности с оформлением в специальном журнале, а также прошедших медицинский осмотр. Запрещается выполнять электросварочные работы лицам, не достигшим 18-летнего возраста. Все сварщики должны ежегодно проходить проверку знаний инструкции по охране труда.

Не подготовленному персоналу категорически запрещается исправлять силовые электрические цепи. Не разрешается скручивать сварочные провода и использовать провода с поврежденной изоляцией. Запрещается выполнять сварочные работы вблизи взрывоопасных и огнеопасных материалов. Не разрешается загромождать, закрывать пожарные проезды и проходы к пожарному инвентарю, оборудованию и пожарным кранам. Персоналу необходимо уметь пользоваться средствами огнетушения и применять их в соответствии с инструкциями в зависимости от характера горящего вещества и вещества огнетушителя. Во время работы сварщик обязан закрывать лицо щитком или шлемом со специальными защитными стеклами, для защиты кожи от ожогов работать в спецодежде и рукавицах.

Проверка сварочного аппарата должна производиться в следующие сроки. Наружный осмотр каждый раз перед работой. Ревизия с разборкой и проверкой – не реже двух раз в год.

Основной задачей регулирования проектных решений разрешается за счет соблюдения законов (налоговое законодательство, трудовой и гражданский кодексы). Руководитель (ответственный) принимает обязательства выполнения и организации правил эвакуации и соблюдение требования безопасности в помещении.

Требования к размещению сварочных аппаратов для ручной дуговой и импульсно-дуговой сварки, организации рабочих мест и к производственным помещениям – в соответствии с [37].

Рабочие места электросварщиков должны ограждаться переносными или стационарными светонепроницаемыми ограждениями (щитами, ширмами или экранами) из несгораемого материала, высота которых должна обеспечивать надежную защиту.

Ширина проходов с каждой стороны рабочего стола и стеллажа должна быть не менее 1 м.

Ширина проходов между сварочными аппаратами должна быть: при расположении рабочих мест друг против друга для сварочных машин и аппаратов - не менее 3 м, при расположении машин тыльными сторонами друг к другу - не менее 1 м, при расположении машин передними и тыльным и сторонам и друг к другу - не менее 1,5 м.

Полы производственных помещений для выполнения сварки должны быть несгораемые, обладать малой теплопроводностью, иметь ровную нескользкую поверхность, удобную для очистки, а также удовлетворять санитарно-гигиеническим требованиям в соответствии с действующими строительными нормами и правилами.

Рабочее место обслуживающего персонала, взаимное расположение всех элементов (органов управления, средств отображения информации, оповещения и другое) должны обеспечивать рациональность рабочих движений и максимально учитывать энергетические, скоростные, силовые и психофизиологические возможности человека.

Следует предусматривать наличие мест для размещения съемных деталей, переносной измерительной аппаратуры, хранение заготовок, готовых изделий и др.

Установки должны эксплуатироваться в специально выделенных помещениях либо могут располагаться в открытом пространстве на фундаментах или платформах транспортных средств.

Помещения должны соответствовать требованиям пожарной безопасности и иметь необходимые средства предотвращения пожара и противопожарной защиты.

Отделку помещений следует выполнять только из негорючих материалов. Не допускается применение глянцевых, блестящих, хорошо(зеркально) отражающих излучение сварочной дуги (коэффициент отражения рекомендуется не более 0,4).

Двери помещений должны иметь знак ультрафиолетовой опасности.

Высота помещений должна быть не менее 4,2 м. Коммуникации (вода, электроэнергия, воздух, и др.) следует прокладывать под полом в специальных каналах с защитными коробами (возвышение над уровнем пола не допускается) или подвешивать кабели на высоте не менее 2,2 м от пола.

Помещения должны иметь приточно-вытяжную вентиляцию. При необходимости, рабочие места должны быть оборудованы местной вытяжкой с целью исключения попадания в рабочее помещение продуктов взаимодействия ультрафиолетового излучения с обрабатываемыми материалами.

## 5.8 Социальное страхование

### 5.8.1 Страховщик – Фонд социального страхования РФ

Страхователь – Юридические лица любой организационно-правовой формы (в том числе иностранные организации, осуществляющие свою деятельность на территории РФ и нанимающие граждан РФ) либо физические лица, нанимающие лиц, подлежащих обязательному социальному страхованию.

Федеральным законом [38] произведена замена должника в обязательствах по возмещению вреда, причиненного работнику при исполнении им трудовых обязанностей.

Сам пострадавший или лица, имеющие право на получение возмещения, должны предъявлять соответствующие требования к работодателю, а не к органам Фонда социального страхования РФ.

Если гражданин выполняет работу по гражданско-правовому договору, условия которого не предусматривают обязанность уплаты работодателем страховых взносов, то возмещение работнику утраченного заработка, в части оплаты труда, осуществляется причинителем вреда.

Возмещение застрахованным лицам морального вреда, причиненного, в связи с несчастным случаем на производстве или профессиональным заболеванием, осуществляется причинителем вреда.

Виды обеспечения по страхованию [38]:

- Пособие по временной нетрудоспособности;
- Единовременные страховые выплаты;
- Ежемесячные страховые выплаты;
- Лечение застрахованного, осуществляемое на территории РФ;
- Приобретение лекарственных препаратов;
- Уход за застрахованным, в том числе осуществляемый членами его семьи;
- Проезд застрахованного и сопровождающего его лица для получения отдельных видов медицинской и социальной реабилитации;
- Медицинская реабилитация;
- Изготовление и ремонт протезов;
- Обеспечение транспортными средствами при наличии соответствующих медицинских показаний;
- Профессиональное обучение и получение дополнительного профессионального образования.

#### 5.8.2 Единовременные и ежемесячные выплаты

Размер единовременной страховой выплаты определяется в соответствии со степенью утраты застрахованным профессиональной трудоспособности исходя из максимальной суммы, установленной федеральным законом о бюджете Фонда социального страхования Российской Федерации на очередной финансовый год [38].

Ежемесячные страховые выплаты подлежат выплате застрахованному работнику на протяжении всего периода стойкой утраты им профессиональной трудоспособности.

Если при расследовании страхового случая комиссией по расследованию страхового случая установлено, что грубая неосторожность застрахованного содействовала возникновению или увеличению вреда, причиненного его здоровью, размер ежемесячных страховых выплат уменьшается соответственно

степени вины застрахованного, но не более чем на 25 %. Степень вины застрахованного устанавливается комиссией по расследованию страхового случая в процентах и указывается в акте о несчастном случае на производстве или в акте о профессиональном заболевании.

При определении степени вины застрахованного рассматривается заключение профсоюзного комитета.

### 5.8.3 Пособие по временной нетрудоспособности

Пособие по временной нетрудоспособности в связи с несчастным случаем на производстве или профессиональным заболеванием подлежит выплате застрахованному работнику за весь период временной нетрудоспособности до его выздоровления или установления стойкой утраты трудоспособности, в размере 100 % среднего заработка, исчисленного в соответствии с действующим законодательством РФ о пособиях по временной нетрудоспособности.

## Заключение

Т.к. в большинстве подрядная организация спешит сдать объект в указанные сроки, но не успевая, начинают нарушать технологию сварки магистральных трубопроводов. В связи с этим был осуществлен подбор таких сварочных материалов и параметров режима сварки, которые позволят минимизировать влияние нарушения технологических параметров сварки.

В процессе сравнения электродов по форме наплавленных валиков, было подтверждено хорошее качество и характеристики выбранных электродов таких, как УОНИ-13/Мороз, LB-52 МК и японские электроды LB-52U. При оценке характера формирования структуры ниточного валика покрытыми электродами на постоянном и импульсном питании дуги, отмечено незначительное измельчение зерен при использовании импульсного питания дуги данными марками покрытых электродов. Так же данные образцы были подвержены механическим испытаниям. Испытания показали удовлетворительные результаты, при растяжении все образцы порвались в зоне основного металла, а не по сварному шву. Так же при испытаниях на статический изгиб образцы показали угол изгиба в  $120^\circ$ .

После корректировки режимов и выполнения сварки, по визуальным наблюдениям и радиографическому контролю, вновь хорошо проявили себя электроды УОНИ-13/Мороз и LB-52U, показав отличное отделение шлака хорошее формирование швов. Образцы, выполненные электродами марки LB-52 по радиографическим снимкам оказались бездефектными. Это говорит о том, что данные электроды лучше всего подойдут для условий производства магистральных трубопроводов при низких климатических температурах с использованием импульсного режима, чтоб избежать появлений холодных и горячих трещин, в связи с нарушением технологии сварки.

## Список использованных источников

- 1 Сварка при низких температурах /[Электронный ресурс] – Режим доступа к ст.:<http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-17/81.htm>
- 2 Строй-сервер.Сварка при низких температурах/[Электронный ресурс] – Режим доступа к ст : <http://stroy-server.ru/notes/svarka-pri-nizkikh-temperaturakh>
- 3 Ю. Г.Гаген, Н. А.Воробьев. Сварка магистральных трубопроводов. Москва: Недра, 1976. С. 151.
- 4 Сварочные электроды для сварки /[Электронный ресурс] – Режим доступа к ст.: <http://elektrod-3g.ru/elektrodyi-dlya-svarki-v-moroz.php>
- 5 Дом сварки. Электроды LB-52U /[Электронный ресурс] – Режим доступа к ст.: <http://domsvarki.ru/elektrody-lb-52u-kobe-steel-yaponiya/>
- 6Электрод. Журнал по сварке/[Электронный ресурс] – Режим доступа к ст.: <https://electrod.biz/informatsionnyie-stati/elektrod-lb-52u-kobelco.html>
- 7 Интернет-магазин сварочного оборудования и материалов "КИТ"./[Электронный ресурс] – Режим доступа к ст.: <http://www.matrixplus.ru/tehsvarka-005.htm>
- 8 Технологии сварки. Сварка при низких температурах./[Электронный ресурс] – Режим доступа к ст.: <http://www.svarkainfo.ru/rus/lib/tech/lowweld>
- 9 Т.Г. Шигаев. О терминологии сварки модулированным током // Сварочное производство.- 1980.- №7.- С.40. .
- 10 Д.А.Дудко, С.А. Зацерковный, В.С. Сидорук и др. Влияние параметров режима ручной дуговой сварки модулированным током на форму шва / Автоматическая сварка. – 1987. – №6. – С. 19-22.
- 11 Т.Г. Шигаев. Влияние параметров режима сварки модулированным током на геометрические размеры шва / Автоматическая сварка. – 1992. – №2. – С. 10-12.
- 12 А.Г.Потапьевский. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. М.: Машиностроение, 1974. – 240 с.
- 13 В.А.Ленивкин, Н.Г.Дюргеров, Х.Н.Сагиров. Технологические свойства

- сварочной дуги в защитных газах. М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.
- 14 А.М.Жерносеков. Влияние вылета электрода на параметры шва при импульсно-дуговой сварке сталей / Автоматическая сварка. – 2004. – №8. – С. 52-53.
  - 15 П.П.Шейко, А.М.Жерносеков, Ю.О.Шимановский. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом с автоматической стабилизацией параметров режимов / Автоматическая сварка. – 2004. – №1. – С. 8-11
  - 16 И.И. Заруба, В.К. Лебедев, П.Л. Шейко и др. А.с. 285139 СССР Способ электродуговой сварки // Оpub. в Б.И., 1970.-№33
  - 17 Патент 3345551 США
  - 18 Б.Е. Патон, А.Г. Потапьевский. А.с. 247430 СССР Способ импульснодуговой сварки // - Оpub. В Б.И., 1969-№22
  - 19 Д.А.Дудко, С.А. Зацерковный, В.С. Свдорук, Л.А.,Тараборкин, Н.М. Махлин.Автоматическая сварка. Влияние параметров модулированного тока на скорость плавления покрытых электродов /.-1986.- №5.- С.38-40.
  - 20 Техносфера. Повышение эффективности сварки./[Электронный ресурс] – Режим доступа к ст.: <http://tekhnosfera.com/povyshenie-effektivnosti-svarki-v-co2-nerovorotnyh-stykov-magistralnyh-truboprovodov-za-schet-primeneniya-impulsnogo-pita>
  - 21 Сварка. Сварка при низких температурах./[Электронный ресурс] – Режим доступа к ст.: <https://www.metalcutting.ru/content/svarka-pri-nizkih-temperaturah>
  - 22 СНиП II-23-81\* «Стальные конструкции»
  - 23 Трубпром. Комплексное снабжение/[Электронный ресурс] – Режим доступа к ст.: <http://www.trub-prom.com/trubyi-rossii>
  - 24 Региональная торговая компания./[Электронный ресурс] – Режим доступа к ст.: <http://xn--j1adlj.xn>
  - 25 СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности
  - 26 СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
  - 27 ГОСТ 12.1.035–81. ССБТ. Оборудование для дуговой и контактной



- электросварки. Допустимые уровни шума и методы измерений
- 28 ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
- 29 СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.
- 30 ГН 2.2.5.3532–18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
- 31 ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
- 32 Долин П.А. Основы техники безопасности в электрических установках. М.: Энергия, 1990. – с.336.
- 33 ГОСТ 12.4.011–89 ССБТ. Средства защиты от воздействия механических факторов.
- 34 ГОСТ 12.4.250-2013. ССБТ. Одежда специальная от искр и брызг расплавленного металла.
- 35 Методические указания по определению эколого-экономической эффективности технологических процессов и производств в дипломных работах. – Москва: 1985 – 98с.
- 36 Ансеров Ю.М., Дурнев В.Д. Машиностроение и охрана окружающей среды. - Ленинград: Машиностроение, 1989. - 224 с
- 37 ГОСТ 12.3.003-86 (ССБТ). Работы электросварочные.
- 38 Федеральный закон от 24 июля 1998 года № 125-ФЗ "Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний"
- 39 Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф.Козьяков. Высш.шк., 1999.-448 с.: ил.

Приложение А  
(справочное)

**Section (1)**  
**Review of literature**

Студент:

| Группа | ФИО                          | Подпись | Дата |
|--------|------------------------------|---------|------|
| 1BM71  | Богданов Артур Александрович |         |      |

Консультант – лингвист ОИЯ, ШБИП:

| Должность                    | ФИО           | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|------------------------------|---------------|---------------------------|---------|------|
| Старший<br>преподаватель ОИЯ | У.А. Смирнова |                           |         |      |

## Literary review

### 1 Features of welding pipelines operating at low temperatures (problems)

The main pipelines in the regions of the Far North, the tundra, swamps, the over moistened sites it is the most convenient to construct in the winter when the frost binds the soil and these areas become passable for transport and all welding and assembly equipment. The process of welding of the main pipelines in the conditions of Far North is difficult and has its features, in comparison with welding at positive ambient temperatures [1].

Today welding of the main pipelines is mainly performed by manual arc welding with covered electrodes.

To ensure a good welding process at low climatic temperatures, it is necessary to take into account the peculiarities of the formation of welding seams, which can adversely affect the structure, mechanical properties and continuity of welded joints. As the temperature decreases from +20 to - 50°C, the duration of the weld pool in the liquid state decreases by about 10 %, which affects the ascent of non-metallic inclusions from the weld pool [1].

In multilayer seams, the content of slag inclusions during welding at low temperatures can increase (in December - February) to 54 % of the total number of defects detected. In most cases, this is due to the more difficult removal of slag from the weld after each layer, especially in manual welding.

Also high speeds of cooling accompany the emergence in seams of hot cracks. It is connected with the fact that as a result of increasing in speed of cooling also the speed of elasto-plastic deformation increases in a zone of temperatures at which heated metal can be in a fragile state. Cracks can be formed under the influence of the shrinkable tension arising at the same time.

The welding process is significantly affected by wind. As the wind speed increases, the quality of the weld deteriorates, which leads to the appearance of a

large number of pores in the weld, this is due to a decrease in the protective effect of the gas phase of the arc when welding with an open arc [2].

When welding in winter conditions, many carbon and low alloy steels are able to transition into a brittle state, which creates the risk of structural failure during its manufacture or operation. The lower the ambient temperature of the air the higher the probability of brittle fracture of the metal. For the regions of the Far North, where the main pipelines and other structures are built, steel with a low threshold of cold resistance is used. Therefore, at production and installation of the pipeline percussive influences are forbidden, as well as cutting with scissors and punching holes are prohibited.

More than 50% of failures of the pipelines operated in the conditions of Far North are the share of defects in weld ring joints. However in other regions of Russia, about 50% of failures are the share of corrosion cracking [2].

In connection with the above, there is a need to improve existing technologies and recommendations for welding of pipelines operating at low climatic temperatures.

## 2 Welding materials for welding metal at low temperatures

According to norms it is established that for welding of the main pipelines special electrodes with a covering of the main UONI-13/45 type the E42A, UONI-13/55K type are used, the E46A type (low-carbon steels) and UONI-13/55, the E50A type; OZS-33, E50A type; TMU-21U, the E50A type, E60 type, E70 type (low-alloyed steels), the increased plasticity applied to welding in any situation and providing, impact strength and resistance of metal of a seam to formation of cracks at low temperatures (up to -40 °C) [3].

It is a great responsibility to perform welding work in cold weather, because welding in such conditions is complicated by very low temperatures and wind, which means that the equipment for welding and the welder himself are not working properly. However, there are such welding electrodes UONI-13/55, which are

universal for welding of metal structures at low climatic temperatures, as well as welding under normal conditions, in which there is no interference for welding.

UONI-13/55 electrodes can be used for welding, when the temperature reaches minus 40 degrees Celsius. Not many brands of welding electrodes are able to show this feature, such a high frost resistance [4].

The coating of welding electrodes UONI-13/55 is basic. Welding with UONI-13/55 electrodes is possible in all spatial positions. The only exception is the vertical position from top to bottom, in this position, welding with these electrodes is not recommended.

Electrodes LB 52U are designed for welding of pipes from steels of strength classes up to and inclusive K54 K55 K60 from to inclusive. Lb-52U electrodes are certified by NAKS (National welding Control Association) and recommended by VNIIST for use in construction and repair of trunk pipelines [5]. LB-52U is a welding electrode with the lowered hydrogen content that allows to improve characteristics of a weld joint considerably. It provides high impact strength and it is often used for welding of the pipeline, sea designs and constructions of type of tanks. It provides much better stabilization of an arch and pro-melting, than other low-hydrogen electrodes [5].

The covering of welding electrodes of LB-52U is the main. To perform welding works with these electrodes in all spatial provisions is possible.

The welding seam obtained by means of the lb-52U electrode acquires excellent mechanical characteristics, resistance to cracking, high impact strength at low temperatures (at -40 °C this parameter in Sharpe Tests reaches 100 j/cm<sup>2</sup>). The weld material is stronger than the base material [6].

The electrodes recommended for welding at low temperatures and conditions of Far North are provided in table 1. In winter, regardless of storage conditions, the electrodes with cellulose coating before welding are dried at a temperature of 80-100 °C for 1 h. The electrodes with the main coating VSFS-50, UONI-13/55 (table 2) are calcined at a temperature of 300-350 °C, and the electrodes VSF-65, VSF-85 (table 2) - at a temperature of 350-400 °C for 1 h [7].

Table A.1 - Electrodes recommended for welding at low temperatures

| Ambient temperature, °C          | Electrode type | Brand of an electrode |
|----------------------------------|----------------|-----------------------|
| <b>For carbon steel details</b>  |                |                       |
| От 0 до -20                      | Э46            | MP-3                  |
|                                  | Э46            | OZS-4                 |
|                                  | Э46            | ANO-4                 |
|                                  | Э42            | ANO-6                 |
| От 0 до -50                      | Э42А           | UONI -13/45           |
| <b>For low alloy steel parts</b> |                |                       |
| От 0 до -40                      | Э42А           | UONI -13/45           |
|                                  | Э50А           | UONI -13/55           |
| От -40 до -50                    | Э 42А          | UONI -13/45           |

Table A.2 – Electrodes used for welding of pipelines and tanks at low temperatures

| Brand            | Diameter, mm | Application                                                                        | Applicable design and minimum operating temperature |
|------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| VSC-4            | 4            | The first (root) layer of weld to steels with $\sigma_B$ до 550 MPa                | Underground pipeline. -40°C                         |
| VSC-4A           | 4            | The first layer of the weld for steels with $\sigma_B = 550-600$ MPa               | -//-                                                |
| VSC-T            | 4            | The first and second layers of weld for steels with $\sigma_B$ to 600 MPa          | -//-                                                |
| ANO-6            | 3;4          | The first and the following layers of a seam for steels with $\sigma_B$ to 500MPa  | -//-                                                |
| MP-3             | 4;5          | The first and the following layers of a seam for steels $\sigma_B$ to 480 MPa      | Land, underground, pipelines, tanks. 40°C           |
| VSFS-50          | 4            | The second layer of a seam for steels with $\sigma_B$ to 600 MPa                   | Underground, land pipelines, tanks. -60°C           |
| UONI -13/45      | 3;4          | The first and the following layers of a seam for steels with $\sigma_B$ to 500MPa  | Underground, land, elevated pipelines, tanks. -40°C |
| UONI -13/55      | 3;4;5        | The first and the following layers of a seam for steels with $\sigma_B$ to 550MPa  | -//-                                                |
| UONI -13/65      | 3;4;5        | The first and the following layers of a seam for steels with $\sigma_B$ to 650 MPa | Land, elevated tanks. -60°C                         |
| VSF-60<br>VSF-65 | 4;5          | The filling and facing layers of a seam for steels with $\sigma_B = 550-600$ MPa   | Underground, land pipelines. -60°C                  |
| VSF-75<br>VSF-85 | 4;5          | The filling and facing layers of a seam for steels with $\sigma_B$ to 700 MPa      | -//-                                                |

Electrodes with a basic coating at a negative temperature have satisfactory welding and technological properties, providing high ductility, toughness and resistance to cracking of welds [7].

### 3 Special methods and techniques for welding at low temperatures

The essence of the additional measures that must be carried out when welding in the cold, is as follows. It is desirable to use the base metal, specially designed for structures operating at low temperatures. Such a metal in the delivery state has increased resistance against transition to a brittle state and little changes its properties in the near-weld zone under the influence of the welding process [8]. Transport and store metal should be in conditions that exclude its deformation and damage to the surface.

When designing structures, it is necessary to avoid a sharp change in the cross section of the mating elements and the concentration of a large number of seams in one place. This can lead to a significant stress concentration and increase the probability of brittle fracture during the construction process at low temperatures. Particular attention should be paid to the availability of seams, the correct choice of welding modes and the type of edge preparation. Butt seams should be bilateral, as a rule. It is necessary to ensure full penetration of the edges at the one-sided butt joints.

Welding and installation works of the assembly of the pipeline in conditions of negative temperatures are performed in two ways:

- provide welding of pipes in section on pipe-welding bases with the subsequent connection of sections in "thread" on the route;
- conduct welding of individual pipes in the "thread" directly on the track.

The first way has a number of advantages as on the pipe-welding bases it is possible to provide a shoddy construction for the shelter of jobs of collectors and welders. Pipes before assembly are cleaned from snow, ice, etc. Joints of pipes are collected with application of internal centralizers. External centralizers are used only for assembly of overflowing, inserts or squares.

The pipeline from steel of high durability is welded at a temperature not below  $-15^{\circ}\text{C}$  at a thickness of steel up to 16 mm and not below  $0^{\circ}\text{C}$  at a thickness from 16 to 25 mm. At lower temperatures steel of the specified thickness, weld up to  $120 - 160^{\circ}\text{C}$  with preliminary heating. At a thickness of steel over than 25 mm the preliminary heating is carried out in all cases irrespective of ambient temperature. The warming-up device is often installed in the area of a joint and evenly heat the ends of pipes to temperature determined according to calculation at distance not less than 150 mm from end faces. Temperature is controlled by thermo pencils and thermo paints on various devices. After performance of heating weld the first layer of a seam [2].

When the temperature of the steel of all grades is below  $-5^{\circ}\text{C}$  welding is led from beginning to end without interruption, except for time necessary for change of an electrode and cleaning of a seam in the place of renewal of welding. It isn't allowed to stop welding before execution of a seam of the design size and to leave separate sections of a seam without welding. In case of forced termination of welding, it should be resumed after heating the steel in accordance with the technological process.

In pipelines operated in areas of low temperatures from  $-40$  to  $-65^{\circ}\text{C}$ , weld and base metal defects can only be corrected after heating the defect zone metal to  $100-120^{\circ}\text{C}$ . Defects are brewed after heating this zone to  $180-200^{\circ}\text{C}$  [2].

Impact loads at negative temperatures become extremely dangerous to metal of a seam and pipes. Therefore, beginning from unloading of pipes and further at all stages of assembly and welding works, it is necessary to avoid blows to pipes, tacks, sharp rolling welded lashes from roller support.

When using the tool for blowing, carry out local heating of metal to  $150-200^{\circ}\text{C}$ . Dents with a depth of more than 50 mm can no longer be corrected.

The first two layers are welded with electrodes 2 – 3 mm, the subsequent layers, are welded with electrodes of 4 mm. Be used for facing layers, electrodes 5 mm can. Welding is carried out at a constant current at a higher energy, which is



provided by an increase in the welding current by 10-20% compared with welding at positive temperatures [2].

Rotary and fixed joints of pipes with a level of edges of  $30^\circ$  at a wall thickness up to 6 mm are welded not less than in 2 layers and at a wall thickness more than 6 mm — not less than in 3 layers.

The individual layers of the seam are applied, so that closing sections of the joints do not coincide with each other. In two-layer welding, the first layer of the seam height should be 60-70% of the pipe wall thickness and provide a complete weld root and edges. In three-layer welding, the height of the first layer should be 40-50% of the wall thickness. The total height of the first and second layers should be 80-90% of the wall thickness of the pipes.

The third layer should fill the entire joint cutting and have a smooth transition from the main to the deposited metal [2].

4 The use of modulation of the welding current (what types are, what problems they solve, what positivity they give for the welding seam)

For the first time welding by the modulated current is carried out in IES of E.O. Patton in 1949 by A.A. Kazimirov with colleagues (a way of submerged arc welding method). Analysis of ways of welding by the modulated current (change of parameters of the mode on the set program), was based on the terminology offered by Shigayev T. G. [9].

All known and possible methods of welding with a change in the parameters of the regime according to a certain law are considered appropriate called welding modulated current (SMT).

Welding with modulated current. The influence of the parameters of the mode of manual arc welding by modulated current on the shape of the seam was considered in works [10, 11]. The required weld sizes can only be achieved by regulating the pause and pulse current at constant pause and pulse currents. In practice, this allows to reduce to a minimum the number of adjustments of the power source, to simplify

and speed up the process of configuring the welding mode and to simplify the technique of welding.

Pulsed arc welding is a type of SMT, which provides controlled transfer of electrode metal. Due to the periodic cooling of the bath, conditions are created that prevent deformation of the solidification front. The researchers considered these issues in their works: Potapjevsky A. G. [12], Lenivkin V. A., Dyurgerov N. G., Sagirov H. N. [13].

Welding is carried out at two energy levels – high (pulse) and low (pause). In the period of low energy level (pause) the current either absent (figure 1 a) or has a small value (figure 1B). The current pulses are usually rectangular or close to it (the rate of rise of the current  $dl/dx > 10 \text{ kA/s}$ ), the frequency of transfer of droplets corresponds to the frequency of the current pulses  $> 25 \text{ Hz}$ .

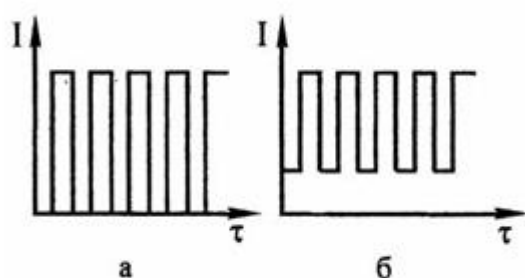


Figure A.1 – The nature of the current change in pulsed arc welding

The imposition of pulses can significantly increase the intensity and stability of the arc discharge; the hydrodynamic processes change in the weld pool and the conditions of its solidification are changed. A pulsed increase in pressure of the arc improves weld formation, the bead becomes small, and the observed the crushing of a microstructure connected with percussive influence of transferable drops. In the paper studied the influence of changes the overhang of the electrode on the geometric parameters of the seams at pulsed arc welding by the melting electrode.

It is found that the use of automatic stabilization of the mean arc voltage values with the influence on the parameters of the source pulses does not allow compensating for changes in the width of the seam. The system of automatic

stabilization of mean values of arc voltage and welding current, respectively, with the impact on the parameters of the pulse source and the feed speed of the electrode wire eliminates the reduction in the width of the seam caused by the increase in the electrode. The paper [15] presents a system of automatic stabilization of pulsed arc welding process by a melting electrode, the use of which avoids the appearance of defects such as pores, non-fusion, irregularities in the formation of seams, ensures the stability of the penetration depth, and improves the quality of the formation of seams with stable geometric parameters.

Pulsed arc welding is a type of QMS, which improves the mechanical properties of the welded joint by thermocyclic effects on the weld pool and the heat-affected zone. The parameters of the welding mode - the rise time of the TC and the fall of the TC current are commensurate with the time of the pulse  $T_i$  and pause  $T_P$ . Current change rate  $dl/dx < 10 \text{ kA/c}$ , pulse repetition rate  $< 25 \text{ Hz}$ . Depending on the method of modulating the welding current and the type of power source used, the cyclogram of the pulsed arc welding process may look like (figure 2).

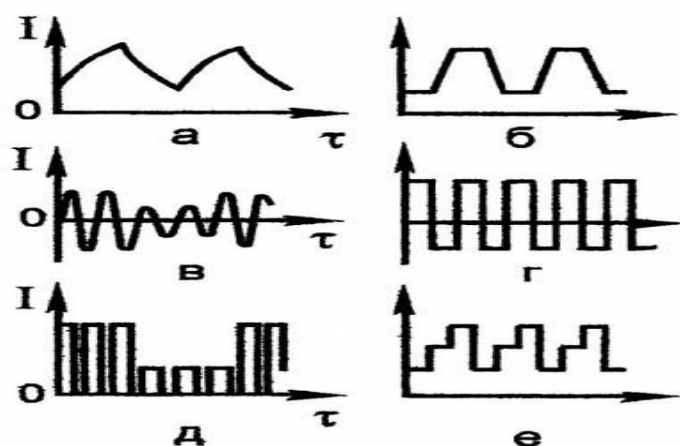


Figure A.2 – Cyclograms of processes of welding by the pulsing arch.

Small speed of change of current and low frequency of following of impulses (figure 2 and, б) demands synchronous change of feed rate of a welding wire for maintaining stability of process [16]. Modulation of welding current is carried out also by change of supply voltage of the engine of giving of a wire [17]. At

modulation of alternating welding current there is a periodic change of its amplitude (figure 2, c).

In work [17] it is offered to modulate welding current under the law submitted in figure 2 (d) (so-called welding by packs of impulses). Frequency of following of impulses of current of 5000...50000 Hz, frequency of change of amplitudes of impulses of 50...500 Hz. This method allows reaching "resonant" fluctuations of the melted bathtub of metal. The structure of the weld metal in this case is characterized by densely packed columnar crystallites, increases the strength of the seam. The cm process shown in figure 2(e) is used in cases where it is necessary to reduce the rate of rise of the pulse current. The role of the second (intermediate) pulse is twofold: it can be heating or preparing the next drop of metal in the bath (in arc welding with a melting electrode) [18].

Welding of steel with a thickness of 14 mm with V-shaped cutting (opening angle 60 or 40°) semi-automatic PDG-302 and PSG-500 power source was performed. For comparison, continuous hot and pulsating arc welding was performed at the same average wire feed rate of 11.9 cm/s with 0.1 mm wire. During welding in the normal mode, the current was 130...150 A, and in the pulsating varied from 50...70 to 200...220 A; arc voltage in the first case was 20...22 V, and in the second during the cycle of pulsation it increased from 16 to 26 V. In both cases, the seams were welded in a vertical position from the bottom up with transverse vibrations of the electrode. Arc ripple cycle time  $TC = 1.44$  s ( $T_n = 0.7$  s,  $T_r = 0.74$  s). When welding in pulsating mode, the productivity increases by 1.5 compared to the normal mode 1.8 times in a good formation of weld appearance. This is possible because the pulsing arc has a higher concentration factor than a normal arc and provides a better weld with a lower cutting angle.

The study of the influence of the parameters of the alternating modulated current welding mode on the melting rate of the coated electrodes is devoted to the work [19]. The steel Ct3sp with a thickness of 10 mm was welded the electrodes ANO-21 which have diameter 3 mm. The nature of fusion of an electrode is investigated depending on the welding mode parameters with application of a method

of planning of an experiment. Current impulse  $OI$  was changed within 120...200 A, pause current  $O_p$  - in the range 40... 120 A, pulse duration  $t_i$  and pause  $t_p$  – in the range of 0.02...0.4PP.C. Studies have found that when welding with a modulated current, the melting rate of the electrode increases by about 20 % compared to welding with a stationary arc, mainly due to an increase in the pulse current. The obtained results optimize the process of manual arc welding with alternating modulated current and developed of welding modes of butt joints up to 10 mm thick. Thus, the existing methods of welding of thick metal - electro slag, electron beam, in the environment of protective gases or under flux at all their capabilities have significant limitations and disadvantages.

Application of the method of adaptive pulse-arc welding allows receiving welds of steels with low carbon of 09G2S, 10G2S, 17G1SU with more uniform structure and in 1.5 – 2.5% times to reduce the size of the weld metal grains and heat-affected zone, as well as improve of the uniformity of distribution of the main alloying elements in the weld metal and reducing their waste [20].

#### 5 Metal used for piping at low temperatures

For ensuring working capacity the performance of welded joints at low temperatures, at the design and manufacture of welded building structures should be selected the steel having a sufficiently low temperature range of brittleness and little changes in their properties in the near-weld zone under the influence of the welding process.

This rule of selection of steel for the manufacture of structures operating in different climatic regions of our country is provided in [22].

The requirements to metals applied in the conditions of Far North:

- metal must withstand strong wind loads;
- to withstand to pressure of the snow weight;
- withstand pressure even at low temperatures: -40, -60 degrees;
- pipes for the far North should withstand the effects of dynamic loads that can be caused by a sharp violation of the technological process.

Seamless hot-formed pipe is well suited for work in low climatic temperatures. Grades of steel 09G2S, 12H18N10T, 13HFA, 17G1s are perfect for these conditions. It doesn't follow to apply pipes of general purpose in places where in winter time temperature reaches -40 degrees since standard types of pipes are not capable to maintain strong overloads and frosts [23].

Wide circulation and popularity of steel 09G2S is explained by the fact that its high mechanical properties allow saving at production of building constructions. It should be noted that it has high resistance to ulcerous corrosion, sulphite corrosion cracking and emergence of hydrogen cracks. Moreover, such designs have smaller weight. Elements and details of welded metal designs which can work at temperatures from -70 °C to 450 °C are made of it. The 09G2S sheet is used for the production of sheet structures in the oil and chemical industry, shipbuilding and mechanical engineering. A resistance to low temperatures allows the use of 09G2S pipe in the Far North for the construction of oil and gas pipelines.

Pipe 12X18H10T has excellent high corrosion resistance and cold resistance. It has excellent waterproofing properties and it is not afraid of very low temperature. It is used in oil and gas pipelines, gas transportation, as well as in reservoir pressure maintenance systems [23].

Steel 17G1C is used for the manufacture of welded metal structures and parts working under pressure at temperatures from -40°C to +475°C. It is also necessary for parts and components of steam and hot water pipelines of nuclear power plants (as), with a design temperature of the medium not higher than 350°C at an operating pressure of less than 2.2 MPa (22 kgf/cm<sup>2</sup>), welded transitions, flanges, welded tees and other shaped parts of pipelines with an operating temperature of -40°C to +350°C. The construction of gas pipelines, oil pipelines and oil product pipelines, thermal power plants and heat networks, straight-seam electric-welded expanded pipes intended for construction of high-pressure pipelines are applied with this steel.

Приложение Б  
(справочное)

Таблица Б.1 – Режимы сварки образцов ручной дуговой постоянным током и импульсно-дуговой сваркой

| Номер образца | Номер слоя            | Параметры режима сварки  |                        |                                                                         | Марка электродов |
|---------------|-----------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------|
|               |                       | Длительность сварки, час | Скорость сварки, м/час | Ток / напряжение по осциллограмме                                       |                  |
| 1-1           | Корневой слой шва     | 0,06                     | 5                      | $I_{д\text{ ср}} = 80,5\text{A};$<br>$U_{д\text{ ср}} = 20,96\text{В}.$ | УОНИ-13/мороз    |
|               | Заполняющий слой шва  | 0,051                    | 5,9                    | $I_{д\text{ ср}} = 147,5\text{ A};$<br>$U_{д\text{ ср}} = 23\text{В}.$  |                  |
|               | Облицовочный слой шва | 0,052                    | 5,8                    | $I_{д\text{ ср}} = 153\text{ A};$<br>$U_{д\text{ ср}} = 22,8\text{В}.$  |                  |
| 1-2           | Корневой слой шва     | 0,07                     | 4,28                   | $I_{д\text{ ср}} = 83,4\text{ A};$<br>$U_{д\text{ ср}} = 20,6\text{В}.$ |                  |
|               | Заполняющий слой шва  | 0,05                     | 6                      | $I_{д\text{ ср}} = 147\text{ A};$<br>$U_{д\text{ ср}} = 24,3\text{В}.$  |                  |
|               | Облицовочный слой шва | 0,051                    | 5,9                    | $I_{д\text{ ср}} = 157\text{ A};$<br>$U_{д\text{ ср}} = 23,4\text{В}.$  |                  |
| 1-3           | Корневой слой шва     | 0,067                    | 4,48                   | $I_{и/п} = 112 / 30\text{ A};$<br>$t_{и/п} = 0,32 / 0,34\text{ с}.$     |                  |
|               | Заполняющий слой шва  | 0,059                    | 5,08                   | $I_{и/п} = 160 / 34\text{ A};$<br>$t_{и/п} = 0,32 / 0,34\text{ с}.$     |                  |
|               | Облицовочный слой шва | 0,057                    | 5,26                   | $I_{и/п} = 160 / 36\text{ A};$<br>$t_{и/п} = 0,32 / 0,34\text{ с}.$     |                  |
| 1-4           | Корневой слой шва     | 0,074                    | 4,05                   | $I_{и/п} = 107 / 29,6\text{ A};$<br>$t_{и/п} = 0,32 / 0,34\text{ с}.$   |                  |
|               | Заполняющий слой шва  | 0,068                    | 4,41                   | $I_{и/п} = 164 / 32\text{ A};$<br>$t_{и/п} = 0,32 / 0,34\text{ с}.$     |                  |
|               | Облицовочный слой шва | 0,057                    | 5,26                   | $I_{и/п} = 200 / 34\text{ A};$<br>$t_{и/п} = 0,32 / 0,34\text{ с}.$     |                  |
| 2-1           | Корневой слой шва     | 0,055                    | 5,45                   | $I_{д\text{ ср}} = 83,5\text{A};$<br>$U_{д\text{ ср}} = 21,34\text{В}.$ | ХОБЭКС           |
|               | Заполняющий слой шва  | 0,053                    | 5,66                   | $I_{д\text{ ср}} = 150\text{ A};$<br>$U_{д\text{ ср}} = 22,7\text{В}.$  |                  |
|               | Облицовочный слой шва | 0,0565                   | 5,3                    | $I_{д\text{ ср}} = 155,6\text{ A};$<br>$U_{д\text{ ср}} = 23\text{В}.$  |                  |

| Номер образца | Номер слоя            | Параметры режима сварки  |                        |                                                                          | Марка электродов |
|---------------|-----------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------|
|               |                       | Длительность сварки, час | Скорость сварки, м/час | Ток / напряжение по осциллограмме                                        |                  |
| 2-2           | Корневой слой шва     | 0,057                    | 5,26                   | $I_{д\text{ ср}} = 83,5\text{A};$<br>$U_{д\text{ ср}} = 20,7\text{В}.$   | ХОБЭКС           |
|               | Заполняющий слой шва  | 0,059                    | 5,08                   | $I_{д\text{ ср}} = 156\text{ A};$<br>$U_{д\text{ ср}} = 22,5\text{В}.$   |                  |
|               | Облицовочный слой шва | 0,067                    | 4,48                   | $I_{д\text{ ср}} = 162\text{ A};$<br>$U_{д\text{ ср}} = 21,8\text{В}.$   |                  |
| 2-3           | Корневой слой шва     | 0,067                    | 4,47                   | $I_{и/п} = 105 / 29\text{ A};$<br>$t_{и/п} = 0,32 / 0,34\text{ с}.$      |                  |
|               | Заполняющий слой шва  | 0,073                    | 4,1                    | $I_{и/п} = 178 / 34\text{ A};$<br>$t_{и/п} = 0,32 / 0,34\text{ с}.$      |                  |
|               | Облицовочный слой шва | 0,073                    | 4,1                    | $I_{и/п} = 194 / 34\text{ A};$<br>$t_{и/п} = 0,32 / 0,34\text{ с}.$      |                  |
| 2-4           | Корневой слой шва     | 0,067                    | 4,48                   | $I_{и/п} = 105 / 29\text{ A};$<br>$t_{и/п} = 0,32 / 0,34\text{ с}.$      |                  |
|               | Заполняющий слой шва  | 0,068                    | 4,41                   | $I_{и/п} = 178 / 34\text{ A};$<br>$t_{и/п} = 0,32 / 0,34\text{ с}.$      |                  |
|               | Облицовочный слой шва | 0,058                    | 5,17                   | $I_{и/п} = 190 / 34\text{ A};$<br>$t_{и/п} = 0,32 / 0,34\text{ с}.$      |                  |
| 3-1           | Корневой слой шва     | 0,055                    | 5,49                   | $I_{д\text{ ср}} = 83,1\text{ A};$<br>$U_{д\text{ ср}} = 19,6\text{В}.$  | LB-52KRU         |
|               | Заполняющий слой шва  | 0,052                    | 5,81                   | $I_{д\text{ ср}} = 157,5\text{ A};$<br>$U_{д\text{ ср}} = 21,1\text{В}.$ |                  |
|               | Облицовочный слой шва | 0,04                     | 7,44                   | $I_{д\text{ ср}} = 194,8\text{ A};$<br>$U_{д\text{ ср}} = 22\text{В}.$   |                  |
| 3-2           | Корневой слой шва     | 0,054                    | 5,57                   | $I_{д\text{ ср}} = 87\text{ A};$<br>$U_{д\text{ ср}} = 19,4\text{ В}.$   |                  |
|               | Заполняющий слой шва  | 0,051                    | 5,90                   | $I_{д\text{ ср}} = 168\text{ A};$<br>$U_{д\text{ ср}} = 21,2\text{ В}.$  |                  |
|               | Облицовочный слой шва | 0,052                    | 5,77                   | $I_{д\text{ ср}} = 194\text{ A};$<br>$U_{д\text{ ср}} = 21,1\text{В}.$   |                  |
| 3-3           | Корневой слой шва     | 0,059                    | 5,08                   | $I_{и/п} = 105 / 29\text{ A};$<br>$t_{и/п} = 0,32 / 0,34\text{ с}.$      |                  |
|               | Заполняющий слой шва  | 0,059                    | 5,07                   | $I_{и/п} = 208 / 36\text{ A};$<br>$t_{и/п} = 0,32 / 0,34\text{ с}.$      |                  |



| Номер образца | Номер слоя            | Параметры режима сварки  |                        |                                                                               | Марка электродов    |
|---------------|-----------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
|               |                       | Длительность сварки, час | Скорость сварки, м/час | Ток / напряжение по осциллограмме                                             |                     |
| 3-4           | Корневой слой шва     | 0,071                    | 4,24                   | $I_{н/п} = 105 / 29 \text{ A};$<br>$t_{н/п} = 0,32 / 0,34 \text{ с.}$         | ХОБЭКС              |
|               | Заполняющий слой шва  | 0,054                    | 5,52                   | $I_{н/п} = 208 / 36 \text{ A};$<br>$t_{н/п} = 0,32 / 0,34 \text{ с.}$         |                     |
|               | Облицовочный слой шва | 0,068                    | 4,44                   | $I_{н/п} = 218 / 36 \text{ A};$<br>$t_{н/п} = 0,32 / 0,34 \text{ с.}$         |                     |
| 4-1           | Корневой слой шва     | 0,055                    | 5,42                   | $I_{д \text{ ср}} = 96,2 \text{ A};$<br>$U_{д \text{ ср}} = 21,0 \text{ В.}$  | LB-52МК             |
|               | Заполняющий слой шва  | 0,052                    | 5,83                   | $I_{д \text{ ср}} = 158 \text{ A};$<br>$U_{д \text{ ср}} = 20,9 \text{ В.}$   |                     |
|               | Облицовочный слой шва | 0,056                    | 5,33                   | $I_{д \text{ ср}} = 166 \text{ A};$<br>$U_{д \text{ ср}} = 22,1 \text{ В.}$   |                     |
| 4-2           | Корневой слой шва     | 0,057                    | 5,29                   | $I_{д \text{ ср}} = 96,3 \text{ A};$<br>$U_{д \text{ ср}} = 20,2 \text{ В.}$  |                     |
|               | Заполняющий слой шва  | 0,052                    | 5,79                   | $I_{д \text{ ср}} = 158,8 \text{ A};$<br>$U_{д \text{ ср}} = 21,3 \text{ В.}$ |                     |
|               | Облицовочный слой шва | 0,056                    | 5,36                   | $I_{д \text{ ср}} = 162,7 \text{ A};$<br>$U_{д \text{ ср}} = 21,5 \text{ В.}$ |                     |
| 4-3           | Корневой слой шва     | 0,060                    | 5,01                   | $I_{н/п} = 109,6 / 30 \text{ A};$<br>$t_{н/п} = 0,32 / 0,34 \text{ с.}$       |                     |
|               | Заполняющий слой шва  | 0,067                    | 4,46                   | $I_{н/п} = 186 / 36 \text{ A};$<br>$t_{н/п} = 0,32 / 0,34 \text{ с.}$         |                     |
|               | Облицовочный слой шва | 0,070                    | 4,29                   | $I_{н/п} = 190 / 36 \text{ A};$<br>$t_{н/п} = 0,32 / 0,34 \text{ с.}$         |                     |
| 4-4           | Корневой слой шва     | 0,059                    | 5,07                   | $I_{н/п} = 110 / 30 \text{ A};$<br>$t_{н/п} = 0,32 / 0,34 \text{ с.}$         |                     |
|               | Заполняющий слой шва  | 0,068                    | 4,39                   | $I_{н/п} = 186 / 36 \text{ A};$<br>$t_{н/п} = 0,32 / 0,34 \text{ с.}$         |                     |
|               | Облицовочный слой шва | 0,074                    | 4,04                   | $I_{н/п} = 190 / 36 \text{ A};$<br>$t_{н/п} = 0,32 / 0,34 \text{ с.}$         |                     |
| 5-1           | Корневой слой шва     | 0,050                    | 5,98                   | $I_{д \text{ ср}} = 112 \text{ A};$<br>$U_{д \text{ ср}} = 20,5 \text{ В.}$   | Герон<br>УОНИ-13/55 |
|               | Заполняющий слой шва  | 0,053                    | 5,70                   | $I_{д \text{ ср}} = 175 \text{ A};$<br>$U_{д \text{ ср}} = 20,9 \text{ В.}$   |                     |
|               | Облицовочный слой шва | 0,054                    | 5,59                   | $I_{д \text{ ср}} = 176 \text{ A};$<br>$U_{д \text{ ср}} = 22,5 \text{ В.}$   |                     |

| Номер образца | Номер слоя            | Параметры режима сварки  |                        |                                                                           | Марка электродов |
|---------------|-----------------------|--------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------|
|               |                       | Длительность сварки, час | Скорость сварки, м/час | Ток / напряжение по осциллограмме                                         |                  |
| 5-2           | Корневой слой шва     | 0,050                    | 6,00                   | $I_{д\text{ ср}} = 108 \text{ A};$<br>$U_{д\text{ ср}} = 19,3 \text{ В.}$ | Герон УОНИ-13/55 |
|               | Заполняющий слой шва  | 0,040                    | 7,50                   | $I_{д\text{ ср}} = 169 \text{ A};$<br>$U_{д\text{ ср}} = 21,2 \text{ В.}$ |                  |
|               | Облицовочный слой шва | 0,042                    | 7,11                   | $I_{д\text{ ср}} = 180 \text{ A};$<br>$U_{д\text{ ср}} = 21,3 \text{ В.}$ |                  |
| 5-3           | Корневой слой шва     | 0,056                    | 5,33                   | $I_{и/п} = 113 / 32 \text{ A};$<br>$t_{и/п} = 0,32 / 0,34 \text{ с.}$     |                  |
|               | Заполняющий слой шва  | 0,055                    | 5,44                   | $I_{и/п} = 198 / 38 \text{ A};$<br>$t_{и/п} = 0,32 / 0,34 \text{ с.}$     |                  |
|               | Облицовочный слой шва | 0,059                    | 5,06                   | $I_{и/п} = 210 / 38 \text{ A};$<br>$t_{и/п} = 0,32 / 0,34 \text{ с.}$     |                  |
| 5-4           | Корневой слой шва     | 0,051                    | 5,90                   | $I_{и/п} = 120 / 33 \text{ A};$<br>$t_{и/п} = 0,32 / 0,34 \text{ с.}$     |                  |
|               | Заполняющий слой шва  | 0,055                    | 5,47                   | $I_{и/п} = 198 / 38 \text{ A};$<br>$t_{и/п} = 0,32 / 0,34 \text{ с.}$     |                  |
|               | Облицовочный слой шва | 0,068                    | 4,39                   | $I_{и/п} = 210 / 38 \text{ A};$<br>$t_{и/п} = 0,32 / 0,34 \text{ с.}$     |                  |
| 6-1           | Корневой слой шва     | 0,039                    | 7,66                   | $I_{д\text{ ср}} = 93 \text{ A};$<br>$U_{д\text{ ср}} = 23,4 \text{ В.}$  | LB-52U           |
|               | Заполняющий слой шва  | 0,054                    | 5,59                   | $I_{д\text{ ср}} = 163 \text{ A};$<br>$U_{д\text{ ср}} = 22,5 \text{ В.}$ |                  |
|               | Облицовочный слой шва | 0,042                    | 7,14                   | $I_{д\text{ ср}} = 180 \text{ A};$<br>$U_{д\text{ ср}} = 21,9 \text{ В.}$ |                  |
| 6-2           | Корневой слой шва     | 0,042                    | 7,20                   | $I_{д\text{ ср}} = 96 \text{ A};$<br>$U_{д\text{ ср}} = 22,9 \text{ В.}$  |                  |
|               | Заполняющий слой шва  | 0,051                    | 5,92                   | $I_{д\text{ ср}} = 161 \text{ A};$<br>$U_{д\text{ ср}} = 22,3 \text{ В.}$ |                  |
|               | Облицовочный слой шва | 0,038                    | 7,86                   | $I_{д\text{ ср}} = 176 \text{ A};$<br>$U_{д\text{ ср}} = 22,7 \text{ В.}$ |                  |