

Школа **неразрушающего контроля и безопасности**  
 Направление подготовки **15.03.01 Машиностроение**  
 Отделение **электронной инженерии**

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

| Тема работы                                                         |
|---------------------------------------------------------------------|
| <b>Разработка аддитивного процесса наплавки в импульсном режиме</b> |

УДК 621.791.92.014.33.03-04

Студент

| Группа | ФИО                              | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------------|---------|------|
| 1B51   | Болтрушевич Александр Евгеньевич |         |      |

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО           | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент    | Князьков А.Ф. | к.т.н., доцент            |         |      |

Консультант

| Должность | ФИО | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----|---------------------------|---------|------|
|           |     |                           |         |      |

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО              | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент    | Подопригора И.В. | к.э.н., доцент            |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО        | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------|---------------------------|---------|------|
| Профессор | Панин В.Ф. | д.т.н.,<br>профессор      |         |      |

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель ООП | ФИО          | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|------------------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОЭИ       | А.А. Першина | к.т.н.                    |         |      |

## Планируемые результаты обучения по программе

| Код<br>результата                   | Результат обучения<br>(выпускник должен быть готов)                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Профессиональные компетенции</i> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| P1                                  | Применять базовые и специальные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в комплексной инженерной деятельности при разработке, производстве, исследовании, эксплуатации, обслуживании и ремонте современной высокоэффективной электронной техники                                                        |
| P2                                  | Ставить и решать задачи комплексного инженерного анализа и синтеза с использованием базовых и специальных знаний, современных аналитических методов и моделей                                                                                                                                                                                         |
| P3                                  | Выбирать и использовать на основе базовых и специальных знаний необходимое оборудование, инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и иных ограничений                                                                                                   |
| P4                                  | Выполнять комплексные инженерные проекты по разработке высокоэффективной электронной техники различного назначения с применением базовых и специальных знаний, современных методов проектирования для достижения оптимальных результатов, соответствующих техническому заданию с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений |
| P5                                  | Проводить комплексные инженерные исследования, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных с применением базовых и специальных знаний и современных методов для достижения требуемых результатов                                                                                                                 |
| P6                                  | Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование в предметной сфере электронного приборостроения, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды                                                                 |
| <i>Универсальные компетенции</i>    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| P7                                  | Использовать базовые и специальные знания в области проектного менеджмента для ведения комплексной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности                                                                                                                                                        |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| P8  | Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности                                                             |
| P9  | Эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, проявлять навыки руководства группой исполнителей, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, с делением ответственности и полномочий при решении комплексных инженерных задач |
| P10 | Демонстрировать личную ответственность, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения комплексной инженерной деятельности                                                                                                         |
| P11 | Демонстрировать знание правовых социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, компетентность в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности                                                                   |
| P12 | Проявлять способность к самообучению и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности                                                                                                                                     |

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 15.03.01 Машиностроение  
 Отделение электронной инженерии

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ А.А. Першина  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

| Группа | ФИО                                |
|--------|------------------------------------|
| 1В51   | Болтрушевич Александру Евгеньевичу |

Тема работы:

| Разработка процесса аддитивной наплавки в импульсном режиме |                      |
|-------------------------------------------------------------|----------------------|
| Утверждена приказом директора (дата, номер)                 | 13.05.2019, № 3648/с |

|                                          |            |
|------------------------------------------|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 07.06.2019 |
|------------------------------------------|------------|

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p> | <p><b>Процесс сварки неплавящимся электродом<br/>в аргоне</b></p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><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></p> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Введение</li> <li>2. Анализ тепловложения в область анода, при изменении силы тока и влияние катодной струи</li> <li>3. Разработка способа наплавки неплавящимся электродом, горящим в импульсном режиме, режима импульсной модуляции и оборудования, обеспечивающего его реализацию</li> <li>4. Разработка устройства для автоматического регулирования дуги</li> <li>5. Экспериментальная часть</li> <li>6. Финансовый менеджмент, ресурсо-эффективность и ресурсосбережение</li> <li>7. Социальная ответственность</li> <li>8. Заключение</li> </ol> |
| <p><b>Перечень графического материала</b><br/> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Название темы, цель, задачи</li> <li>2. Способы изменения тепловложения</li> <li>3. Устройство автоматического регулирования дуги</li> <li>4. Система питания дуги</li> <li>5. Сегментированная модель</li> <li>6. Экспериментальная часть</li> <li>7. Менеджмент и социальная ответственность</li> <li>8. Выводы по работе</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                  |
| <p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b><br/> <i>(с указанием разделов)</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <p><b>Раздел</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p><b>Консультант</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <p><b>1-3</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <p>Князьков А.Ф.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <p><b>4</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <p>Подопригора И.В.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <p><b>5</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <p>Панин В.Ф.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <p>-</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

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

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

| Должность | ФИО                         | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент    | Князьков Анатолий Федорович | к.т.н., доцент         |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                              | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------------|---------|------|
| 1В51   | Болтрушевич Александр Евгеньевич |         |      |

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 **15.03.01 Машиностроение**

Уровень образования **бакалавриат**

Отделение **электронной инженерии**

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

Форма представления работы:

|                            |
|----------------------------|
| <b>бакалаврская работа</b> |
|----------------------------|

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

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

|                                          |            |
|------------------------------------------|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 07.06.2019 |
|------------------------------------------|------------|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)               | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 22.04.2019 г. | Введение                                                            | 5                                  |
| 29.04.2019 г. | Анализ анодной части дуги и влияния катодной струи на тепловложение | 15                                 |
| 07.05.2019 г. | Разработка способа автоматического регулирования дуги               | 15                                 |
| 10.05.2019 г. | Разработка способа аддитивной наплавки и выбора параметров сварки   | 15                                 |
| 20.05.2019 г. | Экспериментальная часть                                             | 25                                 |
| 24.05.2019 г. | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение     | 10                                 |
| 29.05.2019 г. | Социальная ответственность                                          | 10                                 |
| 30.05.2019 г. | Заключение                                                          | 5                                  |

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

| Должность | ФИО                         | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент    | Князьков Анатолий Федорович | к.т.н., доцент         |         |      |

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

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

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 85 с., 16 рис., 19 табл., 13 источников.

Ключевые слова: аддитивная наплавка, импульсное питание, сварочная ванна, послойное выращивание, аргонодуговая сварка, сильноточная дуга.

Объектом исследования является: процесс сварки неплавящимся электродом в аргоне.

Предмет исследования – разработка процесса аддитивной наплавки изделия неплавящимся электродом с присадкой.

Цель работы – разработка процесса аддитивной наплавки в импульсном режиме.

В процессе исследования проводились анализ тепловложения в область анода в процессе сварки, способов сварки неплавящимся электродом с применением импульсного питания сварочной дуги и влияния катодной струи на структуру анода.

В результате исследования разработан способ сварки дугой, горячей в импульсном режиме, режим импульсной модуляции и оборудование, обеспечивающее его реализацию, разработано устройство для автоматического регулирования дуги.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: простое в изготовлении и эксплуатации оборудование, имеющий высокую надежность и широкий диапазон регулирования сварочных параметров, обеспечивающее в автоматическом режиме непрерывное послойное формирование изделия.

Область применения: данный способ сварки может применяться в разных отраслях: нефтяной, газовой промышленности и кораблестроении.

В будущем планируется минимизировать конструкцию сварочного аппарата, а также запатентовать данный способ сварки.

## Определения, сокращения и нормативные ссылки

В настоящей работе применены следующие термины с соответствующими определениями.

Аддитивная наплавка – специализированный способ наплавки, при котором наплавленный слой является формообразующим, а последующие слои наплавляются непосредственно на нижележащий.

Сварочная ванна – слой расплавленного металла на поверхности свариваемых изделий, образующихся в процессе сварки.

Импульсное питание – подача импульсов с высокой величиной тока и частотой.

Области анодного и катодного падения – области в которых имеет место увеличение напряженности поля.

В данной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. СН 2.2.4/2.1.8.562–96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы»
2. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства и методы защиты от шума. Классификация»
3. ГОСТ 12.1.012–2004 ССБТ «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования»
4. ГОСТ 12.1.045–84 ССБТ «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля»
5. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий" (с изменениями на 15 марта 2010 года)»
6. СанПиН 2.2.4.548–96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»

7. СН 2.2.4/2.1.8.566–96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы»
8. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*»
9. СанПиН 2.2.2.540-96 «Гигиенические требования к ручным инструментам и организации работ»
10. ГОСТ 12.1.005–88 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1)»
11. ГОСТ 12.1.035–81 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование для дуговой и контактной электросварки. Допустимые уровни шума и методы измерений»
12. СНиП 23-05-2010 «Естественное и искусственное освещение (с Изменением N 1)»
13. ГОСТ Р 12.1.019-2009 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»
14. Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110 (с изменениями от 24.12. 2014)
15. Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681
16. ГОСТ 12.3.003-86 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Работы электросварочные. Требования безопасности (с Изменением N 1)»

В настоящей работе использованы следующие сокращения:

- $G_v$  – масса сварочной ванны;
- $I_d$  – ток дуги;
- $U_d$  – напряжение на дуге;
- $I_{св}$  – сварочный ток;
- $I_i$  – ток импульса;
- $I_{п}$  – ток паузы;
- $T_i$  – период следования тепловых импульсов за счет тока;

- $t_n$  – полная длительность импульса;
- $t_c$  – время паузы;
- $H$  – глубина сварочной ванны;
- $B$  – ширина сварочной ванны;
- $L$  – длина сварочной ванны;
- $V$  – объем сварочной ванны;
- $V_{св}$  – скорость сварки.

## Оглавление

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| Введение.....                                                        | 14 |
| Глава 1 Обзор литературы.....                                        | 16 |
| 1.1 Методы аддитивного .....                                         | 16 |
| 1.2 Технологии для выращивания металлических изделий.....            | 20 |
| 1.2.1 Группа bed deposition .....                                    | 20 |
| 1.2.2 Группа direct deposition.....                                  | 21 |
| 1.3 Металлические материалы в аддитивных технологиях .....           | 22 |
| 1.4 Использование дуги в качестве источника теплоты .....            | 24 |
| Выводы по главе 1 .....                                              | 26 |
| Глава 2 Объект и методы исследования .....                           | 27 |
| 2.1 Характеристика процесса .....                                    | 27 |
| 2.2 Требования процесса .....                                        | 31 |
| 2.3 Выбор параметров режима.....                                     | 32 |
| 2.3.1 Характеристика системы источник питания – дуга .....           | 33 |
| 2.4 Разработка способа наплавки диска на подложку в виде трубы.....  | 35 |
| Выводы по главе 2 .....                                              | 38 |
| Глава 3 Экспериментальная установка .....                            | 39 |
| 3.1 Описание сварочной головки.....                                  | 39 |
| 3.2 Описание системы автоматики БАРС-2В.....                         | 41 |
| 3.3 Эксперимент и его результаты .....                               | 41 |
| Выводы по главе 3 .....                                              | 45 |
| 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... | 47 |
| 4.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....         | 47 |
| 4.2 Анализ конкурентных технических решений .....                    | 48 |

|                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.3 SWOT – анализ .....                                                                                                            | 49 |
| 4.4 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований .....                                                        | 51 |
| 4.5 Планирование научно-исследовательских работ.....                                                                               | 52 |
| 4.5.1 Структура работ в рамках научного исследования .....                                                                         | 52 |
| 4.5.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....                                                                              | 53 |
| 4.5.3 Разработка графика проведения научного исследования .....                                                                    | 54 |
| 4.5.4 Расчет материальных затрат НТИ .....                                                                                         | 57 |
| 4.5.5 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы.....                                                            | 58 |
| 4.5.6 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....                                                                | 60 |
| 4.5.7 Накладные расходы.....                                                                                                       | 60 |
| 4.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования ..... | 61 |
| ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА .....                                                                                                          | 67 |
| 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....                                                                                                 | 68 |
| 5.1 Введение.....                                                                                                                  | 68 |
| 5.2 Производственная безопасность.....                                                                                             | 69 |
| 5.2.1 Отклонение показателей микроклимата.....                                                                                     | 70 |
| 5.2.2 Уровень шума на рабочем месте .....                                                                                          | 71 |
| 5.2.3 Освещенность рабочей зоны.....                                                                                               | 72 |
| 5.2.4 Электрический ток .....                                                                                                      | 74 |
| 5.2.5 Движущиеся часть установки для сварки неплавящимся электродом...                                                             | 75 |
| 5.3 Экологическая безопасность.....                                                                                                | 76 |
| 5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....                                                                                     | 78 |
| 5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....                                                              | 80 |

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| Заключение .....                       | 83 |
| Список использованных источников ..... | 84 |

## **Введение**

Использование дуги как источник тепла в аддитивном производстве является наиболее перспективным выбором [1-3], так как это может повысить производительность процесса и качество получаемых деталей, при этом снизить затраты на оборудование и расходные материалы.

Для изготовления деталей сложных геометрических форм, либо сложного состава становится выгоднее использовать аддитивное производство. Перспективным направлением считается развитие лазерных технологий с использованием металлпорошковых материалов. Данный способ позволяет получать детали с высокой точностью и минимальным отходом материала. Этим способом без особой сложности возможно получать детали сложной геометрии, при этом разработка аддитивного процесса занимает меньшее время и трудоёмкость.

Несмотря на достоинства лазерной наплавки существует ряд недостатков, связанных с производительностью, качеством получаемых деталей, дороговизной оборудования и материалов. Существуют методы увеличения эффективности, которые в тот или иной то степени повышают производительность и улучшают процесс, но имеются существенные трудности в их практическом применении. В частности, их применение затруднительно при наплавке проволоки лазерным лучом, так как возникают вопросы, связанные с различными технологическими задачами, направленными на получение качественной геометрии детали.

Исследованиями по изучению аддитивных технологий с использованием дуги в качестве тепла занимались Трушников Д.Н., Щицын Ю.Д., Белинин Д.С. и т.д. В их работах показана

целесообразность применения в качестве источника нагрева дуги и проволоки в качестве присадочного материала.

Объектом исследования является: процесс сварки неплавящимся вольфрамовым электродом в аргоне.

Предмет исследования – разработка процесса аддитивной наплавки изделия неплавящимся электродом в импульсном режиме.

Научная новизна исследования состоит в том, что в работе применён способ сварки в импульсном режиме с автоматическим переходом от слоя к слою за счёт автоматического регулятора напряжения дуги.

Практическая значимость полученных результатов состоит в использовании передовых технологий, с помощью которых можно добиться снижения затрат на производство и повысить качество продукции.

Целью данной работы будет являться разработка процесса аддитивной наплавки неплавящимся электродом в среде аргона с присадкой в виде проволоки. Для достижения поставленной цели в выпускной квалификационной работе поставлены следующие задачи:

- произвести анализ современного состояния аддитивного производства деталей;
- разработать модель сварочной ванны;
- предложить параметры сварки;
- разработать специальную установку;
- провести экспериментальную проверку.

## Глава 1 Обзор литературы

### 1.1 Методы аддитивного

Любая модель, производимая аддитивным методом, использует послойное формирование, т.е. для построения последующего слоя надо нанести предыдущий. На этом этапе возникает ряд проблем, связанных либо с тем, что каждый новый слой может обрушиться из-за отсутствия опоры или недостаточного притяжения к поверхности, либо с вводимым теплом, которое может оплавить стенки [1].

Решая эти проблемы, было разработано много технологий, позволяющих беспрепятственно возводить трехмерные объекты. Все разработанные способы разделяют на две группы, это bed deposition и direct deposition.

Под аддитивными принято понимать группу технологий, при помощи которых изготавливают различные изделия за счет послойного нанесения жидкого (или разжиженного) исходного материала на будущее изделие, расположенное на специальной подложке, посредством передвижения специальной головки в горизонтальной плоскости либо в пространстве. После нанесения очередного слоя стол относительно головки опускается на величину, равную толщине наносимого слоя. С помощью алгоритма, заранее разработанного специализированным программным обеспечением, задаётся движение головки и стола, которое реализуется шаговыми двигателями. После нанесения очередного слоя материал теряет текучесть, становится твердым под действием химических реакций или вследствие остывания. В настоящее время аддитивные технологии представлены

несколькими способами печати, которые различаются исходным материалом и принципом его нанесения [1].

Таким образом аддитивные технологии подразумевают под собой изготовление детали методом послойного выращивания исходного материала, в отличие от традиционного метода, в котором формирование детали происходит за счёт удаления материала из заготовки.

Так как образование детали происходит послойным наращиванием, все технологические операции можно описать одной CAD-моделью. Это требует меньших временных затрат по сравнению с традиционной документацией где каждый технологический переход нужно описывать параметрами и режимами обработки.

Развитие технологии объясняется большим спросом во многих сферах начиная от кондитерских изделий и заканчивая высокотехнологическими деталями атомной и космической промышленности, поэтому особое внимание уделяется развитию технологий непосредственного выращивания из металла.

Для производства деталей посредством выращивания из металла необходимо опираться на передовые знания по металлургии, электронике, механике, лазерной технике, а также сварке.

Рассматривая первую методику *bed deposition*, показанный на рисунке 1.1, можно сказать, что эта технология использует в качестве строительного только порошковый материал. Порошок насыпают на поверхность рабочей платформы, разравнивая его с помощью ролика и формируя ровный слой материала. Ссылаясь на сечение CAD модели, порошок обрабатывается лазером, скрепляя частички порошка сплавлением или склеиванием. Далее действия

повторяются с начала. Толщина наносимого материала зависит от проплавления лазера [2].

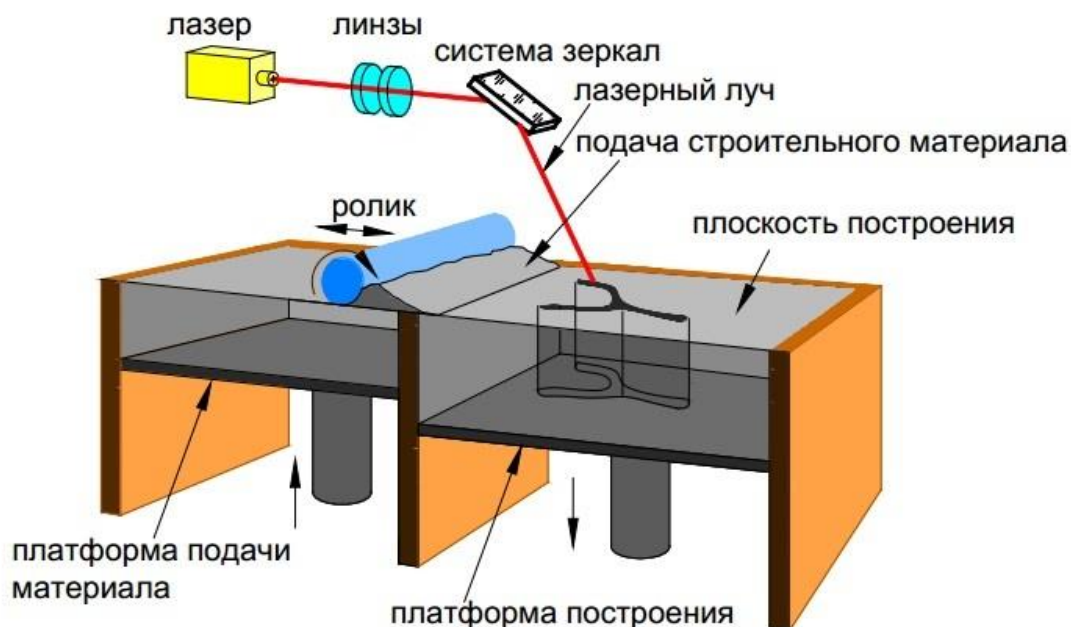


Рисунок 1.1 – Технология bed deposition [1]

Обычно такие детали имеют закалочные структуры и непровары, поэтому после получения детали необходимо произвести спекание в специальных печах.

За счёт того, что спеченный материал и порошок имеют чёткую границу, порошок не загрязняется и его можно использовать повторно это является первым преимуществом позволяющим экономить материал [3]. Также можно выделить:

- высокую точность наплавки,
- относительную легкость процесса,
- неограниченная возможность геометрии процесса.

Помимо этого, технология bed deposition имеет ряд недостатков, ограничивающих его использование, это:

- ограничение в использовании только порошкового материала,
- необходимость создания вакуума или инертной среды большого объема для некоторых материалов,
- малая производительность,
- возникновение пор и шероховатости в результате не полного расплавления порошка и высокой сыпучести материала.

Обходным путём для недостатков bed deposition послужила технология direct deposition (рисунок 1.2).

Direct deposition использует не формовочный слой, а непосредственную подачу формовочного материала в место подвода энергии. В месте формирования детали образуется зона расплава, которая затвердевает при охлаждении.

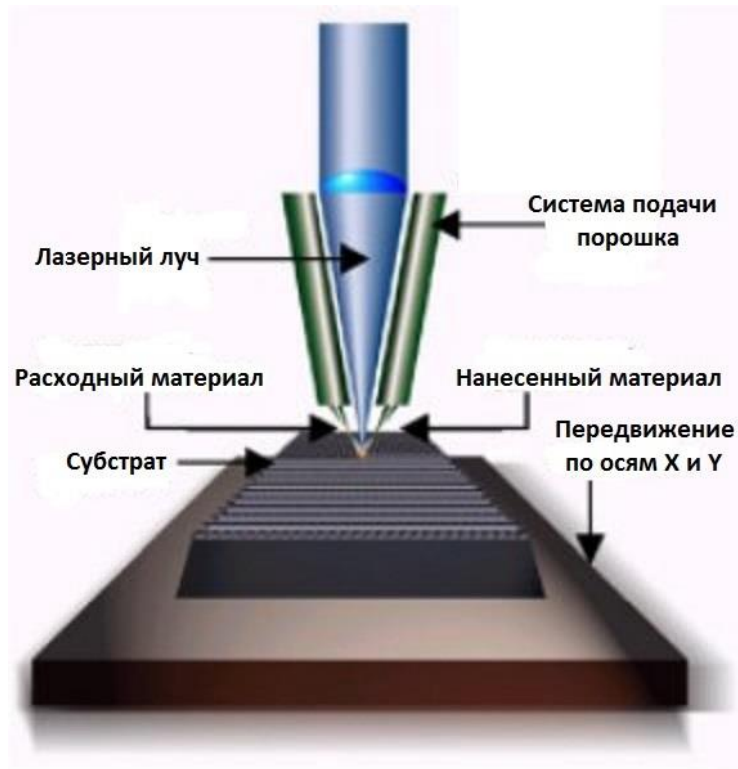


Рисунок 1.2 – Технология direct deposition [2]

Подача материала производится по большой площади наплавления и практически весь порошок проходит через зону термического влияния, нагревается и окисляется, что усложняет вторичное использование материала. Соответственно способу характерен большой расход материала при использовании порошка. Однако этот метод позволяет использовать и проволоку в качестве присадки. Это одно из ключевых преимуществ метода

Геометрические возможности процесса ограничены передвижением головки в одной плоскости с небольшими углами поворота и способностью материала прилипать к поверхности.

Однако это более производительный процесс, чем *bed deposition*. Ему характерен более высокотемпературный расплав. Полученные детали обладают большим качеством, прочностью, более однородной структурой.

## **1.2 Технологии для выращивания металлических изделий**

### **1.2.1 Группа *bed deposition***

Так как эта методика появилась первой и более легка в реализации больше разработок имеется именно в этой области. В качестве источника энергии в подавляющем большинстве для соединения частиц используют лазер – идеальный источник для соединения частиц металлопорошковых композиций.

Технологии, применяющие лазер, носят название *selective laser melting* технологии. Как говорилось ранее, при работе с лазером необходимо обеспечивать установки системами для смешивания и просеивания порошков. Так же систему по загрузке, разгрузке, очистке машины. Системы фильтрации и охлаждения.

При необходимости системы подачи инертных газов. Немаловажную роль играют бункера для хранения, так как порошок необходимо хранить в определённых условиях.

Но обеспечение производства нужными системами не единственная проблема. При построении детали из металлического порошка необходимо использовать поддерживающие якоря, которые обычно вводятся в порошок, в противном случае концентрация энергии в рабочей камере будет крайне высока и деталь может уплыть, покоробиться и повредить элементы, отвечающие за дозировку.

Однако использование якорей подразумевает их дальнейшее удаление из детали. Поэтому необходимо снять остаточные напряжения, используя печи для отпуска, далее необходимо разработать инструмент, подходящий для аккуратного извлечения. В конце всех операций деталь нужно обработать.

### **1.2.2 Группа direct deposition**

В этой группе на стабильность и качество процесса оказывают большое влияние параметры построения деталей, включающие в себя подачу материала, скорость перемещения головки и мощность лазера.

Современные системы имеют управление с обратной связью. Это позволяет регулировать в реальном времени основные параметры.

Для этой группы присущи технологии, которые позволяют производить последовательную и параллельную подачу материалов с различными физико-химическими свойствами. С помощью такой

подачи создают биметаллические компоненты и наносят покрытия на металлические поверхности.

### 1.3 Металлические материалы в аддитивных технологиях

При выборе материала для создания детали в первую очередь стоит обратить внимание на то как металл или смесь металлов реагирует на термические воздействия и как изменяются его физические свойства, влияющие на стабильность нанесения слоя.

Далее исходя из необходимых механических свойств подбирают группу металлов и проводят ряд экспериментов. Как только металл даёт нужный результат по наплавке, его начинают использовать.

Если разобрать наиболее популярных машины для послойного синтеза, можно определить какие металлопорошковые композиты используются и с какими параметрами возможно производить наплавку. Данные приведены в таблице 1.1.

Анализируя таблицу, можно сказать, что используют титан и его сплавы, алюминий и его сплавы железо, никель и драг металлы. Но использование аустенитных никель-хромовых сталей инконель и нержавеющей сталей занимает лидирующую позицию.

По сравнению с алюминиевыми, титановыми и другими сплавами с коррозионными свойствами, нержавеющая сталь является более доступным вариантом. Она может использоваться для печати водостойких деталей высокой прочности и плотности. Она может быть использована в экстремальной среде, такой как реактивные двигатели самолетов и ракет [4].

Таблица 1.1 Металлы и сплавы, наплавленные методом bed deposition [4]

| Модель        | Шаг построения, мкм | Скорость построения, см <sup>3</sup> /ч | Модельные материалы                                                 |
|---------------|---------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Concept Laser | 20-80               | 2-10                                    | 03X17H14M3, 09X17H7Ю1, 4X5МФ1С, Ti, Al, Co-Cr, Inconel, Cu, Au, Pt. |
| EOS           | 20-60               | 10-20                                   | 03X17H14M3, Al, Fe, Co-Cr, Ni, Ti, Inconel.                         |
| SLM Solution  | 20-40               | 10-15                                   | 03X17H14M3, 4X5МФ1С, Ti, Al, Co-Cr, Inconel, Au.                    |
| Realiser      | 20-50               | 5-10                                    | 03X17H14M3, Ti, BT-6, Al, 4X5МФ1С, Co-Cr, Inconel.                  |
| Renishaw      | 20-100              | 5-20                                    | 03X17H14M3, 09X17H7Ю1, 4X5МФ1С, Ti, Al, Co-Cr, Inconel              |
| Arcam         | 50-200              | 55-80                                   | Ti, Co-Cr, Inconel.                                                 |
| 3D sestems    | 10-100              | 1-15                                    | Inconel, керамика.                                                  |
| ExOne         | 50 и более          | 1780                                    | 03X17H14M3 с бронзой, 40X13 с бронзой.                              |
| Matsuura      | 20                  | -                                       | 4X5МФ1С                                                             |

Детали из нержавеющей стали изготавливаются на 3D принтере либо путем непосредственного нанесения металла, либо используя композитный материал со связывающим веществом. Детали можно покрывать другими металлами для изменения внешнего вида или свойств поверхности.

Распространенными нержавеющими сталями, используемыми в аддитивном производстве, являются 17-4PH (08X18H5Д5Б), 15-5-PH (08X15H5Д4), ASM 316L (03X16H15M3) и 304L (03X18H11).

С точки зрения технологических показателей производства порошков, перспективу стоит отдать титану. При их производстве поверхность частичек приближена к сферической форме. Порошок титана менее загрязнен примесями по сравнению с остальными, а также имеет большую плотность, что повышает качество порошка и улучшает морфологию.

Расширяют область применения металлопорошковые композиции, использующиеся в группе direct deposition. Данные приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 Металлы и сплавы, наплавляемые методом direct deposition [4]

| Модель      | Толщина слоя, мм | Скорость построения, см <sup>3</sup> /ч | Модельные материалы                                                                                       |
|-------------|------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Optomec     | 0,3-1            | до 80                                   | BT6, 4X5MΦ1C, X6BΦ, 3X3M3Φ, 08X18H10, 03X16H15M3, 40X13, 09X17H7Ю1, инконель, 0X15H65M16B, Cu, Al, Co-Cr. |
| POM         | 0,2-1,2          | 20-150                                  | 4X5MΦ1C, 3X3M3Φ, 16Г2АФ, 03X16H15M3,                                                                      |
| Irepa laser | 0,1-1,2          | 0,5-80                                  | BT6, 4X5MΦ1C, X6BΦ, 3X3M3Φ, 08X18H10, 03X16H15M3.                                                         |
| Insstek     | -                | -                                       | 40X13, 09X17H7Ю1, инконель, 0X15H65M16B, Cu, Al, Co-Cr.                                                   |
| Sciaky      | -                | -                                       | 03X16H15M3, Ti, Al, Ni, инконель.                                                                         |

#### 1.4 Использование дуги в качестве источника теплоты

Формирование металлических изделий использованием оплавления проволоочного материала является ключевым вектором

развития аддитивных технологий. Данное решение позволяет избавиться от проблем, связанных низкой производительностью существующих методов, высокой стоимостью применяемого оборудования, ограниченностью типов применяемых материалов, обусловленной традиционным использованием в качестве исходного материала для аддитивного формирования изделий порошковых систем, оплавляемых мощным тепловым источником [5]. Потенциал развития технологии формирования деталей оплавлением проволоки очень велик и в настоящее время в мире еще полностью не раскрыт.

Известны примеры установок, в которых изготовление детали происходит в вакууме с использованием электронного луча, что оказывается весьма производительным решением применительно к целому ряду перспективных материалов, в частности, титану и другим химически активным металлам и их сплавам. Однако электронно-лучевые установки имеют ряд недостатков, к которым можно отнести прежде всего необходимость применения высоковольтных источников напряжения для работы электронно-лучевой пушки, ступенчатых систем откачки для достижения глубокого вакуума, в ряде случаев при электронно-лучевых процессах необходима специальная защита обслуживающего персонала от тормозного рентгеновского излучения, возникающего при взаимодействии электронного луча с обрабатываемым материалом, что значительно усложняет эксплуатацию установок. Несимметричная подача проволоки в зону воздействия обуславливает трудность аддитивного формирования деталей сложной формы. Кроме того, к недостаткам также можно отнести дороговизну как самой установки, так и ее эксплуатации.

Во многих случаях целесообразно создание более простых и практически доступных для всех отраслей промышленности, а главное, более дешевых и универсальных установок для аддитивного формирования изделий в вакууме, позволяющих максимально использовать имеющиеся элементы оборудования и технологии. Одним из наиболее распространенных источников теплоты при сварке и наплавке является электрическая дуга.

### **Выводы по главе 1**

На основании описанной информации можно сделать вывод что использование в качестве источника тепла лазера даёт достаточно широкий выбор материала, имеет высокую точность и неограниченную возможность геометрии процесса. Однако этот процесс крайне непроизводителен, имеет привязанность к порошковым материалам и низкое качество деталей.

Если в качестве источника тепла применять дугу, можно повысить параметры качества и производительности. Так же дуговая наплавка подразумевает использование проволоки, которая гораздо дешевле порошка.

Для достижения поставленной цели необходимо выбрать способ сварки и автоматизировать процесс для непрерывности наплавки слоёв, а также разработать специальную установку.

## Глава 2 Объект и методы исследования

На основании проведённого анализа выбран процесс сварки неплавящимся электродом.

Для получения качественного корневого слоя и сварного соединения в целом, необходимо вводить тепловой поток в импульсном режиме с целью уменьшения объема сварочной ванны.

### 2.1 Характеристика процесса

При сварке в аргоне вольфрамовым электродом схему горения сильноточной дуги можно представить в следующем виде: дуга, горящая в атмосфере аргона между вольфрамовым катодом и неиспаряющейся охлаждаемой металлической поверхностью, являющейся анодом. Схема показана на рисунке 2.1.

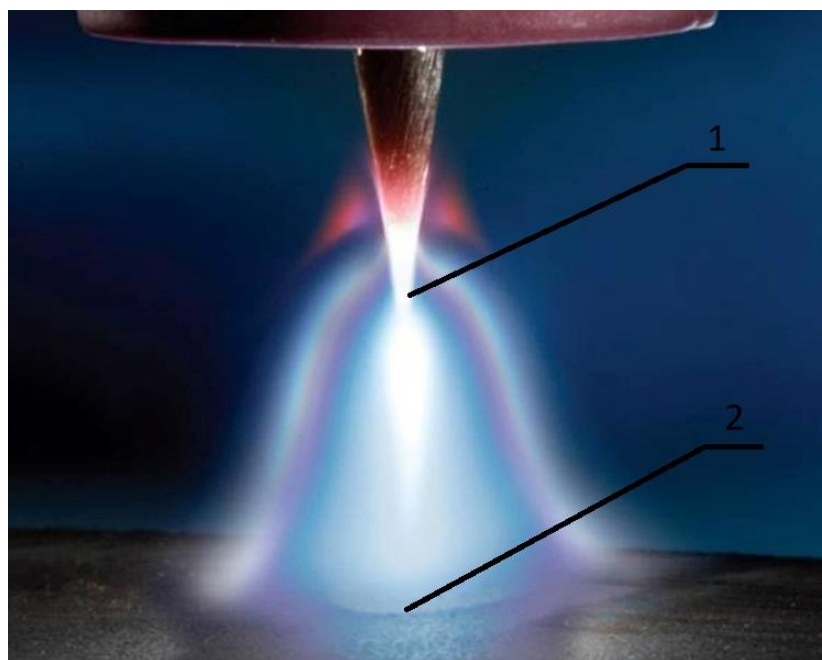


Рисунок 2.1 – Аргонная дуга [6];

1 – катодная область; 2 – анодная область

Плотность тока относительно велика на поверхности катода и вблизи него и постепенно убывает по направлению к аноду [6]. Увеличение зоны дуги по мере продвижения к аноду показано на рисунке 2.2, оно является следствием газового потока, входящего в зону дуги в районе катода и уходящего в радиальном направлении вблизи анода.

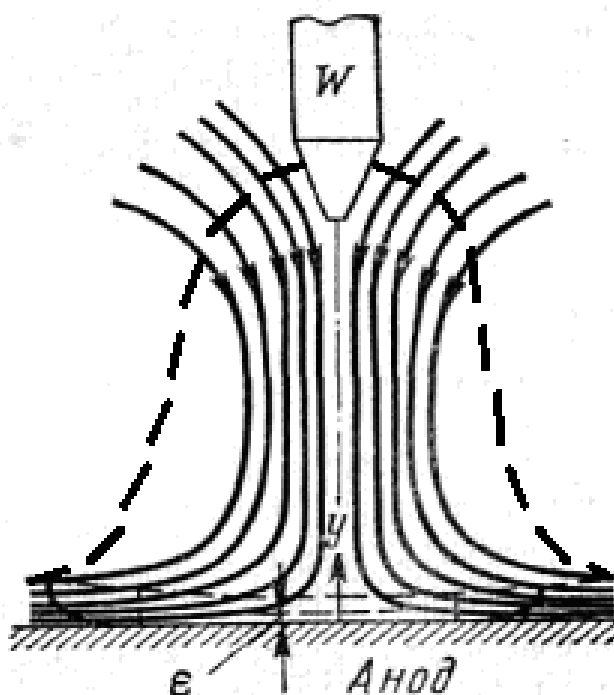


Рисунок 2.2 – Гидродинамика течения в сильноточной дуге;  
W – вольфрамовый электрод; ε – область анодного падения  
напряжения [6]

Максимально возможное давление в дуге возникает под действием электромагнитных сил. Радиальное сжатие обратно пропорционально сечению, через которое течёт ток. Опираясь на рисунок 2.1, можно сказать, что давление постепенно убывает по направлению от катода к аноду. Следовательно, действие

электромагнитных сил максимально вблизи катода является максимальным и пренебрежимо мало в области анода.

Область, расположенная перед катодом, под действием электромагнитных сил забирает газ из окружающего пространства и выбрасывает его в направлении анода в виде свободной струи, смешивающейся с окружающим газом, и образующая расширяющийся поток.

В областях катодного и анодного падения напряжения напряженность поля значительно возрастает в сравнении с напряженностью поля в столбе дуги. Это связано с распределением напряжения по оси дуги, показанного на рисунке 2.3.

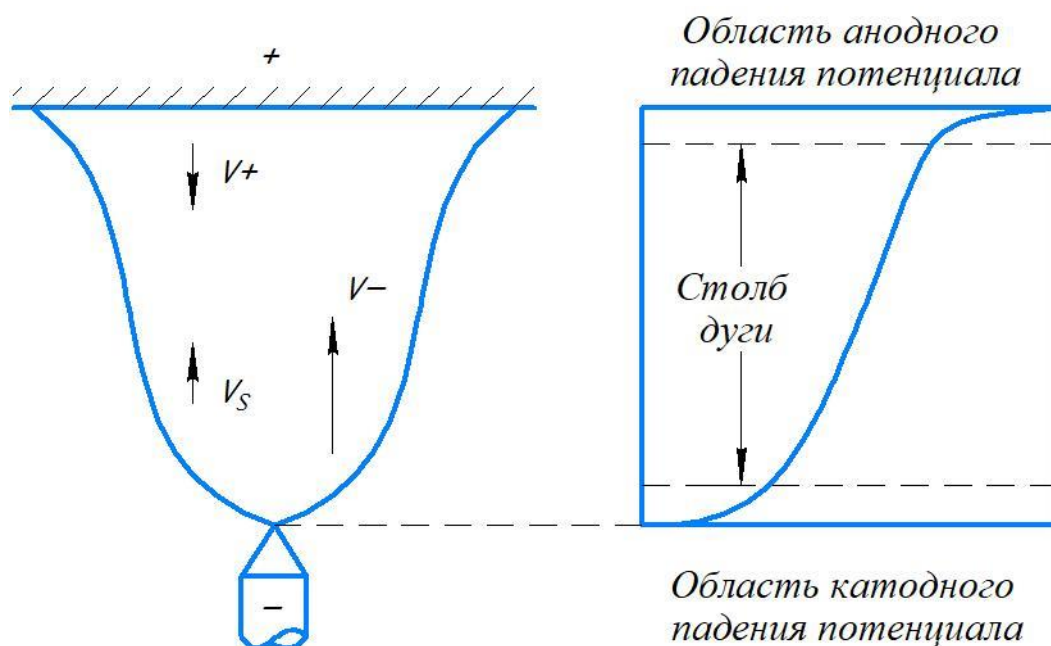


Рисунок 2.3 – Векторы скорости и распределение потенциала в дуге

Катодное падение напряжения связано с электронной эмиссией, образующей у катода ионы и электроны, и не

представляет никакого интереса с точки зрения подвода энергии к аноду.

Анодное падение напряжения имеет большее значение для подвода энергии к аноду. Условия падения напряжения зависят от двух явлений: процесса образования ионов и температурного поля у анода. Рассмотрим область падения слаботочных дуг.

В слаботочных дугах ионы движутся от катода к аноду под действием электрического поля. Действие гидродинамического течения незначительно в этом случае. С точки зрения электрической нейтральности столба дуги, для поддержания постоянного потока ионов должно происходить их образование в тонком слое, прилегающем к аноду. Образование ионов в этом слое может происходить либо за счет ионизации полем, либо за счёт термической ионизации [6]. В обоих случаях необходима затрата энергии электрического поля. Энергия передаётся электронам и они, сталкиваясь с частицами, воспроизводят ионы. Однако только незначительная часть электронов участвует в процессе ионизации. Большая часть проходит через прианодный слой, не отдавая тяжелым частицам энергию. Таким образом, энергия поля прианодного слоя передаётся аноду путём соударения электронов.

Условия в области анодного падения напряжения сильноточных дуг отличаются от условий в слаботочных дугах. В сильноточных дугах движение ионов определяется катодной струей: в столбе дуги ионы движутся от катода к аноду. Количество ионов, образующихся в прианодной зоне, значительно уменьшается и ограничивается тем числом ионов, которые выносятся из дуги в радиальном направлении гидродинамическим течением.

Можно сказать, что при слаботочной дуге ионы и заряженные частицы движутся в разные стороны и в анодной области образуется

слой ионов. В сильноточной дуге анодная область сдувается потоком газа в следствии чего уменьшается напряжение в области анодного пятна сильноточной дуги. Помимо этого, нагретый ионизированный газ является мощным теплоносителем, позволяющим вносить большую энергию на анод.

## **2.2 Требования процесса**

Аддитивная наплавка предполагает непрерывное нанесение слоя материала. Это обеспечивает относительную постоянность сечения наплавляемого слоя. Если образование слоя прервать и начать заново, то в зоне прерывания образуется неоднородность сечения. Это объясняется образованием кратера при окончании наплавки и расплавлением с вытеканием металла при образовании сварочной ванны в момент начала наплавки [7].

Равномерность наплавляемого слоя обеспечивается постоянной скоростью наплавки, подачи присадочного материала и постоянного вноса тепла. Разброс этих параметров по мере формирования слоя приведёт к геометрическим дефектам.

Так при отклонении скорости наплавки и подачи материала будет изменяться форма и площадь сечения шва. Возможно образование наплывов и разности высоты слоя. Эти явления не позволят качественно формировать последующие слои.

При увеличении и уменьшении вноса тепла присадочный материал может закипеть или вообще не проплавиться, что приведёт к внутренним дефектам наплавки и последующем браком детали. Так же возникают наплывы и проплавления сварочной ванны описанные в характеристике процесса.

Разные зоны детали требуют разных толщин, соответственно необходимо контролировать приход материала в сварочную ванну и ширину наплавляемого слоя.

При непрерывной наплавке, например, тел вращения, необходимо обеспечить своевременное поднятие головки при проходе каждого слоя. Также на возникающих неровностях на поверхности слоёв необходимо обеспечить постоянное напряжение дуги. Эти два условия требуют обеспечения управления напряжением дуги.

Таким образом можно сказать, что при дуговой наплавке необходимо обеспечить:

- непрерывный поток прихода металла в сварочную ванну при небольших её размерах;
- управление напряжением дуги;
- обеспечить непрерывное плавление мелкими порциями;
- обеспечение стабильности горения дуги;
- обеспечение малых размеров ванны.

### **2.3 Выбор параметров режима**

Следует сказать, что при аддитивной наплавке нет возможности использовать длительное время сильноточной дуги. В противном случае ванна тонкой стенки под действием мощного потока нагретого ионизированного газа расплавится [8]. Однако можно использовать сильноточный источник на короткое время с тем чтобы мелкими порциями плавить присадочную проволоку. Такие требования можно удовлетворить импульсным режимом питания.

### 2.3.1 Характеристика системы источник питания – дуга

Для сварки в аргоне требуется источник с крутопадающей вольт амперной характеристикой. Такая характеристика обеспечивает более устойчивое горение дуги. Схема крутопадающей характеристики приведена на рисунке 2.4.

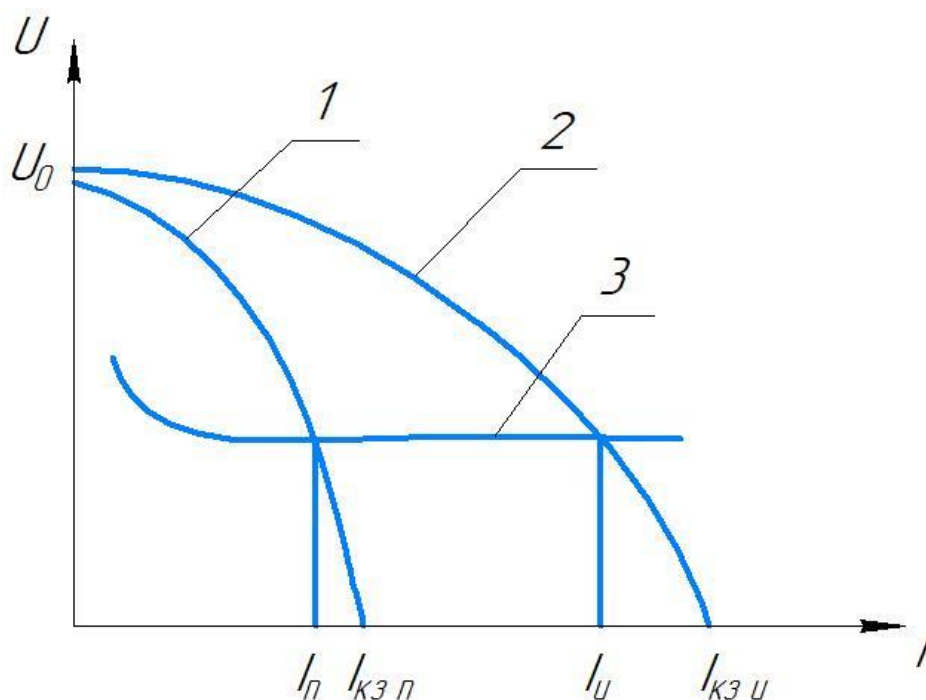


Рисунок 2.4 – Схема крутопадающей вольт амперной характеристики

На схеме находятся вольт амперные характеристики источника питания в паузе 1 и в импульсе 2, которые пересекают вольт амперную характеристику дуги в точках, соответствующих токам паузы  $I_n$  и импульса  $I_u$ . В промежутке между этими значениями протекает ток от импульсного режима питания. Так же на схеме приведены токи короткого замыкания импульса  $I_{кз\ n}$  и паузы  $I_{кз\ u}$ .

Основными параметрами являются ток паузы, ток импульса и напряжение дуги. В процессе наплавки происходит переключение между токами импульса и паузы [9].

Перепад тока дуги позволяет расплавлять проволоку мощным потоком тепла мелкими частями и при этом не расплавлять сварочную ванну [10].

Циклограмма процесса электродуговой сварки неплавящимся электродом в импульсном режиме представлена на рисунке 2.5.

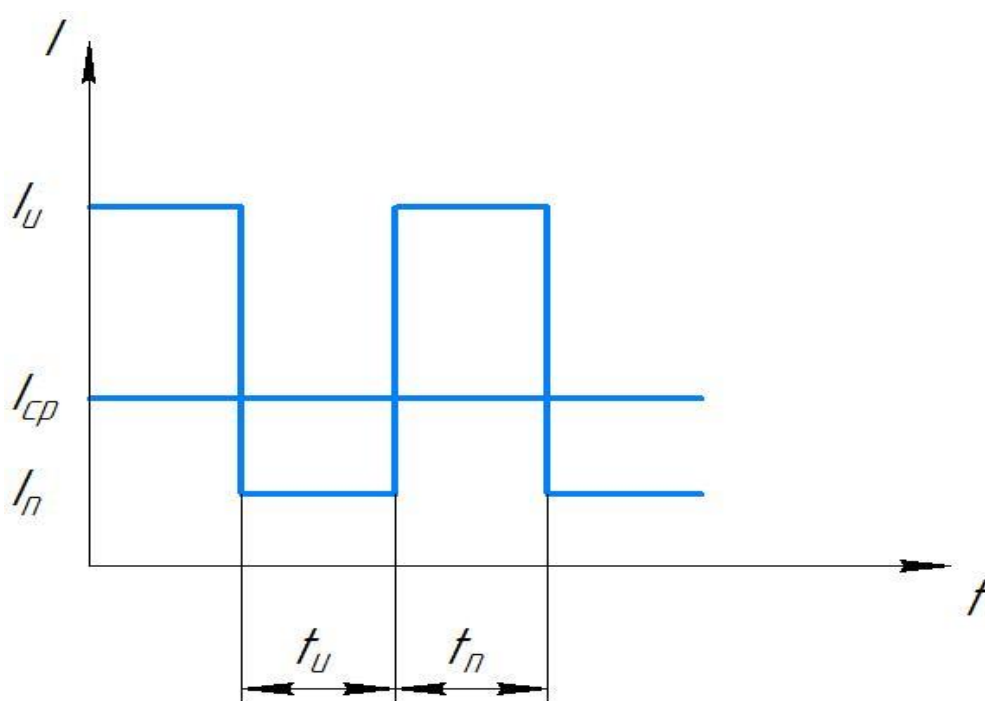


Рисунок 2.5 – Циклограмма способа электродуговой сварки неплавящимся электродом с импульсной модуляцией тока

На предложенной схеме питания показаны токи импульса  $I_u$  и паузы  $I_n$ , время импульса  $t_u$  и паузы  $t_n$ . Также показан средний ток  $I_{cp}$ , который определяет количество тепла, вносимое в сварочную ванну, и рассчитывается по формуле [11]:

$$I_{cp} = \frac{I_u \cdot t_u + I_n \cdot t_n}{t_u + t_n}. \quad (1)$$

При этом за один период следования импульса сварочного тока сварочная ванна совершает колебательное движение. Во время импульса увеличивается объем сварочной ванны и за счет силового давления сварочной дуги ванна перемещается в хвостовую часть по фронту кристаллизации. Во время паузы вследствие резкого снижения давления сварочной дуги ванна возвращается под электрод также по фронту кристаллизации, но при этом часть металла ванны кристаллизуется на поверхности кристаллизации. Вследствие этого происходит слоистая кристаллизация металла, то есть кристаллизация идет не непрерывно, а дискретно.

Хотя импульсный режим позволяет снизить объем металла сварочной ванны, но вследствие накопления тепла и увеличения температуры изделия во время сварки, происходит увеличение объема сварочной ванны при программном управлении процессом (то есть при постоянных значениях длительности импульса тока и паузы) [12].

## **2.4 Разработка способа наплавки диска на подложку в виде трубы.**

При аддитивной наплавке неплавящимся электродом основными возмущающими действиями является неравномерность и неоднородность наплавленного слоя, являющиеся следствием отклонения основных параметров сварки. К основным параметрам относятся скорость сварки, скорость подачи проволоки и количество вводимой теплоты.

Расчёт вводимой энергии производится по формуле:

$$q = \mu \cdot U \cdot I, \quad (2)$$

где  $\mu$  – коэффициент полезного действия источника тепла (для аргонодуговой сварки  $\mu = 0,55$ ).

Скорость сварки и подачи материала определяется исходя из требований размера наплавляемого слоя. Их значения обычно приближённо высчитываются из отношения количества вводимого тепла и количества необходимого материала, с учётом параметров теплоотвода от зоны наплавки и удельной теплоёмкости материала. Далее методом итераций подбирается наиболее подходящий режим, при котором получается наиболее качественный шов, и производится наплавка.

С целью уменьшения объема сварочной ванны применяется импульсный ввод тепла, обеспечивающий снижение объема расплавленного металла сварочной ванны, за счет концентрированного ввода тепла в изделие во время импульса, во время которого тепло используется рационально, а во время паузы между импульсами при небольшом сварочном токе (5-10 А) происходит некоторое снижение размеров сварочной ванны [13].

При этом за один период следования импульса сварочного тока сварочная ванна совершает колебательное движение. Во время импульса увеличивается объем сварочной ванны и за счет силового давления сварочной дуги ванна перемещается в хвостовую часть по фронту кристаллизации. Во время паузы вследствие резкого снижения давления сварочной дуги ванна возвращается под электрод также по фронту кристаллизации, но при этом часть металла ванны кристаллизуется на поверхности кристаллизации.

Вследствие этого происходит слоистая кристаллизация металла, то есть кристаллизация идет не непрерывно, а дискретно.

Хотя импульсный режим позволяет снизить объем металла сварочной ванны, но вследствие накопления тепла и увеличения температуры изделия во время сварки, происходит увеличение объема сварочной ванны при программном управлении процессом (то есть при постоянных значениях длительности импульса тока и паузы).

Такая чешуйчатая структура имеет разную высоту наплавки, а соответственно появляется разброс напряжения дуги по мере прохода последующего слоя. Помимо этого, при непрерывной наплавке слоёв необходимо подымать дугу с каждым последующим слоем, чтобы обеспечить равномерный ввод тепла в область наплавки.

Для решение этой проблемы применяется система автоматического регулирования напряжения дуги. Схема работы блока показана на рисунке 2.9.



Рисунок 2.9 – Принципиальная схема электронного блока управления

Значение разности напряжений  $dU$  поступает на электронный блок. Проходя через схему электронный блок выдаёт значения напряжения прямой КТ 1 и обратной КТ 2 полярности.

## **Выводы по главе 2**

1. Описаны гидродинамические процессы, происходящие в дуговой области и физические процессы в дуге. Это позволило рассмотреть зависимость тепловложения от типа дуги (слаботочная и сильноточная).
2. Анализ процесса наплавки показал необходимые для него требования, такие как непрерывность подачи присадочного материала, управление напряжением дуги, непрерывное плавление, стабильность дуги, малые геометрические размеры ванны.
3. Разработана схема питания дуги. Обозначены основные параметры сварочного трансформатора и среднее значение тока при импульсном питании.
4. Показан ход метода итераций при выборе параметров наплавки. Выбраны параметры значения тока, напряжения, скорости сварки и скорости подачи присадочного материала. Разработан способ управления длиной, а соответственно, и напряжением дуги.

### Глава 3 Экспериментальная установка

Для экспериментальной проверки разработана установка для наплавки тел вращения, изображенная на рисунке 3.1.

Автоматический регулятор напряжения дуги встроен в блок автоматики и контроля БАРС-2В.

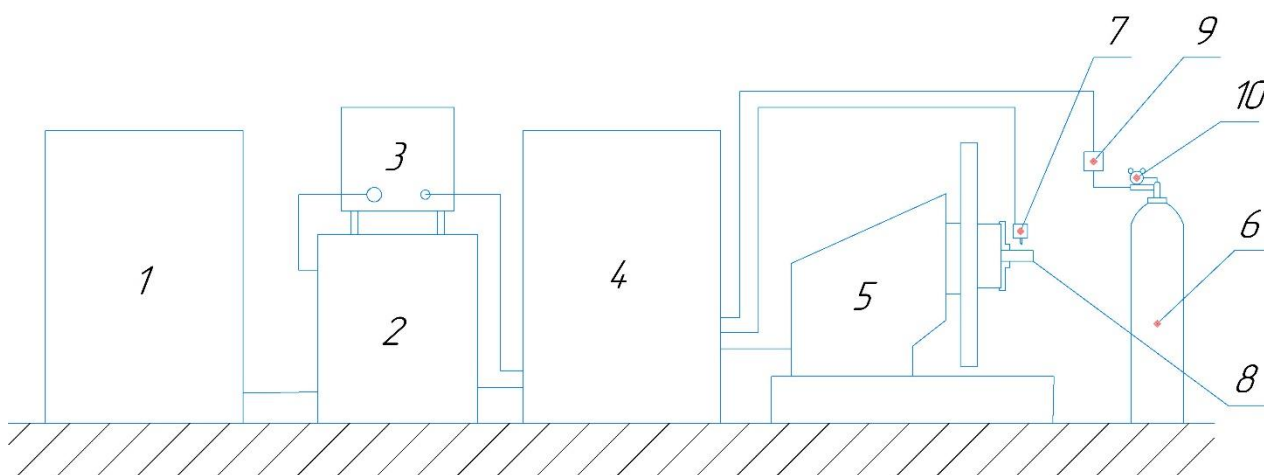


Рисунок 3.1 – Принципиальная схема экспериментальной установки для разработанного способа наплавки с автоматическим изменением напряжения для перехода на новый слой

Схема экспериментальной установки состоит из силового источника питания 1, импульсного модулятора 2, балластного реостата 3, системы автоматики 4 БАРС-2В, манипулятора с патроном 5, газового баллона 6, сварочной головки 7, подложки в виде трубы 8, газового клапана 9 и газового редуктора и расходомера 10.

#### 3.1 Описание сварочной головки

При проведении эксперимента использовалась сварочная головка собранная изображённая на рисунке 3.2.

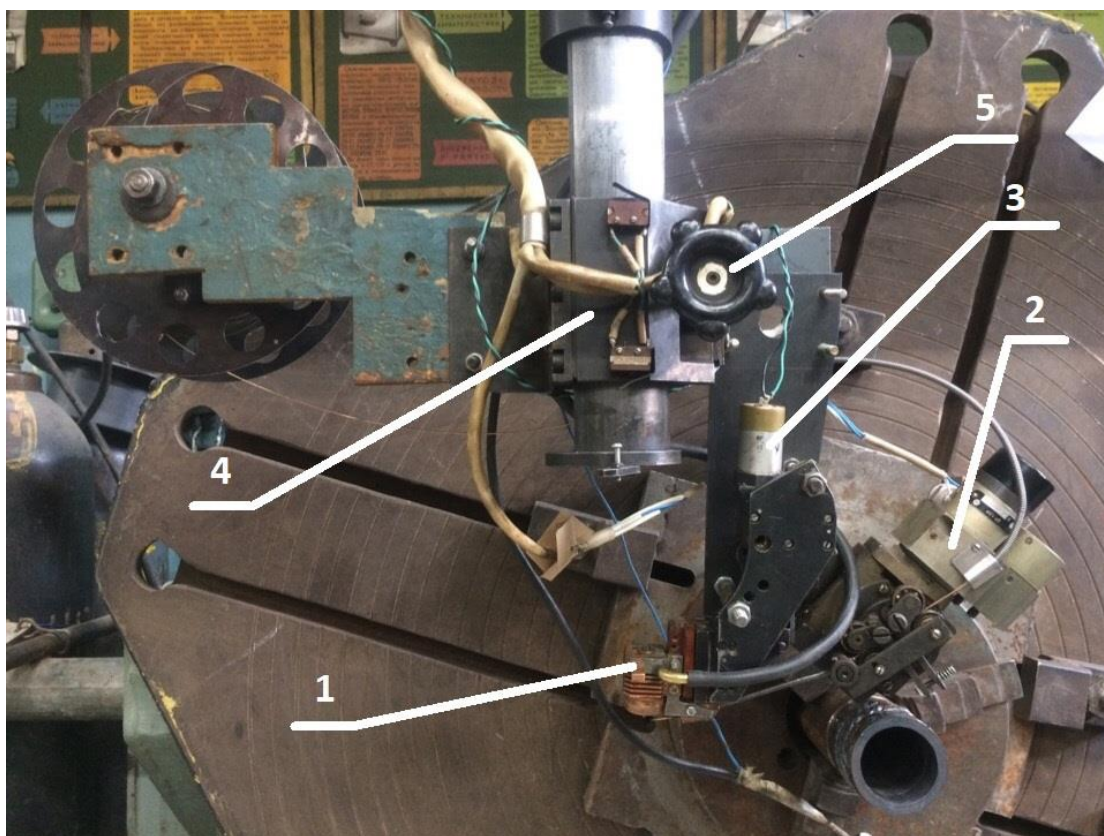


Рисунок 3.2 – Устройство сварочной головки

Согласно рисунку 3.1 в данной экспериментальной установке используется автомат 4 сварочной головки состоящий из горелки 1, привода подачи проволоки 2, привода колебаний 3, вертикального привода 4, установочного продольного привода 5.

Горелка сварочной головки имеет конструктивные рёбра для охлаждения, выход на газопровод и использует вольфрамовый электрод диаметром 3 мм.

Привод подачи имеет диапазон диаметра используемой проволоки от 0,8 мм до 2 мм, может обеспечить скорость подачи проволоки от 8-120 м/час и имеет две пары U-образных роликов.

Привод колебания имеет угол поворота в  $15^\circ$  в каждую сторону и колеблется в диапазоне 0,2 - 3 Гц.

### **3.2 Описание системы автоматики БАРС-2В**

Система автоматики БАРС-2В предназначена для управления автоматической сваркой неплавящимся электродом в среде защитных газов на переменном и постоянном токах и обеспечивает регулирование сварочным током и скоростями сварки, подачей присадочной проволоки, колебаниями электрода, а также слежение по напряжению сварочной дуги.

В комплект системы входит аппаратный шкаф, блок управления, привод нереверсивный (блоки регулирования тока и скорости), привод реверсивный (блок регулирования дуги), блок программного управления, блок вентиляторов, стойка управления, пульт управления, пульт ручной, блок реле времени, кабельное хозяйство, комплект ЗИП, комплект сопроводительной документации.

Она имеет следующие технические характеристики:

- 1) напряжение питания  $220 \text{ В} \pm 10 \%$ , 50 гц;
- 2) мощность потребителя не более 2,4 кВт;
- 3) выходная мощность регулятора привода не более 0,3 кВт;
- 4) выходная мощность регулятора сварочного тока не более 0,6 кВт;
- 5) напряжение сварочной дуги от 3,5 до 27 В;

Стоит отметить, что в системе автоматики БАРС-2В блок питания двигателей подачи проволоки и скорости вращения реализует импульсно-фазовое управление. Такое управление не подходит для двигателей головки ОКА 18-45, так как в ней прецизионные двигатели с полуротором. Поэтому специально сделан блок адаптации с целью связи этих устройств.

### **3.3 Эксперимент и его результаты**

Для проведения эксперимента примерным расчётом в первом приближении были выбраны следующие параметры сварки:  $U=14 \text{ В}$ ,

$I=80$  А, скорость подачи присадочного материала  $v_{п}=60$  см/мин, скорость вращения стола  $v_{вр}= 0,8$  об/мин. Результаты наплавки приведены на рисунке 3.3.



Рисунок 3.3 – Первое приближение выбора способа наплавки

При визуальном осмотре шва наблюдаются признаки кипения металла при наплавке, широкая область термического влияния и наплавленного слоя. Было принято решение увеличить ток  $I$  до 100 А и скорость вращения стола  $v_{вр}$  до 1,2 об/мин. Результаты второй итерации приведены на рисунке 3.4.



Рисунок 3.4 – Второе приближение выбора способа наплавки

Анализируя этот шов можно сказать, что зона термического влияния увеличилась в сравнении с первой итерацией, но качество шва улучшилось, соответственно количество расплавляемого присадочного материала и скорость сварки соответствует энергетическим вложениям. Однако шов получается слишком широким. Было принято решение уменьшить напряжение дуги  $U$  до 10 В с сохранением прочих параметров. Результаты итоговой итерации представлены на рисунке 3.5.

В этом случае ширина шва удовлетворяет требуемым параметрам. Шов получается однородным с точки зрения геометрии и при визуальном осмотре шва не наблюдается дефектов. Параметры для наплавки приведены в таблице 2.1.

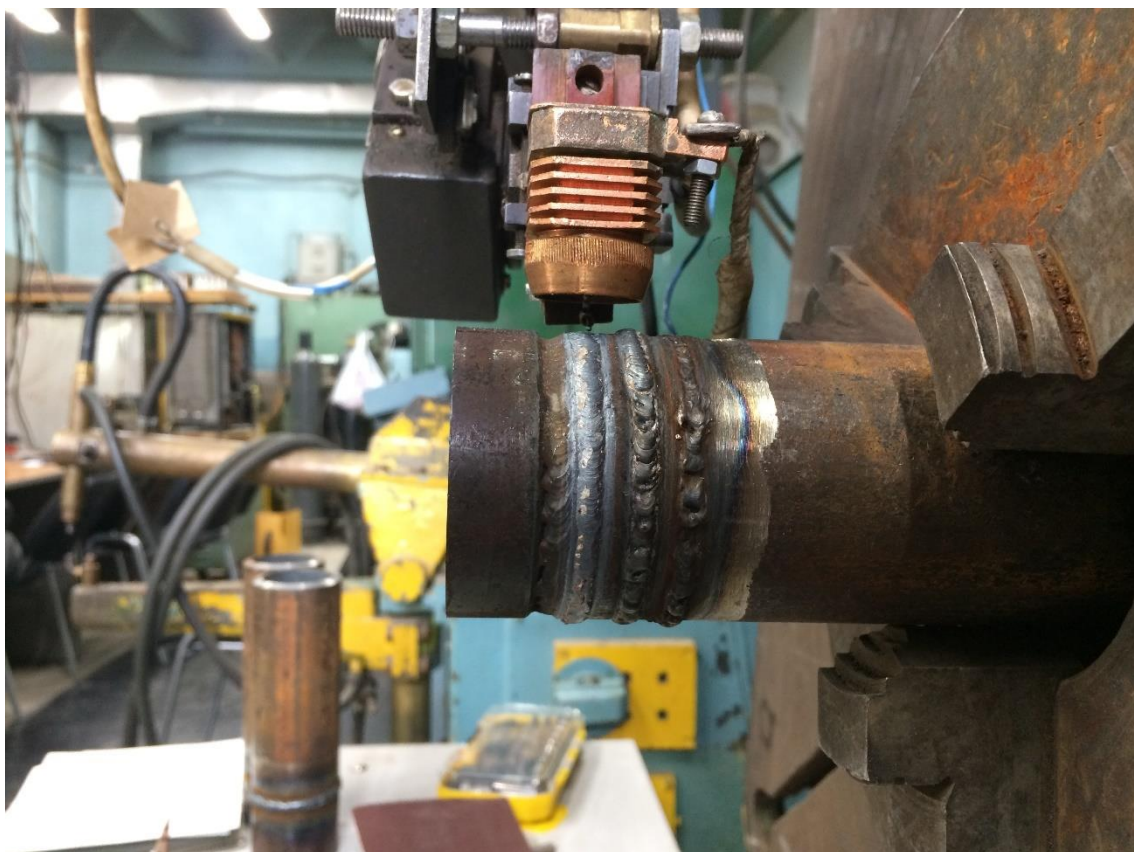


Рисунок 3.5 – Итоговое приближение выбора способа наплавки

Таблица 2.1 Параметры режима наплавки

| Напряжение дуги $U$ , В | Сила тока $I$ , А | Скорость сварки $v_{вр}$ , об/мин | Скорость подачи присадочного материала $v_{п}$ , см/мин |
|-------------------------|-------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 10                      | 100               | 1,2                               | 60                                                      |

Далее была выполнена наплавка на несколько оборотов манипулятора. При проходе на один оборот сварочная головка смещается на высоту примерно равную высоте одного слоя. С каждым последующим слоем труба начинает нагреваться, теплоотвод с наплавки уменьшается и ванна начинает вести себя нестабильно.

При наплавке слоёв, идущих после первого, система АРНД реагирует на неровности предыдущего слоя, и система

вертикального привода начинает колебаться, пытаюсь выровнять напряжение дуги.

При визуальном осмотре наплавки не замечено сильных отклонений ширины слоёв друг от друга. Отклонения от предполагаемых размеров отличаются на 20%, это может быть связано с погрешностью расчёта тепловых расчётов, расчётов на угар проволоки и отклонениями дуги от зоны подключения питания.

### **Выводы по главе 3**

- 1) В ходе предварительного расчёта и экспериментов были подобраны оптимальные параметры наплавки.
- 2) Результаты эксперимента показали, что работа системы АРНД соответствует предполагаемой, но при этом колеблет головку на неровностях шва, что требует снижения чувствительности.
- 3) Наплавленный слой формируется без определённых отклонений. На данный момент необходим экспериментальный подбор ширины валика, так как расчётный метод имеет высокие отклонения 20%.

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

Студенту:

| Группа | ФИО                               |
|--------|-----------------------------------|
| 1В51   | Болтрушевич Александр Евгеньевичу |

| Школа               | ИШНКБ       | Отделение школы (НОЦ)     | Электронной инженерии        |
|---------------------|-------------|---------------------------|------------------------------|
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/специальность | 15.03.01<br>«Машиностроение» |

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

|                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих | Оклад руководителя - 43200 руб.<br>Оклад студента - 25000 руб.                                                                                                                                                                                  |
| 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов                                                                                           | Премияльный коэффициент руководителя 30%;<br>Премияльный коэффициент студента 30%;<br>Надбавки руководителя 20-30%;<br>Надбавки инженера 20-30%;<br>Дополнительной заработной платы 12%;<br>Накладные расходы 16%;<br>Районный коэффициент 30%. |
| 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования                                  | Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 28 %                                                                                                                                                                                     |

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

|                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения | -Анализ конкурентных технических решений                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 2. Планирование и формирование бюджета научных исследований                                                                        | Формирование плана и графика разработки:<br>- определение структуры работ;<br>- определение трудоемкости работ;<br>- разработка графика Гантта.<br>Формирование бюджета затрат на научное исследование:<br>- материальные затраты;<br>- заработная плата (основная и дополнительная);<br>- отчисления на социальные цели;<br>- накладные расходы. |
| 3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования        | - Определение эффективности исследования                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

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

|                                                     |
|-----------------------------------------------------|
| 1. Оценочная карта конкурентных технических решений |
| 2. График Гантта                                    |
| 3. Расчет бюджета затрат НИ                         |

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

**Задание выдал консультант:**

| Должность | ФИО              | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент    | Подопригора И.В. | к.э.н., доцент         |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                              | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------------|---------|------|
| 1В51   | Болтрушевич Александр Евгеньевич |         |      |

## 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Выпускная квалификационная работа по теме «Разработка аддитивного процесса наплавки в импульсном режиме» выполняется в рамках научно-исследовательской работы для организации. Заинтересованными лицами в полученных данных будет являться сама организация.

Суть работы заключается в исследовании и разработке процесса наплавки металла дугой, горячей в импульсном режиме. Сегментирование рынка представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Сегментирование рынка

|                   | Показатели        |                    |                    |
|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
|                   | Низкий показатель | Средний показатель | Высокий показатель |
| Качество наплавки | 3                 | 2                  | 1                  |
| Скорость наплавки | 2,3               | 2                  | 1                  |
| Возможность       | 3                 | 2                  | 1,2                |

где 1 – Автоматическая аргонодуговая сварка в импульсном режиме; 2 – полуавтоматическая аргонодуговая сварка; 3 – ручная дуговая сварка.

По данным результата сегментирования можно сделать вывод, что уровень конкуренции низок. Автоматически запрограммированная аргонодуговая сварка в импульсном режиме – хороший способ сварки, благодаря которому можно получать качественные валики для формирования стенок деталей.

## 4.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Для этого составлена оценочная карта, приведенная в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

| Критерии оценки                                  | Вес критерия | Баллы          |                 |                 | Конкурентоспособность |                 |                 |
|--------------------------------------------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------|-----------------|
|                                                  |              | Б <sub>ф</sub> | Б <sub>к1</sub> | Б <sub>к2</sub> | К <sub>ф</sub>        | К <sub>к1</sub> | К <sub>к2</sub> |
| 1                                                | 2            | 3              | 4               | 5               | 6                     | 7               | 8               |
| Технические критерии оценки ресурсоэффективности |              |                |                 |                 |                       |                 |                 |
| 1.Качество детали                                | 0,208        | 5              | 5               | 4               | 1,04                  | 1,04            | 0,832           |
| 2.Точность детали                                | 0,208        | 4              | 5               | 3               | 0,832                 | 1,04            | 0,624           |
| 3.Сложность процесса                             | 0,125        | 2              | 3               | 4               | 0,25                  | 0,375           | 0,5             |
| Экономические критерии оценки эффективности      |              |                |                 |                 |                       |                 |                 |
| 1.Цена оборудования                              | 0,166        | 2              | 2               | 4               | 0,332                 | 0,332           | 0,664           |
| 2.Обслуживание процесса                          | 0,125        | 3              | 3               | 4               | 0,375                 | 0,375           | 0,5             |
| 3.Квалификация рабочих                           | 0,166        | 4              | 3               | 5               | 0,664                 | 0,498           | 0,83            |
| Итого                                            | 1            | 20             | 21              | 26              | 3,5                   | 3,48            | 2,75            |

где Б<sub>ф</sub> – Сварка неплавящимся электродом в аргоне дугой, горячей в импульсном режиме;  
Б<sub>к1</sub> – Аргонно-дуговая сварка; Б<sub>к2</sub> – Ручная дуговая сварка.

Анализ конкурентных технических решений определили по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (2)$$

где К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

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

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Таким образом, конкурентоспособность разработки составила 3,5 в то время как двух других аналогов 3,48 и 2,75 соответственно. Результаты показывают, что данная научно-исследовательская разработка является конкурентоспособной и имеет преимущества по таким показателям, как качество и точность детали. Итогом данного анализа является то, что метод, предложенный в нашей научно-исследовательской работе эффективнее методов конкурентов.

#### **4.3 SWOT – анализ**

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Преимущества SWOT анализа заключаются в том, что он позволяет достаточно просто, в правильном разрезе взглянуть на положение компании, товара или услуги в отрасли, и поэтому является наиболее популярным инструментом в управлении рисками и принятии управленческих решений.

Результатом проведения SWOT анализа предприятия является план действий с указанием сроков выполнения, приоритетности выполнения и необходимых ресурсов на реализацию (таблица 4.3).

Периодичность проведения SWOT анализа. Рекомендуется проводить SWOT анализа минимум 1 раз в год в рамках стратегического планирования и при формировании бюджетов. SWOT анализ очень часто является первым шагом бизнес-анализа при составлении маркетингового плана.

Таблица 4.3 – Матрица SWOT

| Внешние факторы | Внутренние факторы                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 |                                                                                                                                                                              | <b>Сильные стороны проекта:</b><br>1. Простота оборудования<br>2.Экономичность<br>3. Возможность сварки различных металлов<br>4. Возможность автоматизации<br>5. Качество изготавливаемых деталей<br>6. Возможность усовершенствования оборудования | <b>Слабые стороны проекта:</b><br>1. Требуется высокая квалификация рабочего<br>2.Повышенный вред здоровью<br>3. Единичное производство оборудования для сварки<br>4. Высокие требования к технологиям сварки<br>5. Обслуживание оборудования |
|                 | <b>Возможности:</b><br>1. Возможность перехода в массовое производство<br>2.Возможность финансирования государством                                                          | Возможность перехода в производство и мультизадачность;<br>Нормирование и совершенствование оборудования                                                                                                                                            | Необходимость в профессиональном отборе;<br>Создание условий труда;<br>Чем дороже оборудование и его обслуживание, тем качественнее деталь                                                                                                    |
|                 | <b>Угрозы:</b><br>1. Отсутствие спроса из-за особенностей метода<br>2.Отсутствие запасных деталей на рынке<br>3. Чем сложнее конструкция – тем сложнее приобрести расходники | Для достижения экономичности и технологичности процесса, а также высокого качества детали необходимо наладить связь со специалистами по оборудованию либо нанять своих специалистов.                                                                | Высокие риски. Очень дорогостоящее оборудование и его обслуживание. Необходимо открывать предприятие в экономических центрах – т.к. новые технологии сложно внедрить пока существуют традиционные.                                            |

#### 4.4 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

В таблице 4.4 приведены возможные варианты решения технической задачи:

1) А1Б1В2Г2Д3 – В первом случае, сварка низкоуглеродистых сталей при малых затратах на материал.

2) А2Б2В2Г2Д3 – Во втором случае, низкоуглеродистых или низколегированных сталей при малых затратах материал.

3) А3Б3В1Г1Д1 - В третьем случае, сварка хромистых (нержавеющих) сталей аустенитного класса, с повышенными требованиями к материалу.

Таблица 4.4 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

|                                    | 1                | 2                | 3                    |
|------------------------------------|------------------|------------------|----------------------|
| А. Диаметр сварочной проволоки, мм | 1                | 1                | 1                    |
| Б. Марка электрода                 | ЭВЛ-2 Ø 3-150-ТУ | ЭВЛ-2 Ø 4-150-ТУ | ЭВЧ Ø 3-200-ТУ       |
| В. Плазмообразующий газ            | Ar (высший сорт) | Ar (Сорт 1)      | -                    |
| Г. Стабилизирующий газ             | Ar (высший сорт) | Ar (Сорт 1)      | -                    |
| Д. Защитный газ                    | Ar               | CO <sub>2</sub>  | Ar + CO <sub>2</sub> |

## 4.5 Планирование научно-исследовательских работ

### 4.5.1 Структура работ в рамках научного исследования

Оценить продолжительность работ можно рассмотрев продолжительность работ. Данные приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

| Наименование                                                                   | Продолжительность<br>(дни) | Ресурсы                 |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| Изучение способов сварки                                                       | 3                          | 2 инженера-лаборанта    |
| Подбор всех подходящих способов сварки                                         | 2                          | 2 инженера-лаборанта    |
| Выбор способов сварки                                                          | 2                          | Первый инженер-лаборант |
| Выбор наилучшего варианта для наплавки                                         | 2                          | Второй инженер-лаборант |
| Выбор оборудования (из имеющегося, покупного)                                  | 3                          | 2 инженера-лаборанта    |
| Корректирование                                                                | 2                          | Инженер-электрик        |
| Поиск паспортов технического оборудования (для составления электрических схем) | 5                          | Инженер-электрик        |
| Объединение схем в один общий чертеж                                           | 1                          | Инженер-электрик        |
| Подключение к блоку управления                                                 | 2                          | Программист             |
| Расчетный выбор параметров сварки                                              | 2                          | Конструкторский отдел   |
| Подбор оптимальных параметров                                                  | 1                          | Конструкторский отдел   |
| Разработка промышленной карты                                                  | 3                          | Технологический отдел   |
| Разработка тех. процесса                                                       | 3                          | Технологический отдел   |
| Контроль качества                                                              | 1 день на 5 дет.           | инженер-лаборант        |

#### 4.5.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Расчёт ожидаемой трудоёмкости можно произвести по формуле:

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

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, приведённой в таблице 4.5, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{ч_i}, \quad (4)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

### 4.5.3 Разработка графика проведения научного исследования

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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (5)$$

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:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (6)$$

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 (табл. 4.6).

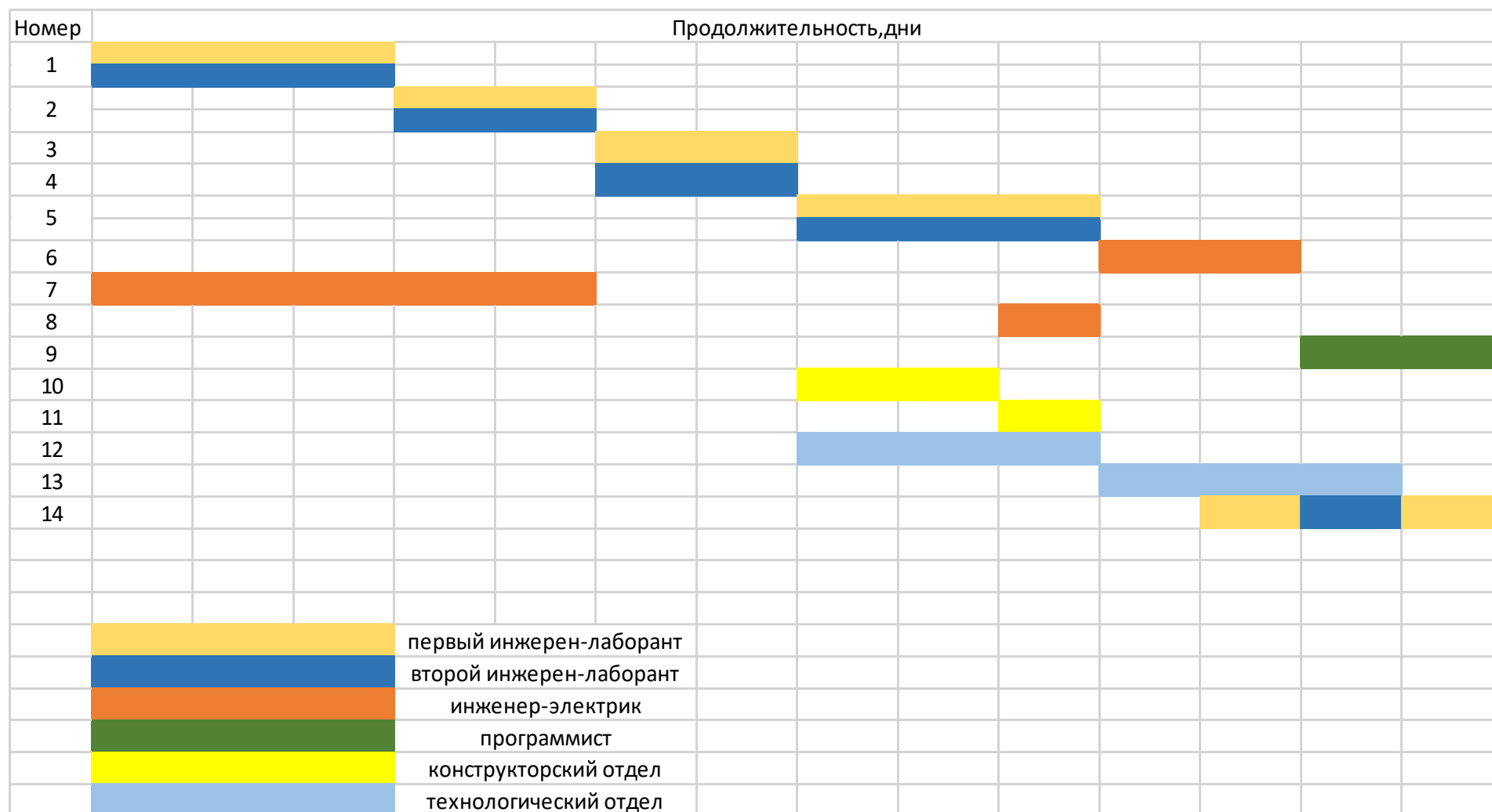
После заполнения таблицы 4.6 строим календарный план-график (таблица 4.7).

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 4.7).

Таблица 4.6 – Временные показатели проведения научного исследования

| Название работы                              | Трудоёмкость работ     |       |       |                        |       |       |                        |       |       | Исполнители  |       |       | Длительность работ<br>в рабочих днях $T_{pi}$ |       |       | Длительность<br>работ в<br>календарных днях<br>$T_{ki}$ |       |       |
|----------------------------------------------|------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|--------------|-------|-------|-----------------------------------------------|-------|-------|---------------------------------------------------------|-------|-------|
|                                              | $t_{min}$ ,<br>чел-дни |       |       | $t_{max}$ ,<br>чел-дни |       |       | $t_{oji}$ ,<br>чел-дни |       |       |              |       |       |                                               |       |       |                                                         |       |       |
|                                              | Исп.1                  | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1                  | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1                  | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1        | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1                                         | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1                                                   | Исп.2 | Исп.3 |
| Составление и<br>утверждение темы<br>проекта | 1                      | 1     | 1     | 3                      | 3     | 3     | 1,8                    | 1,8   | 1,8   | Руководитель |       |       | 2                                             | 2     | 2     | 3                                                       | 3     | 3     |
| Анализ актуальности<br>темы                  | 1                      | 1     | 1     | 3                      | 3     | 3     | 1,8                    | 1,8   | 1,8   | Рук.-студ.   |       |       | 1                                             | 1     | 1     | 2                                                       | 2     | 2     |
| Поиск и изучение<br>материала по теме        | 1                      | 1     | 1     | 5                      | 5     | 5     | 2,6                    | 2,6   | 2,6   | Студ.-рук.   |       |       | 1                                             | 1     | 1     | 2                                                       | 2     | 2     |
| Выбор направления<br>исследований            | 1                      | 2     | 2     | 3                      | 4     | 4     | 1,4                    | 2,8   | 2,8   | Руководитель |       |       | 1                                             | 2     | 2     | 2                                                       | 3     | 3     |
| Календарное<br>планирование работ            | 1                      | 1     | 1     | 3                      | 3     | 3     | 1,8                    | 1,8   | 1,8   | Руководитель |       |       | 2                                             | 2     | 2     | 3                                                       | 3     | 3     |
| Изучение литературы<br>по теме               | 7                      | 7     | 7     | 14                     | 14    | 14    | 9,8                    | 9,8   | 9,8   | Студент      |       |       | 10                                            | 10    | 10    | 15                                                      | 15    | 15    |
| Подбор нормативных<br>документов             | 5                      | 6     | 6     | 8                      | 9     | 9     | 6,2                    | 7,2   | 7,2   | Студ.-рук.   |       |       | 3                                             | 4     | 4     | 5                                                       | 6     | 6     |
| Изучение результатов                         | 1                      | 2     | 2     | 2                      | 3     | 3     | 1,4                    | 3     | 3     | Студент      |       |       | 2                                             | 3     | 3     | 3                                                       | 5     | 5     |
| Проведение расчетов<br>по теме               | 5                      | 6     | 6     | 8                      | 9     | 9     | 6,2                    | 7,2   | 7,2   | Студент      |       |       | 7                                             | 8     | 8     | 10                                                      | 11    | 11    |
| Анализ результатов                           | 1                      | 1     | 1     | 4                      | 4     | 4     | 2,2                    | 2,2   | 2,2   | Студ.-рук.   |       |       | 2                                             | 2     | 2     | 3                                                       | 3     | 3     |
| Вывод по цели                                | 1                      | 1     | 1     | 4                      | 4     | 4     | 2,2                    | 2,2   | 2,2   | Студент      |       |       | 3                                             | 3     | 3     | 4                                                       | 4     | 4     |

Таблица 4.7 – Календарный план-график проведения ВКР по теме



#### 4.5.4 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (7)$$

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

$N_{расхi}$  – 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.

Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов (таблица 4.8).

Таблица 4.8 – Материальный затраты

| Наименование          | Единица измерения | Количество |        |        | Цена за ед., руб. |        |        | Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), руб. |        |        |
|-----------------------|-------------------|------------|--------|--------|-------------------|--------|--------|-----------------------------------------------|--------|--------|
|                       |                   | Исп. 1     | Исп. 2 | Исп. 3 | Исп. 1            | Исп. 2 | Исп. 3 | Исп. 1                                        | Исп. 2 | Исп. 3 |
| Бумага                | лист              | 150        | 100    | 130    | 2                 | 2      | 2      | 345                                           | 230    | 169    |
| Картридж для принтера | шт.               | 1          | 1      | 1      | 1000              | 1000   | 1000   | 1150                                          | 1150   | 1150   |
| Интернет              | М/бит (пакет)     | 1          | 1      | 1      | 350               | 350    | 350    | 402,5                                         | 402,5  | 402,5  |
| Св-ая пр-ка           | кг.               | 0,5        | 0,5    | 0,5    | 80                | 80     | 80     | 63                                            | 63     | 63     |
| ПГ,СГ,ЗГ              | лит.              | 1          | 1      | 1      | 12                | 12     | 12     | 18                                            | 18     | 18     |
| Итого                 |                   |            |        |        |                   |        |        | 1980                                          | 1865   | 1805   |

#### 4.5.5 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчёт основной заработной платы представлен в таблице 4.9.

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 4.9.

Проведем расчет заработной платы относительно того времени, в течение которого работал руководитель и студент. Принимая во внимание, что за час работы руководитель получает 450 рублей, а студент 100 рублей (рабочий день 8 часов).

$$Z_{\text{зн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (8)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $Z_{\text{осн}}$ ).

Максимальная основная заработная плата руководителя (кандидата технических наук) равна примерно 50400 рублей, а студента 31000 рублей.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (9)$$

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

Таким образом, заработная плата руководителя равна 48384 рублей, студента – 28000 рублей.

Таблица 4.9 – Расчет основной заработной платы

| Наименован<br>ие этапов               | Исполн<br>и-тели<br>по<br>категор<br>и-ям | Трудоемкость, чел.-<br>дн. |       |       | Заработная<br>плата, приходящаяся<br>на один чел.-дн., тыс.<br>руб. |       |       | Всего заработная<br>плата по тарифу<br>(окладам), тыс. руб. |       |       |
|---------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------|-------|-------|---------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------------------------------------------------------------|-------|-------|
|                                       |                                           | Исп.1                      | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1                                                               | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1                                                       | Исп.2 | Исп.3 |
| Составление<br>и<br>утверждение       | Руковод<br>и-тель                         | 2                          | 2     | 2     | 3,6                                                                 |       |       | 8                                                           | 8     | 8     |
| Анализ<br>актуальности<br>темы        | Студ.-<br>рук.                            | 1                          | 1     | 1     | 4,4                                                                 |       |       | 5                                                           | 5     | 5     |
| Поиск и<br>изучение                   | Студ.-<br>рук.                            | 1                          | 1     | 1     | 4,4                                                                 |       |       | 5                                                           | 5     | 5     |
| Выбор<br>направления<br>исследовани   | Руковод<br>и-тель                         | 1                          | 2     | 2     | 3,6                                                                 |       |       | 4                                                           | 8     | 8     |
| Календарное<br>планировани<br>е работ | Руковод<br>и-тель                         | 2                          | 2     | 2     | 3,6                                                                 |       |       | 8                                                           | 8     | 8     |
| Изучение<br>литературы<br>по теме     | Студент                                   | 10                         | 10    | 10    | 0,8                                                                 |       |       | 8,9                                                         | 8,9   | 8,9   |
| Подбор<br>нормативных<br>документов   | Студ.-<br>рук.                            | 3                          | 4     | 4     | 4,4                                                                 |       |       | 14,8                                                        | 19,7  | 19,7  |
| Изучение<br>установки                 | Студент                                   | 4                          | 6     | 6     | 0,8                                                                 |       |       | 3,6                                                         | 5,4   | 5,4   |
| Модернизац<br>ия установки            | Студент                                   | 2                          | 3     | 4     | 0,8                                                                 |       |       | 1,8                                                         | 2,7   | 3,6   |
| Анализ<br>результатов                 | Студ.-<br>рук.                            | 2                          | 2     | 2     | 4,4                                                                 |       |       | 9,8                                                         | 9,8   | 9,8   |
| Вывод по<br>цели                      | Студент                                   | 3                          | 3     | 3     | 0,8                                                                 |       |       | 2,7                                                         | 2,7   | 2,7   |
| Итого:                                |                                           |                            |       |       |                                                                     |       |       | 71,6                                                        | 83,2  | 84,1  |

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = \kappa_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (10)$$

где:  $\kappa_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.) .

На 2019 г. в соответствии с Федеральным законом от 23.04.2018 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 6 части 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2018 году, водится пониженная ставка – 28%. Расчёт отчислений во внебюджетные фонды приведён в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Отчисления во внебюджетные фонды

| Исполнитель                                     | Основная заработная плата, руб |       |       | Дополнительная заработная плата, руб |       |       |
|-------------------------------------------------|--------------------------------|-------|-------|--------------------------------------|-------|-------|
|                                                 | Исп.1                          | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1                                | Исп.2 | Исп.3 |
| Руководитель                                    | 43200                          | 50400 | 50400 | 5184                                 | 6048  | 6048  |
| Студент                                         | 25000                          | 30000 | 31000 | 3000                                 | 3600  | 3720  |
| Коэффициент отчислений<br>во внебюджетные фонды | 0,28                           |       |       |                                      |       |       |
| Итого                                           |                                |       |       |                                      |       |       |
| Исполнение 1                                    | 21388 руб.                     |       |       |                                      |       |       |
| Исполнение 2                                    | 25213 руб.                     |       |       |                                      |       |       |
| Исполнение 3                                    | 25527 руб.                     |       |       |                                      |       |       |

#### 4.5.7 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$З_{накл} = (\sum статеи) \cdot \kappa_{нр}, \quad (11)$$

где  $\kappa_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. Таким образом, наибольшие накладные расходы при первом исполнении равны:  $Z_{\text{накл}} = 99752 \cdot 0,16 = 15960,32$  руб.

#### **4.5.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта**

Таблица 4.11 – Расчет бюджета затрат НТИ

| Наименование статьи                                             | Сумма, руб. |           |        | Примечание            |
|-----------------------------------------------------------------|-------------|-----------|--------|-----------------------|
|                                                                 | Исп.1       | Исп.2     | Исп.3  |                       |
| 1. Материальные затраты НТИ                                     | 1980        | 1865      | 1805   | Пункт 4.5.4           |
| 2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы       | 68200       | 80400     | 81400  | Пункт 4.5.6, табл. 12 |
| 3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы | 8184        | 9648      | 9768   | Пункт 4.5.6, табл. 12 |
| 4. Отчисления во внебюджетные фонды                             | 21388       | 25213     | 25527  | Пункт 4.5.6, табл. 12 |
| 5. Накладные расходы                                            | 15960,32    | 18740,16  | 18960  | 16 % от суммы ст. 1-4 |
| 6. Бюджет затрат НТИ                                            | 115712,32   | 135866,16 | 137460 | Сумма ст. 1-5         |

#### **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:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (12)$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

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

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно- исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп1}} = \frac{115712,32}{137460} = 0,84; \quad I_{\text{финр}}^{\text{исп2}} = \frac{135866,16}{137460} = 0,99;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп3}} = \frac{137460}{137460} = 1.$$

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

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i, \quad (13)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a^i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (таблица 4.12).

$$I_{\text{р-исп1}} = 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,35 = 4,5;$$

$$I_{\text{р-исп2}} = 3 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,35 = 3,15;$$

$$I_{\text{р-исп3}} = 4 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,35 = 3,8;$$

Таблица 4.12 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

| Критерий                       | Весовой коэффициент параметра | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 |
|--------------------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|
| 1. Сварочный материал          | 0,25                          | 5     | 3     | 4     |
| 2. Удобство в эксплуатации     | 0,25                          | 5     | 2     | 3     |
| 3. ПГ,СГ,ЗГ                    | 0,15                          | 4     | 4     | 4     |
| 4. Модернизация способа сварки | 0,35                          | 4     | 5     | 5     |
| ИТОГО                          | 1                             | 4,5   | 3,15  | 3,8   |

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{исп.i.}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i.} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}}, \quad (14)$$

$$I_{исп1} = \frac{4,5}{0,84} = 5,35; I_{исп2} = \frac{3,15}{0,99} = 3,18; I_{исп3} = \frac{3,8}{1} = 3,8.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см. табл. 4.13) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{ср}$ ):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп i}}{I_{исп max}} \quad (15)$$

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Таблица 4.13 – Сравнительная эффективность разработки

| № п/п | Показатели                                              | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 |
|-------|---------------------------------------------------------|-------|-------|-------|
| 1     | Интегральный финансовый показатель разработки           | 0,84  | 0,99  | 1     |
| 2     | Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки | 4,5   | 3,15  | 3,8   |
| 3     | Интегральный показатель эффективности                   | 5,35  | 3,18  | 3,8   |
| 4     | Сравнительная эффективность вариантов исполнения        | 1     | 0,6   | 0,71  |

## **Определения, сокращения и нормативные ссылки**

В настоящей работе применены следующие термины с соответствующими определениями.

WAAM – специализированный способ наращивания металла, при котором источником тепла является электрическая дуга.

Сварочная ванна – часть металла свариваемого шва, находящаяся при сварке плавлением в жидком состоянии.

Критическая масса – масса сварочной ванны, при которой расплавленный металл не стекает.

Импульсное питание – подача импульсов с высокой величиной тока и частотой.

В данной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. СН 2.2.4/2.1.8.562–96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы»
2. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства и методы защиты от шума. Классификация»
3. ГОСТ 12.1.012–2004 ССБТ «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования»
4. ГОСТ 12.1.045–84 ССБТ «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля»
5. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий" (с изменениями на 15 марта 2010 года)»
6. СанПиН 2.2.4.548–96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»
7. СН 2.2.4/2.1.8.566–96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы»
8. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*»

9. СанПиН 2.2.2.540-96 «Гигиенические требования к ручным инструментам и организации работ»

10. ГОСТ 12.1.005–88 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1)»

11. ГОСТ 12.1.035–81 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование для дуговой и контактной электросварки. Допустимые уровни шума и методы измерений»

12. СНиП 23-05-2010 «Естественное и искусственное освещение (с Изменением N 1)»

13. ГОСТ Р 12.1.019-2009 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»

14. Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110 (с изменениями от 24.12. 2014)

15. Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681

16. ГОСТ 12.3.003-86 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Работы электросварочные. Требования безопасности (с Изменением N 1)»

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| Группа | ФИО                                |
|--------|------------------------------------|
| 1В51   | Болтрушевич Александру Евгеньевичу |

| Школа               | ИШНКБ       | Отделение (НОЦ)           | Электронной инженерии        |
|---------------------|-------------|---------------------------|------------------------------|
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/специальность | 15.03.01<br>«Машиностроение» |

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

|                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения | Разработка способа для автоматической дуговой орбитальной сварки в импульсном режиме в среде защитного газа аргона. Данная разработка является методом повышения эффективности процесса сварки неплавящимся электродом. |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

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

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1. Производственная безопасность</b><br>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:<br>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: | – Повышенный уровень шума на рабочем месте;<br>– Повышенная температура или влажность воздуха помещения;<br>– Повышенный уровень вибрации;<br>– Недостаточная освещённость рабочей зоны;<br>– Наличие открытых токопроводящих элементов, находящихся под напряжением;<br>– Повышенная температура поверхностей оборудования. |
| <b>2. Экологическая безопасность:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                   | Воздействие на окружающую среду сводится к минимуму, за счет отсутствия загрязняющих веществ.                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>                                                                                                                                                                                                                                                        | – Возможные ЧС: пожар, природное бедствие;<br>– Наиболее типичным ЧС является пожар;<br>– Одной из причин возникновения пожара является нахождение в рабочей зоне баллона под давлением;<br>– При ЧС выполнять предписания плана эвакуации.                                                                                  |
| <b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>                                                                                                                                                                                                                                  | – Правовые нормы трудового законодательства;<br>– Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.                                                                                                                                                                                                                   |

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО        | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------|------------------------|---------|------|
| Профессор | Панин В.Ф. | д.т.н., профессор      |         |      |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО                              | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------------|---------|------|
| 1В51   | Болтрушевич Александр Евгеньевич |         |      |

## 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

### 5.1 Введение

Объект исследования является разработка процесса наплавки дугой горячей в динамическом режиме. Данная разработка является разработкой процесса для послойного наращивания металла.

В данном разделе была задача исследовать вредные и опасные факторы на человека и окружающую среду, разработать мероприятия по предотвращению данных факторов.

При эксплуатации данного способа сварки и предлагаемого процесса на работающих действуют следующие опасные и вредные факторы:

- чрезмерная запыленность и загазованность воздуха в результате конденсации паров расплавленного металла, защитного газа и покрытия электродов при аргонодуговой сварке и т.п.;

- повышенная температура поверхностей оборудования, материалов и воздуха в рабочей зоне (РЗ), особенно при сварке с подогревом изделий; рабочая зона – пространство высотой 2 м над уровнем пола или площадки, где находятся рабочие места. Действие лучистого потока теплоты не ограничивается изменениями, происходящими на облучаемом участке тела, на облучение реагирует весь организм. Под влиянием облучения в организме происходят биохимические сдвиги, наступают нарушения деятельности сердечно - сосудистой и нервной систем.

- излишняя яркость при сварке, ультрафиолетовая и инфракрасная радиация;

- влияние шума (см. средства защиты от шума) и вибраций имеет место при работе различного оборудования (вентиляторов, сварочных трансформаторов и др.);

- нервно-психические перегрузки из-за напряженности труда в связи с полуавтоматическим способом сварки. Воздействие опасных

производственных факторов может привести к травме или внезапному резкому ухудшению здоровья. Это действие электрического тока, искры и брызги расплавленного металла, движущиеся машины, механизмы, превышение нормы газа аргона в воздухе и т.д. Наличие расплавленного металла, находящиеся баллон под давлением увеличивает опасность возникновения пожара.

## 5.2 Производственная безопасность

Опасные и вредные факторы при эксплуатации процесса сварки приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Опасные и вредные факторы при эксплуатации процесса сварки дугой, горящей в динамическом режиме

| Источник фактора, наименование видов работ                                                                              | Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                   | Нормативные документы                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                         | Вредные                                                                                                                                                       | Опасные                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                              |
| Проведение сварочных работ:<br>1) Сварка трубных заготовок;<br>2) Проведение ремонтных работ по заварке дефектных мест. | 1. Отклонение показателей микроклимата в производственных помещениях;<br>2. Превышение уровня шума и вибрации;<br>3. Недостаточная освещенность рабочей зоны. | 1. Движущиеся машины и механизмы; незащищенные подвижные элементы производственного оборудования, брызги расплавленного металла.<br>2. Электрический ток;<br>3. Находящиеся баллон под давлением. | СН 2.2.4/2.1.8.562-96, ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ, ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ, ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ, СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03, СанПиН 2.2.4.548-96, СН 2.2.4/2.1.8.566-96, СП 52.13330.2016, СанПиН 2.2.2.540-96. |

### 5.2.1 Отклонение показателей микроклимата

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-часовой рабочей смены, не вызывают отклонений в состоянии здоровья и создают предпосылки для высокой работоспособности.

Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны должны соответствовать ГОСТ 12.1.005–88. Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений (по ГОСТ 12.1.005–88)

| Период<br>года | Температура, °С                   |                                 |          |        |          | Относительная<br>влажность, % |                      | Скорость<br>движения  |                      |
|----------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------|--------|----------|-------------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
|                | Оптимал<br>ная<br>температ<br>ура | Допустимая на рабочих<br>местах |          |        |          | Оптимальная                   | Допустимая, не более | Оптимальная, не более | Допустимая, не более |
|                |                                   | Верхняя                         |          | Нижняя |          |                               |                      |                       |                      |
|                |                                   | Пост.                           | Не пост. | Пост.  | Не пост. |                               |                      |                       |                      |
| Холодный       | 22-24                             | 25                              | 26       | 21     | 18       | 40-60                         | 75                   | 0,1                   | 0,1                  |
| Теплый         | 23-25                             | 28                              | 30       | 22     | 20       | 40-60                         | 70                   | 0,1                   | 0,1                  |

Микроклимат производственных помещений поддерживается на оптимальном уровне системой водяного центрального отопления,

естественной вентиляцией, а также искусственным кондиционированием и дополнительным прогревом в холодное время года.

### **5.2.2 Уровень шума на рабочем месте**

Шум является общебиологическим раздражителем и в определенных условиях может влиять на органы и системы организма человека. Шум ухудшает точность выполнения рабочих операций, затрудняет прием и восприятие информации. Длительное воздействие шума большой интенсивности приводит к патологическому состоянию организма, к его утомлению. Интенсивный шум вызывает изменения сердечно-сосудистой системы, сопровождаемые нарушением тонуса и ритма сердечных сокращений, изменяется артериальное кровяное давление.

Методы установления предельно допустимых шумовых характеристик оборудования для сварки изложены в ГОСТ 12.1.035–81. 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 – электродвигатели в системе охлаждения. Для рабочих помещений административно-управленческого персонала производственных предприятий, лабораторий, помещений для измерительных и аналитических работ уровень звука не должен превышать 50 дБА, СН 2.2.4/2.1.8.562-96.

Уменьшение влияния данного фактора возможно путём:

- 1) Изоляции источников шумов;
- 2) Проведение акустической обработки помещения;
- 3) Создание дополнительных ДВП или ДСП изоляционных перегородок;

### 5.2.3 Освещенность рабочей зоны

Рациональное освещение имеет большое значение для высокопроизводительной и безопасной работы. Нормирование значений освещенности рабочей поверхности при сварочных работах помещения составляет 200 лк (СНиП 23-05-2010).

Различают естественное и искусственное освещение.

Естественное – обуславливают световым потоком прямых солнечных лучей и диффузионным световым потоком прямых солнечных лучей, и диффузионным светом неба, т.е. многократным отражением солнечных лучей от мельчайших взвешенных в атмосфере частиц пыли и воды.

В зависимости от напряжения зрительного аппарата при выполнении работы освещенность на предприятиях делят на восемь разрядов - от наивысшей точности до общего наблюдения за ходом производственного процесса (таблица 5.3).

Согласно СНиП 23-05-2010 значение коэффициента естественной освещенности (КЕО) в производственных цехах с комбинированным освещением для общего наблюдения за ходом производственного процесса составляет 0,2.

Искусственное освещение осуществляется светильниками общего и местного освещения. Светильник состоит из источника искусственного освещения (лампы) и осветительной арматуры. Основными источниками искусственного освещения являются лампы накаливания и люминесцентные лампы.

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

Таблица 5.3 – нормируемые значения КЕО (по СНиП 23-05-2010)

| Характеристика выполняемой зрительной работы                     | Наименьший размер объекта различения, мм | Разряд зрительной работы | Значение КЕО в при совместном освещении, % |         |
|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------|---------|
|                                                                  |                                          |                          | верхнем и комбинированном                  | боковом |
| Наивысшей точности                                               | Менее 0,15                               | I                        | 6                                          | 2       |
| Очень высокой точности                                           | 0,15 ... 0,30                            | II                       | 4,2                                        | 1,5     |
| Высокой точности                                                 | 0,3 ... 0,5                              | III                      | 3                                          | 1,2     |
| Средней точности                                                 | от 0,5 до 1,0                            | IV                       | 2,4                                        | 0,9     |
| Малой точности                                                   | от 1 до 5                                | V                        | 1,8                                        | 0,6     |
| «Грубая работа»                                                  | Более 5                                  | VI                       | 1,8                                        | 0,6     |
| Работа с самосветящимися материалами и изделиями в горячих цехах |                                          | VII                      | 1,8                                        | 0,6     |
| Общие наблюдения за ходом производственного процесса:            |                                          | VIII                     | 1,8                                        | 0,6     |
| периодическое при постоянном пребывании людей в помещении        | -                                        | VIIIa                    | 0,7                                        | 0,2     |
| периодическое при периодическом пребывании людей в помещении     |                                          | VIIIб                    | 0,5                                        | 0,2     |
| Общее наблюдение за инженерными коммуникациями                   |                                          | VIIIв                    | 0,2                                        | 0,1     |

Недостаточная освещенность может быть вызвана 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 человека технологического процесса, его утомления, а также вызвать пульсирующие головные боли.

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.

#### **5.2.4 Электрический ток**

Все оборудование должно быть выполнено в соответствии с требованиями ГОСТ Р 12.1.019-2009.

Основными причинами поражения электрическим током могут послужить следующие факторы: прикосновение к токоведущим частям или прикосновение к конструктивным частям, оказавшимся под напряжением. 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;
- при включении установки следует позаботиться, чтобы руки не были влажными.

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.

#### **5.2.5 Движущиеся часть установки для сварки неплавящимся электродом**

Источником возникновения аварий, связанных с телесными повреждениями и материальным ущербом при работе с установкой, являются подвижная часть машины.

Аварии происходят, прежде всего, во время ручного устранения нарушений производственного процесса. Тем не менее, люди могут оказаться на пути движения машин и механизмов при выполнении других заданий, таких как:

- чистка,
- регулировка,
- переналадка вылета электродов,
- контроль,

– ремонт.

Наиболее распространенной, принимаемой в этой связи с целью повышения личной безопасности, является защита человека от опасных движений машины с помощью некоторых видов устройств безопасности, таких как защитные ограждения машин, за исключением частей, ограждение которых не допускается функциональным их назначением. Внутренние движущиеся детали таких машин должны быть недоступны для прикосновения, а наружные движущиеся детали не должны иметь острых выступов, острые кромки должны быть притуплены.

Утечка аргона из баллона может способствовать наступлению смерти от удушения. Это может быть связано значительным снижением в воздухе объема кислорода в замкнутом пространстве. Если объем аргона в воздухе будет превышать 70% (P3), то человек может подвергнуться, так называемому, наркозу. В связи с тем, что этот газ тяжелее воздуха, это может привести к накоплению его в помещениях, которые трудно проветривать. Если требуется проводить работы в среде с аргоном, то в этом случае рекомендуется использовать противогазы и изолирующие приборы, проветривать помещение.

### **5.3 Экологическая безопасность**

Охрана окружающей среды – это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения – это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства. Охрану природы можно представить, как комплекс государственных, международных и общественных мероприятий, направленных на рациональное использование природы, восстановление, улучшение и охрану природных ресурсов.

Работа в производственных помещениях сопряжена с образованием и выделением газообразных, жидких и твердых отходов.

Газообразные отходы, загрязняющие воздух помещения: естественные выделения - углекислый газ, пары воды, летучие органические соединения - ЛОС (альдегиды, кетоны), азотистые соединения и др. органов дыхания человека; бытовая пыль; аргон, гелий и другие защитные газы, применяющиеся при сварке неплавящимся вольфрамовым электродом. Перед выбросом воздух помещений подвергается обязательной очистке в фильтровентиляционных системах, что предотвращает атмосферу от загрязнения. Жидкие отходы - бытовые отходы, образующиеся в процессах влажной уборки помещений, при пользовании водопроводом, туалетом и т.п., сбрасываются в городскую канализацию и далее поступают в системы централизованной очистки на городских очистных сооружениях.

При обращении с твердыми отходами (огарки вольфрамового электрода) в ходе их непригодности выкидывались в контейнер. Бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов, пищевые отходы); отработанные люминесцентные лампы; офисная техника, комплектующие и запчасти, утратившие в результате износа потребительские свойства – надлежит руководствоваться Постановлением Администрации г. Томска от 11.11.2009 г. №1110 (с изменениями от 24.12.2014): бытовой мусор после предварительной сортировки складировать в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах. Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Ртуть люминесцентных ламп способна к активной воздушной и водной миграции. Интоксикация возможна только в случае разгерметизации колбы, поэтому

основным требованием экологической безопасности является сохранность целостности отработанных ртутьсодержащих ламп. Отработанные газоразрядные лампы помещают в защитную упаковку, предотвращающую повреждение стеклянной колбы, и передают специализированной организации для обезвреживания и переработки. В случае боя ртутьсодержащих ламп осколки собирают щеткой или скребком в герметичный металлический контейнер с плотно закрывающейся крышкой, заполненный раствором марганцевокислого калия. Поверхности, загрязненные боем лампы, необходимо обработать раствором марганцевокислого калия и смыть водой. Контейнер и его внутренняя поверхность должны быть изготовлены из неадсорбирующего ртуть материала (винипласта).

#### **5.4 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.

При написании дипломного проекта была выявлена возможная ЧС, это пожар, аргон – вещество негорючее, но при нагревании происходит повышение давления, что может привести к взрыву.

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.

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. Проверять уровень нормы газа аргона в помещении, проветривать помещение.
4. В случае возникновения пожара приступить к его тушению имеющимися средствами, эвакуироваться и вызвать по телефону «01», сотовый «010» пожарную службу.
5. 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). Осуществляется дистанционный контроль количества кислорода в окружающем воздухе с помощью автоматических или ручных приборов. Согласно нормам, в воздухе должно присутствовать не меньше 19 % кислорода.

## **5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

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 машин для сварки, организации рабочих мест и к производственным помещениям – в соответствии с ГОСТ 12.3.003-86.

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

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

- Рабочие места электросварщиков должны ограждаться переносными или стационарными светонепроницаемыми ограждениями (щитами, ширмами и экранами) из несгораемого материала, высота которых должна обеспечивать надежность защиты;
- Ширина проходов с каждой стороны рабочего стола и стеллажа должна быть не менее 1 м;
- Ширина проходов между установками должна быть: при расположении рабочих мест друг против друга для точечных и шовных машин - 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;

- При установке однопостового источника питания у стены расстояние от стены до источника должно быть не менее 0,5 м;
- Открытые траектории в зоне возможного нахождения человека должны располагаться значительно выше уровня глаз. Минимальная высоты траектории 2.2.м;
- Рабочее место обслуживающего персонала, взаимное расположение всех элементов (органов управления, средств отображения информации, оповещения и др.) 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.

## **Заключение**

В ходе выполнения бакалаврской работы разработан процесс аддитивной наплавки изделия неплавящимся электродом с присадочной проволокой в среде аргона. Рассмотрев вопрос катодной струи на структуру анода, был подобран импульсный режим питания дуги, обеспечивающий стабильность и постоянство формирования валика наплавки. Применён блок автоматического управления напряжением дуги. Это в свою очередь обеспечивает своевременное поднятие головки при прохождении слоя.

Экспериментальная проверка показала соответствие первоначальных представлений о процессе наплавки: поведением сварочной ванны, форме наплавки и работы АРНД. Установлено что высота поднятия сварочной головки от слоя к слою имеет то же значение, что и высота предыдущего слоя. За всё время экспериментов не было установлено проплавления сварочной ванны, что свидетельствует о надёжности работы элементов и узлов установки.

Результаты работы в полной мере показывают необходимость продолжения исследований по данной теме, так как совершенствование технологии аддитивной наплавки в последствии может найти применение для массового производства изделий в промышленных масштабах.

Внедрение разработанной технологии в производство возможно после проведения опытов и различных видов контроля.

## Список использованных источников

1. Зленко М.А., Нагайцев М.В. Аддитивные технологии в машиностроении. – М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.
2. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н. Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. Пособие для вузов. – М.: МГТУ, 2006. – 664с.
3. Безобразов Ю.А., Зотов О.Г. Анализ структуры образцов, полученных DMLS и SLM-методами быстрого прототипирования // 6-я Международная молодежная научно-практическая конференция «Инновационные технологии в металлургии и машиностроении». – Екатеринбург: Урал. – 2012. – С. 154-157.
4. Тимирязев В.А., Использование аддитивных технологий для изготовления деталей машин // Машиностроение. – 2018. – №11. – С. 136-144.
5. Безобразов Ю.А. Анализ структуры образцов, полученных DLMS и SLM методами быстрого прототипирования // Машиностроение. – 2018. – №11. – С. 154-157.
6. Шоек П.А. Исследование баланса энергии на аноде сильноточных дуг, горящих в атмосфере аргона // Современные проблемы теплообмена. – М.: Энергия. – 1966. – С. 110–139.
7. Ленивкин В.А., Дюргеров Н.Г. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах. – М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.
8. Князьков А.Ф., Веревкин А.В., Князьков С.А. Особенности удержания сварочной ванны в положениях отличных от нижнего. // IV Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы машиностроения» г. Томск Изд-во ТПУ, – 2008. – С. 323–328.

9. Князьков В.Л., Княльков А.Ф. Повышение эффективности ручной дуговой сварки трубопроводов. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет, 2008. – 103 с.
10. Барабохин Н.С., Шиганов Н.В. Газодинамическое давление открытой импульсной дуги. // Сварочное производство. – 1976. – №2. – С. 4-6.
11. . Столпнер Е.А., Славин Г.А. Методика определения динамического давления импульсной дуги. // Сварочное производство. – 1971. – №9. – С. 8-10.
12. Данилов В.А., Чернышов Г.Г. О механизме воздействия импульса тока на ванну. // Сварочное производство. – 1974. – №4. – С. 54-56.
13. Барабохин Н.С., Шиганов Н.В. Газодинамическое давление открытой импульсной дуги. // Сварочное производство. – 1976. – №2. – С. 4-6.