

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

---

Институт **Энергетический (ЭНИН)**

Направление подготовки **13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника**

Кафедра **Электроснабжение промышленных предприятий (ЭПП)**

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

| Тема работы                                                      |
|------------------------------------------------------------------|
| Оптимизация системы электропитания магнитоплазменного ускорителя |

УДК 621.311.6.:621.384.647

Студент

| Группа | ФИО                         | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 5AM4E  | Сикоев Александр Эдуардович |         |      |

Руководитель

| Должность | ФИО          | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Профессор | Сивков А. А. | д.т.н., с.н.с.            |         |      |

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность                        | ФИО          | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|----------------------------------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Ассистент кафедры<br>менеджмента | Грахова Е.А. |                           |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность                                                         | ФИО             | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент кафедры<br>экологии и<br>безопасности<br>жизнедеятельности | Дашковский А.Г. | к.т.н.                    |         |      |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Зав. кафедрой                                   | ФИО           | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-------------------------------------------------|---------------|---------------------------|---------|------|
| Электроснабжение<br>промышленных<br>предприятий | Завьялов В.М. | д.т.н.                    |         |      |

Томск – 2016 г.

## ЗАПЛАНИРОВАННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ПРОГРАММЕ

| Код<br>результата                   | Результат обучения<br>(выпускник должен быть готов)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Профессиональные компетенции</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| P1                                  | Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.                                                                                                                                                              |
| P2                                  | Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.                                                                                                                                                  |
| P3                                  | Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.                                                                                                            |
| P4                                  | Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.                                                                                                                                                                                                                          |
| P5                                  | Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.                                                                                                |
| P6                                  | Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.                                                                                                                                                                                                                                                             |
| P7                                  | Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.                                                                                                                                                                                         |
| P8                                  | Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы. |
| <b>Универсальные компетенции</b>    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| P9                                  | Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.                                                                                                      |
| P10                                 | Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.                                                                                                                                                                                                                                                          |
| P11                                 | Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.                                                                                                                                                |
| P12                                 | Использовать представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.                                                                                                                           |

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

---

Институт Энергетический  
Направление подготовки 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника»  
Кафедра Электроснабжение промышленных предприятий

УТВЕРЖДАЮ:  
И.о.зав. кафедрой ЭПП  
\_\_\_\_\_  
(Подпись)      (Дата)      Завьялов В.М.  
(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

|                          |
|--------------------------|
| магистерской диссертации |
|--------------------------|

Студенту:

| Группа | ФИО                            |
|--------|--------------------------------|
| 5AM4E  | Сикоеву Александру Эдуардовичу |

Тема работы:

|                                                                  |                          |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Оптимизация системы электропитания магнитоплазменного ускорителя |                          |
| Утверждена приказом директора (дата, номер)                      | от 04.02.2016 г. № 764/с |

|                                          |                |
|------------------------------------------|----------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | до 10.06.16 г. |
|------------------------------------------|----------------|

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

|                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Исходные данные к работе</b>                                               | Экспериментальный стенд на основе емкостного накопителя энергии, конструкция коаксиального магнитоплазменного ускорителя                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> | Проведение аналитических исследований литературных данных о методах совмещения контактной пары медь-алюминий; проведение опытов по нанесению меди на алюминиевые контактные элементы при двухимпульсном режиме работы системы; показать возможность и условия реализации процесса оптимизации системы электропитания КМПУ. |
| <b>Перечень графического материала</b>                                        | Презентация                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Раздел</b>                                                                 | <b>Консультант</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Финансовый менеджмент                                                         | Грахова Е.А.                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

|                                                                                         |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Социальная ответственность                                                              | Дашковский А.Г. |
| Иностранный язык                                                                        | Матухин Д.Л.    |
| <b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b> |                 |
| Введение                                                                                |                 |
| Обзор литературы                                                                        |                 |
| Список использованных источников                                                        |                 |

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

**Задание выдал руководитель:**

| Должность | ФИО         | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|-------------|---------------------------|---------|------|
| Профессор | Сивков А.А. | д.т.н., с.н.с.            |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                         | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 5AM4E  | Сикоев Александр Эдуардович |         |      |

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 143 с., 52 рис., 16 табл., 59 источников, 6 прил.

Ключевые слова: коаксиальный магнитоплазменный ускоритель, оптимизация системы электропитания, алюминиевые контактные поверхности, двухимпульсный режим работы, параметры изменения движения плазмы

Объектом исследования является (ются) система на основе коаксиального магнитоплазменного ускорителя в двухимпульсном режиме работы, на примере получения медного покрытия на алюминиевых контактных поверхностях

Цель работы – оптимизации системы электропитания магнитоплазменного ускорителя в двухимпульсном режиме работы

В процессе исследования проводились опыты по получению контактных пар медь-алюминий, анализ и обработка полученных данных

В результате исследования были получены контактные пары медь-алюминий, произведен анализ медного покрытия на алюминиевой контактной поверхности, была достигнута оптимизация системы электропитания магнитоплазменного ускорителя

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: предложено применение двухимпульсного режима работы для получения медного покрытия на алюминиевые поверхности, с помощью установки магнитоплазменного ускорителя

Степень внедрения: технология прошла апробацию в лабораторных условиях, находится в стадии НИОКР

Область применения: контактные пары медь-алюминий, полученные с помощью коаксиального ускорителя, могут быть использованы в качестве контактов электротехнических устройств

Экономическая эффективность/значимость работы В разделе финансовый менеджмент представлены результаты расчета срока окупаемости, согласно которым получение контактных пар медь-алюминий с помощью коаксиального магнитоплазменного ускорителя является быстроокупаемым (2 года) и высокодоходным

В будущем планируется применения многоимпульсных режимов работы для получения медного покрытия на алюминиевых контактных поверхностях

## **ABSTRACT**

Final qualifying work consists of 143 p., 52 fig., 16 tab., 59 sources, 6 adj.

Keywords: coaxial magneto-plasma accelerator, optimization of power system, aluminum contact surfaces, a two-pulse operation mode, parameters change of the plasma motion.

The object of the research is the system based on coaxial magneto-plasma accelerator (CMPA) for preparation copper coating on aluminum contact surfaces.

The purpose of work - optimization of magneto-plasma accelerator power system in the two pulsed mode

During the research experiments were performed to obtain the contact pairs of copper-aluminum, analysis and processing of data

A result of research contact pair copper-aluminum were obtained, analyzes the copper coating on the contact surface of the aluminum, power system magneto-plasma accelerator optimization was achieved

The basic constructive, technological and technical - operational characteristics provides the use of a two-pulse mode of operation for the copper coating on the aluminum surface , by setting the magneto-plasma accelerator

Degree of implementation: the technology tested in laboratory conditions, it is in the step scientific research developmental work

Scope: contact pairs copper-aluminum, received using coaxial accelerator can be used as contact electrotechnical devices

Cost-effectiveness / importance of work: section financial management presented the results of calculation of payback period, according to which the obtaining contact pairs of copper-aluminum using a coaxial magneto-plasma accelerator is a fast payback (2 years) and high-yield

Future plans include application of a lot of pulse modes for copper coating on aluminum contact surfaces

## **ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ**

ХГН – холодное газодинамическое напыление;

КМПУ – коаксиальный магнитоплазменный ускоритель;

УК – ускорительный канал;

ЕНЭ – емкостной накопитель энергии;

Cu-Al – тестовая контактная пара медь-алюминий;

СК – сборный коллектор;

ИР – игнитронный разрядник;

БУИ – блок управления игнитронными разрядниками;

ИТ – импульсные трансформаторы;

ДН – делитель напряжения;

БЗР – Блок зарядных резисторов;

ПК – пункт контроля;

ПУ – пульт управления;

ГИ – генератор импульсов;

КФПС – канал формирования плазменной структуры.

## Оглавление

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....                                                                                                         | 9  |
| 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....                                                                                               | 11 |
| 1.1 Способы нанесения металлических покрытий .....                                                                    | 11 |
| 1.1.1 Химические методы нанесения покрытий .....                                                                      | 12 |
| 1.1.2 Наплавка.....                                                                                                   | 14 |
| 1.1.3 Механические методы нанесения покрытий.....                                                                     | 15 |
| 1.1.4 Методы напыления покрытий .....                                                                                 | 17 |
| 1.2 Биметаллические прокладки .....                                                                                   | 22 |
| 1.3 Токопроводящие смазки.....                                                                                        | 24 |
| 2 УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ КМПУ .....                                                                            | 27 |
| 2.1 Емкостной накопитель энергии .....                                                                                | 27 |
| 2.2. Пульт управления.....                                                                                            | 31 |
| 2.3 Пульт контроля.....                                                                                               | 33 |
| 2.4 Система синхронизации .....                                                                                       | 33 |
| 2.5 Система регистрации .....                                                                                         | 34 |
| 2.6 Высокоскоростная фоторегистрация процессов.....                                                                   | 35 |
| 2.7 Устройство и принцип действия КМПУ .....                                                                          | 36 |
| 2.8 Принцип действия КМПУ .....                                                                                       | 39 |
| 2.9 Методика обработки экспериментальных данных .....                                                                 | 41 |
| 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСКОРИТЕЛЯ НА<br>КАЧЕСТВО ПОЛУЧАЕМЫХ ПОКРЫТИЙ.....                                 | 44 |
| 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И<br>РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....                                            | 70 |
| 4.1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ.....                                                        | 70 |
| 4.2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график<br>проведения, бюджет, риски и организация закупок..... | 77 |
| 4.3. Определение ресурсной, финансовой, экономической<br>эффективности.....                                           | 80 |
| 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....                                                                                    | 89 |
| 5.1 Техногенная безопасность.....                                                                                     | 90 |
| 5.1.1 Ионизирующее рентгеновское излучение.....                                                                       | 91 |

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| 5.1.2 Шум.....                         | 94  |
| 5.1.3 Электромагнитное излучение ..... | 95  |
| 5.1.4 Освещение.....                   | 96  |
| 5.1.5 Психофизические факторы.....     | 100 |
| 5.1.6. Микроклимат.....                | 101 |
| 5.2 Электробезопасность.....           | 102 |
| 5.3 Чрезвычайная ситуация.....         | 103 |
| 5.4 Охрана окружающей среды.....       | 105 |
| Заключение.....                        | 106 |
| Список использованных источников.....  | 107 |
| Приложение А.....                      | 140 |
| Приложение Б.....                      | 141 |

## **ВВЕДЕНИЕ**

Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель (КМПУ) предназначен для генерирования сверхзвуковых струй электроэрозионной плазмы и получения ультрадисперсных твердых материалов, в частности порошков металлов, их карбидов, оксидов и интерметаллидов. КМПУ был разработан в национальном исследовательском Томском политехническом университете (ТПУ) доктором технических наук Сивковым Александром Анатольевичем.

В настоящее время основное назначение ускорителя заключается в получении ультрадисперсных порошков различного фазового стехиометрического состава (карбиды, оксиды, нитриды и интерметаллиды) путем распыления материала гиперскоростной плазменной струи в свободном пространстве. В его функцию также входит получение многофункциональных покрытий и метание макротел [1-2].

Для достижения определенных заданных характеристик покрытий и порошков требуемого состава, полученных с помощью КМПУ, необходимо выявить его оптимальные параметры электропитания, что является целью работы.

Для достижения поставленной цели, в работе решались следующие задачи:

1. Проведение аналитических исследований литературных данных о методах совмещения контактной пары медь-алюминий;
2. Проведение опытов по нанесению меди на алюминиевые контактные элементы в двухимпульсном режиме работы системы;
3. Показать возможность и условия реализации процесса оптимизации системы электропитания КМПУ
4. Исследовать параметры изменения движения плазмы после выхода из ускорительного канала и их время.

В работе были проведены опытные исследования для определения параметров электропитания ускорителя в многоимпульсном режиме работы на примере получения медного покрытия на алюминиевых контактных элементах.

# 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Определение параметров электропитания магнитоплазменного ускорителя в многоимпульсном режиме работы, будет проходить на примере получения медного покрытия на алюминиевых контактных элементах.

Решение проблемы совмещения контактной пары медь-алюминий является актуальной задачей. Основные методы решения этой проблемы – использование биметаллических прокладок, применение токопроводящих смазок, нанесение покрытий [1-4]. Каждый из выше представленных способов имеют свои достоинства и недостатки, поэтому далее необходимо рассмотреть эти методы более подробно.

## 1.1 Способы нанесения металлических покрытий

Нанесение металлических покрытий используется для изменения морфологии подложки, химических и физических свойств материала подложки. На сегодняшний день существует огромное количество способов нанесения различных покрытий с заданным функциональным назначением. Каждый метод имеет свои достоинства и недостатки, каждая технология нанесения решает определенные задачи. Стоит отметить, что объединить в общую классификацию эти способы достаточно затруднительно, так как каждый метод по-своему уникален и может быть определен в несколько классов. Однако попытка сгруппировать существующие методы приведена ниже [2]:

- Процесс кондуктивного и диффузионного нанесения покрытий;
- Химический процесс нанесения покрытий;
- Физические методы получения покрытий;
- Капельное напыление;
- Газово-физическое нанесение покрытий.

Существуют три основных этапа формирования покрытия: синтез или создание материала для покрытия; перенос материала от источника к подложке, нанесение на подложку и рост пленок. Каждый метод по-своему уникален и может содержать другие этапы напыления и наоборот исключить какие-либо

стадии [1]. Далее в работе представлены основные используемые методы нанесения покрытий с кратким описанием и сравнением их достоинств и недостатков.

### **1.1.1 Химические методы нанесения покрытий**

В основе данных методов лежит процесс создания на поверхности изделий тонких пленок путем проведения химической реакции с выделением основных компонентов покрытий.

#### **Гальваническое нанесение покрытий**

Гальваническое меднение алюминия или его сплавов является одним из решением проблемы совмещения алюминиевых контактных элементов с медными [7-11]. Для получения качественного медного покрытия на алюминиевых подложках с высокой адгезией и заданными функциональными свойствами необходимо проводить процесс меднения в смеси кислот. Используемая технология позволяет наносить на алюминиевые образцы медные покрытия толщиной порядка 9 мкм с высоким уровнем адгезионной устойчивости.

Стоит отметить, что данный метод относится к одному из самых старых способов, благодаря которому возможно нанесение покрытий практически всех металлов при высокой технологичности процесса [3]. Однако данный метод имеет ряд недостатков - для нанесения качественного медного покрытия требуется около часа, качество покрытия недостаточно хорошее.

#### **Химическое осаждение из газовой фазы (катодное распыление)**

Осаждение проводили на экспериментальной установке, описанной в работе [12]. Метод выполняется следующим образом. Вакуумный объем, который содержит анод и катод, откачивают до давления  $10^{-4}$  Па, далее осуществляется напуск инертного газа (обычно это Ar при давлении 1 – 10 Па). Для того, чтобы осуществить зажигания тлеющего разряда между катодом и анодом подается высокое напряжение 1 – 10 кВ. Положительные ионы инертного газа, источником которого является плазма тлеющего разряда,

ускоряются в электрическом поле и бомбардируют катод, вследствие чего выполняется его распыление. Распыленные атомы попадают на подложку, после чего оседают в виде тонкой пленки. Катод изготавливают из материала, подлежащего распылению.

Достоинства метода катодного распыления заключаются в следующем:

- безынерционность процесса
- относительно низкие температуры процесса
- возможность получения пленок тугоплавких металлов и сплавов (в том числе и многокомпонентных)

- сохранение стехиометрического исходного материала при напылении

- возможность получения равномерных по толщине пленок

Метод имеет недостатки:

- относительно низкая скорость осаждения (0,3-1 нм/с)
- загрязнение пленок рабочим газом вследствие проведения процесса при высоких давлениях
- низкая степень ионизации осаждаемого вещества [12-14].

Магнетронное распыление

Распыление – это выброс атомов путем бомбардировки жидких или твердых заряженных частиц, таких как ионы, на подложку. Магнетронное распыление — технология нанесения тонких плёнок на подложку с помощью магнетрона.

Магнетронное распыление позволяет получать покрытия практически из любых металлов, сплавов и полупроводниковых материалов без нарушения стехиометрического состава [5]. В зависимости от состава рабочей атмосферы (долей кислорода, азота, диоксида углерода, сернистых газообразных соединений) можно получать плёнки оксидов, нитритов, карбидов, сульфитов различных материалов. Скорость конденсации при магнетронном распылении зависит от силы тока разряда или мощности и от давления рабочего газа, что определяет жесткие требования к источникам питания. Для обеспечения

воспроизводимости и стабильности процесса силу тока разряда необходимо поддерживать высокой точности. В качестве рабочей среды при магнетронном распылении используют смесь инертного и реакционных газов. Подбором парциальных давлений компонентов газовой смеси при постоянном общем давлении, поддерживаемом высокой точностью. Это, в свою очередь требует оснащение вакуумных установок насосами, обеспечивающие постоянную скорость откачки в рабочем диапазоне давлений. Состав получаемых соединений (оксидов, карбидов, нитритов) зависит от чистоты применяемых газов и распыляемых материалов, поэтому требуются сложные системы откачки газов и высокочистые материалы для распыления [6].

Преимущества метода:

- напыление материалов любого типа: проводники, полупроводники, углеродосодержащие и керамические материалы;
- широкий интервал скоростей напыления: 0,1 – 100 мкм/час;
- высокое качество и однородность покрытий, в том числе, многокомпонентных и многослойных, как по составу, так и по слоям;
- равноскоростное распыление разнородных материалов из одной мишени мозаичного типа;
- высокая точность конструирования состава мозаичных мишеней и наносимых покрытий;
- низкая себестоимость процесса и получения мишеней;
- экологическая безопасность [5-6].

Основным недостатком метода является сложность системы нанесения покрытия, для которой требуются сложные системы откачки газов.

### **1.1.2 Наплавка**

Наплавкой называется технологический процесс нанесения слоя расплавленного металла на оплавленную поверхность детали или изделия. Нанесенный металл после охлаждения прочно связывается с основным металлом, образуя покрытие [3].

## Достоинства и недостатки технологии наплавки

По сравнению с другими способами обработки поверхности материалов технология наплавки обладает рядом преимуществ:

1. Возможность нанесения покрытия большой толщины за счет практически неограниченного числа наплавляемых слоев (от 0,25 до 5,00 мм и выше, электрошлаковая наплавка до 450 мм).
2. Высокая производительность (при использовании ленточных электродов до 15 – 25 кг/час).
3. Относительная простота конструкции и транспортабельность оборудования, возможность проводить ремонтные работы в полевых условиях.
4. Отсутствие ограничений на размеры ремонтируемых деталей.

Недостатки технологии наплавки связаны с высоким значением погонной энергии, используемой для получения в расплавленном состоянии как материала наплавляемого, так и материала детали. Ниже перечислены недостатки технологии наплавки:

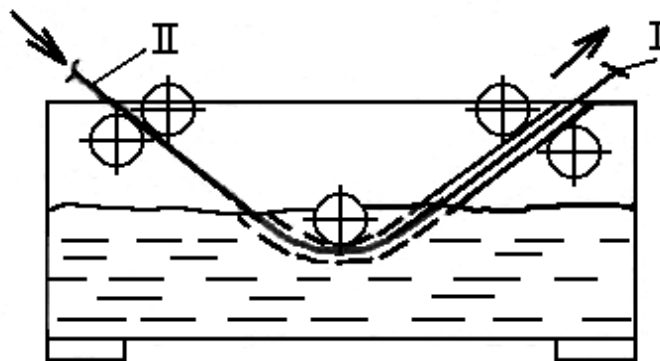
1. Ухудшение свойств наплавленного слоя.
2. Деформация изделия из-за высокого нагрева.
3. Ограниченный выбор сочетаний основного и наплавляемого металла из-за образования в ряде случаев (при плохой свариваемости) хрупкой прослойки интерметаллидов на границе покрытие - основа.
4. Возникновение трудности наплавки на поверхность мелких изделий сложной формы.
5. Нет возможности осуществить наплавку на поверхность тонкостенных деталей.

### 1.1.3 Механические методы нанесения покрытий

К механическим методам относятся: погружение в расплав, плакирование, эмалирование и другие [3]. Для решения данной проблемы метод эмалирования не может быть применен.

#### - Погружение в расплав

В основе данного метода лежит механическое погружение изделия, на которое наносится покрытие, в ванну с расплавленным металлом (рисунок 1.1). После извлечения изделия на его поверхности образуется твердая металлическая пленка требуемого состава.



1 – материал с покрытием; 2 – исходный образец

Рисунок 1.1 – Схема метода нанесения покрытий погружением в расплав

Главным механизмом, контролирующим образование переходной зоны, является диффузия. При погружении изделия в ванну с жидким металлом (после смачивания) в результате диффузии формируются твердые фазы переходной зоны, а после извлечения из расплава на поверхности образуется слой твердого покрытия, соответствующий составу ванны.

Достоинством технологии получения покрытий методом погружения в расплав является высокая производительность, использование агрегатов непрерывного действия (обработка лент, полос, проволоки). К недостаткам можно отнести малое количество материалов покрытия, связанное с ограничением рабочих температур ванны с расплавленным металлом (возможность нанесения алюминия и его сплавов, но медь не может быть использована для получения покрытий данным способом).

#### - Плакированные

Плакированные материалы представляют собой двух- или многослойные материалы, полученные методом плакирования, т.е. различными методами механического соединения. Свойства плакированных материалов могут превосходить свойства отдельных исходных материалов и зависят от

сочетания выбранных материалов основы и покрытия. Можно получить комбинацию свойств в одном изделии: прочность и пластичность, коррозионно- и износостойкость, сочетание физических свойств (электрические, магнитные, тепловые и т.д.) [15].

Прочность сцепления контактирующих металлических слоев зависит от многих факторов. Сперва отметим условия получения физического контакта: развитая топография поверхности с учетом ее тонкой структуры, разрушение оксидных пленок и увеличение площади поверхности сцепления при обработке плакированных материалов давлением.

Важным технологическим параметром при плакировании является температура. При повышении температуры поверхностная энергия и пластичность большинства металлов увеличиваются, а процессы диффузии протекают более интенсивно, благодаря чему достигается более высокая прочность сцепления.

Метод плакирования обеспечивает высокую производительность технологических процессов, высокую адгезию, отсутствует ограничение на толщину соединяемых материалов. Существенным недостатком плакирования является использование его для получения в основном изделий и полуфабрикатов простой формы. А также при использовании данного метода для решения данной проблемы не является производительным, так как увеличивается переходное контактное сопротивление.

#### **1.1.4 Методы напыления покрытий**

Среди других методов нанесения покрытий технологии напыления обладают заметным преимуществом. Во-первых, универсальностью выбора материала покрытий: покрытия металлические, полимерные, керамические, композиционные, покрытия из материалов с низкой и высокой температурой плавления, аморфные покрытия. Согласно приведенной выше классификации все технологии напыления можно разделить на две группы: газотермическое напыление и вакуумно-конденсационное напыление. При этом внутри каждой

группы существует целый ряд методов напыления различающихся источником подводимой энергии, физикой протекающих процессов [3].

Процесс газотермического напыления покрытий представляет сложную совокупность физико-химических механических явлений. Его можно разделить на два основных этапа: формирование двухфазного потока (газовой струи с дисперсными частицами) и самого покрытия [16].

К первому этапу относится процесс взаимодействия высокотемпературного газового потока и частиц, включающий в себя теплообмен и нагрев частиц, их ускорение при передаче количества движения от струи газового потока. На практике желательно получить, перегрев напыляемых частиц момент их подлета к поверхности (на  $50\div 100$  °C выше температуры плавления материала частиц), с целью повышения прочности сцепления за счет увеличения пятна химического взаимодействия на границе частица подложка.

На втором этапе формируется покрытие при соударении расплавленных частиц с поверхностью основы, в результате чего частицы плотно ложатся друг на друга и, растекаясь, заполняют неровности шероховатой поверхности. Благодаря их высокой температуре в зоне контакта возникают участки схватывания (приваривания), и частицы прочно соединяются между собой и с основой с образованием сложной структуры покрытия. К данному методу относятся: метод плазменного напыления, метод детонационного напыления, газодинамическое напыление [17-20].

- Метод холодного газодинамического напыления (ХГН).

Явление образования покрытий ХГН было впервые обнаружено в Институте теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук (ИТПМ СО РАН) при изучении обтекания затупленных тел сверхзвуковым гетерогенным низкотемпературным потоком [21-23]. Исследования показали, что наличие высоких температур в струе не является обязательным условием и покрытия можно получать из частиц, имеющих температуру значительно меньше их

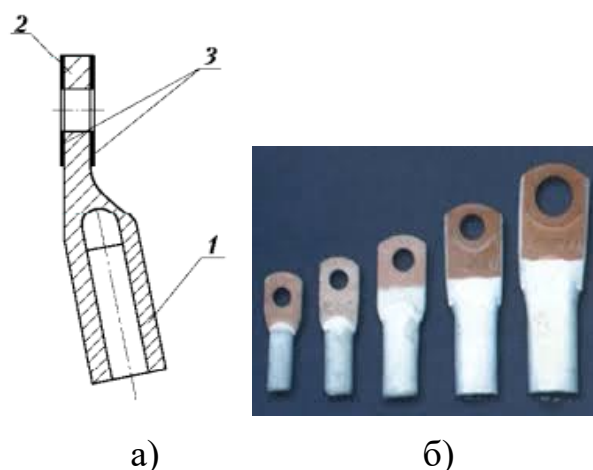
температуры плавления, а это открывает широкие возможности для создания новых технологий и новой техники для напыления [21]. На сегодняшний день этот метод является основным для решения проблемы совмещения контактных пар медь-алюминий.

Суть этого метода в том, что на обрабатываемую поверхность сверхзвуковым потоком воздуха (500 – 1000 м/с) нагретым до температуры 250...500 °С наносятся порошки различных органических, в том числе полимерных, и не органических материалов (металлы, интерметаллиды, керамика или их смеси) с размером частиц 5...50 мкм.

Для осуществления ХГН в специальной установке частицы порошка разгоняются воздушной струей до сверхзвуковой скорости. В результате взаимодействия частиц с подложкой на последней формируется покрытие из пластически деформированных частиц напыляемого порошка (рисунок 1.2).

Процесс напыления методом ХГН можно разделить на три стадии. Первая стадия – это разгон и нагрев частиц. Вторая – взаимодействие частиц непосредственно с поверхностью подложки, адгезионная стадия. Третий – когезионная стадия, когда покрытие наращивается до необходимой толщины и закрепление частиц происходит на поверхности сформированной предыдущими частицами.

ХГН позволяет наносить на алюминиевую контактную поверхность тонкий (0,05...0,2 мм) и прочный слой меди, цинка, никеля и т.д. На рисунке 1.3 представлено схематическое изображение кабельного наконечника с нанесенным на него медным покрытием и представлена фотография таких наконечников.



а) схематическое изображение б) фотография кабельных наконечников различного типа

1 – хвостовая часть; 2 – зажимная часть; 3 – напыленный слой

Рисунок 1.2 – Кабельный наконечник с нанесенным методом ХГН покрытием

Преимущества данного метода:

- получение высокопрочных покрытий различных по структуре, составу и свойствам в широком диапазоне толщин (от 0,01 до 10 мм);
- покрытие обладает высоким уровнем адгезии;
- высокая производительность процесса (до 5-7 м<sup>2</sup>/час);
- отсутствие существенного нагрева частиц и связанных с ним процессов высокотемпературного окисления, фазовых переходов, что позволяет получать покрытия по свойствам, близким к свойствам материала исходных частиц, а также композиционные покрытия из механической смеси порошков, значительно различающихся по физико-термическим свойствам;
- позволяет наносить покрытия на подложки из не термостойких материалов;
- улучшение технической реализации и улучшение безопасности работ в связи с отсутствием высокотемпературных струй, а также огне- и взрывоопасных газов.

Метод ХГН может найти широкое применение для получения антикоррозионных, упрочняющих, электропроводящих и других покрытий отдельных деталей и конструкций.

Недостатком данного метода является неустойчивость полученного покрытия к динамическим воздействиям.

- Электровзрывное напыление

Электровзрывное напыление – это метод нанесения упрочняющих покрытий из продуктов электрического взрыва фольг и порошковых навесок. Одним из достоинств этого метода является формирование покрытий с высокой адгезией. Электровзрывное напыление без оплавления поверхности подложки позволяет получать единичные слои из того или иного вещества, при многократном нанесении покрытий разных материалов возможно получение композиционных покрытий со слоистой структурой.

Электровзрывное напыление с оплавлением поверхности и перемешиванием наносимых частиц с материалом подложки позволяет формировать покрытия с наполненной структурой, когда в матрице одного металла расположены включения других фаз.

Одной из установок, с помощью которой возможно получение покрытий электровзрывным способом, является установка ЭВУ 60/10М [24 - 26]. Установка включает в себя емкостной накопитель энергии, импульсный плазменный ускоритель, состоящий из системы электродов с размещенным на них проводником, локализирующий продукты взрыва разрядной камеры, переходящей в сопло, по которому эти продукты истекают в вакуумную технологическую камеру с остаточным давлением 100 Па. Электровзрыв происходит в результате пропускания через проводник тока большой плотности при разряде накопителя энергии.

Данный способ получения медных покрытий на алюминиевых подложках является достаточно перспективным, однако на ряду со всеми достоинствами данный метод имеет свои недостатки:

- оборудование для получения покрытий достаточно опасное;
- покрытие поверхности получается с большим значением шероховатости;

- получаемая контактная пара имеет высокое удельное переходное контактное сопротивление.

## **1.2 Биметаллические прокладки**

Переходные медно – алюминиевые прокладки применяются для соединения алюминиевых шин к медным выводам электротехнических устройств, а также к медным шинам. В настоящее время используются следующие основные промышленные способы получения переходников такого рода: метод холодной сварки, сварка давлением, и сварка взрывом. При использовании первых двух методов биметаллическая пластина отличается невысокой надежностью и качеством, поэтому в последнее время все более широкое применение в области производства композиционных материалов получила технология сварки взрывом. В ходе данной технологии материалы претерпевают ряд глубоких, структурных и фазовых превращений, протекающих в результате действия высоких давлений и скоростей нагружения при одновременно малой длительности происходящих процессов, что приводит к образованию высокопрочных неразъемных соединений.

Под определением “технологии сварки взрывом” понимается процесс соединения поверхностей двух металлических пластин, происходящий при их высокоскоростном соударении. Соударение металлов происходит при метании плакирующего металла на лист основного металла взрывом заряда взрывчатого вещества. Важным аспектом является процесс подготовительной работы, четкость исполнения которого является необходимостью для проведения сварки взрывом и получения высокого качества биметаллических листов.

Уникальные свойства биметаллов объясняются тем, что основной слой обеспечивает конструктивную прочность и другие механические свойства изделий, а плакирующий слой (нержавеющая сталь, никель, титан, медь, алюминий или другие металлы), который находится в контакте с агрессивной средой, обеспечивает требуемую коррозионную стойкость.

При сварке взрывом соединение образуется даже при наличии окисных и масляных пленок, что свидетельствует о существовании эффективного механизма очищения поверхностных слоев, струей сжатого воздуха, находящегося в зазоре между свариваемыми элементами.

Преимущества сварки взрывом:

- изготовление биметаллов, которые невозможно производить традиционными методами;
- полностью сохраняются механические свойства металлов;
- достигается наиболее прочная связь между материалами;
- отсутствуют слабые участки, полученные в результате воздействия высоких температур (во время взрыва за счет быстроты процесса теплопереноса не происходит) [27-31].

Основным и важным недостатком использования биметаллических пластин является увеличение контактных переходов, вследствие чего увеличивается переходное контактное сопротивление, и потери электроэнергии.

Анализ литературных данных показывает, что совмещение контактной пары медь-алюминий существующими методами, возможно, но недостаточно эффективно. При использовании биметаллических прокладок увеличивается число контактных переходов, что приводит к увеличению переходного сопротивления контакта, следствием чего является увеличение потерь электроэнергии в электрических цепях. Кроме того, биметаллическая прокладка для мощной ошиновки изготавливается по технологии сварки взрывом, что требует создания на промышленном предприятии специализированного производственного участка по ведению взрывных работ и организации специальных мероприятий по технике безопасности.

Наиболее приемлемым и эффективным способом решения задач совмещения контакта медь – алюминий и снижение его переходного сопротивления является использование специальной смазки или пасты на основе медного порошка. Однако при длительной эксплуатации с

циклическими нагрузками их свойства ухудшаются и их невозможно использовать повторно при ревизии контакта.

Получаемое покрытие катодным распылением недостаточно высокого качества. При магнетронном распылении слишком большая стоимость оборудования.

Наиболее используемые на сегодняшний день методы получения контактных пар способы напыления покрытий. Основным негативным параметром всех методов газотермического напыления является высокая температура переносимых частиц, как правило, существенно превышающая температуру плавления наносимого материала. Основными недостатками холодного газодинамического напыления является то, что данные покрытия имеют низкую устойчивость к динамическим воздействиям (низкая адгезионная устойчивость), а также дополнительная механообработка, в которой нуждается конечное покрытие. В связи с этим является актуальным нахождение способа, который бы позволил не только совместить сильноточную контактную пару медь–алюминий, но и уменьшить переходное контактное сопротивление. Данная задача может быть решена путем воздействия на алюминиевую контактную поверхность высокоскоростной импульсной струи медной электроэрозионной плазмы, генерируемой сильноточным коаксиальным магнитоплазменным ускорителем (КМПУ) эрозионного типа [32]. Метод является относительно простым, так как процесс реализуется в кратковременном ( $10^{-4} \div 10^{-3}$  с) цикле работы ускорителя. Порошкообразный материал, который требуется для обработки поверхности нарабатывается электроэрозионным путем с поверхности ускорительного канала КМПУ в атмосферных условиях.

### **1.3 Токопроводящие смазки**

В разъемных соединениях алюминиевых проводников с алюминиевыми, медными и стальными выводами электрооборудования контактные алюминиевые поверхности вследствие их активного сопротивления

подвергаются дополнительной подготовке непосредственно перед соединением. Эта подготовка заключается в механической обработке и зачистке контактной алюминиевой поверхности от окисной пленки. Зачистку поверхности производят под слоем технического вазелина с последующим нанесением на обработанную поверхность защитной смазки или пасты, препятствующих окислению металла.

Смазки и пасты должны иметь высокую липкость (адгезию) и наноситься на поверхность тонким слоем, обладать эластичностью и не растрескиваться от колебания температуры в пределах от  $-60$  до  $+150$  °С. Они должны иметь высокую температуру каплепадения в пределах от  $120$  до  $150$  °С, быть химически стабильными, исключая перерождение смазки или пасты, влагонепроницаемыми и стойкими к воздействиям кислот и щелочей. Нарушение покрытия хотя бы в одном месте приводит к образованию коррозии металла, которая имеет тенденцию к “вгрызанию” в металл. Кроме того, в месте контакта смазки и пасты должны обеспечивать разрушение химическим путем оксидной пленки и в течение длительного времени не допускать ее возникновения вновь.

Применение токопроводящей смазки позволяет увеличить эффективную площадь контактирования и токопередачи, вплоть до размера рабочей площади контакта, уменьшая одну из главных составляющих переходного контактного сопротивления, сопротивление стягивания, возникающего по причине стягивания линий тока к точкам контактирования. Частицы медного порошка, входящего в состав смазки, при сжатии в контактном соединении образуют сплошную токопроводящую металлическую прокладку.

Смазка, находясь между контактными поверхностями заполняет микропустоты, спрессовывается, создает сплошную твердую токопроводящую металлическую прокладку, герметизирует рабочую зону контакта, препятствуя попаданию туда пыли, влаги, агрессивных аэрозолей и газов. Таким образом, предотвращается окисление контактов, которые остаются в идеальном состоянии на протяжении всего срока эксплуатации.

Использование электропроводящих смазок позволяет:

- повысить надёжность работы оборудования;
- повысить качество электромонтажа;
- снизить количество человеко – часов на текущее обслуживание

оборудования;

- в ряде случаев полностью отказаться от сварки и пайки в пользу применения легко выполняемых разъёмных контактных соединений.

- ухудшение свойств при длительной эксплуатации;
- невозможность повторного использования после ревизии

контакта [26].

## 2 ОБЪЕКТ И МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

В основу плазмодинамического метода нанесения покрытий положено использование системы на основе импульсного высоковольтного сильноточного гибридного коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ) эрозионного типа с медными электродами и ускорительным каналом (УК) [32-34]. С целью обеспечения безопасности персонала источник питания расположен в отдельном от пульта управления помещении, разделенной дверью с механической блокировкой и сигнальной лампой.

### 2.1 Емкостной накопитель энергии

Емкостной накопитель энергии (ЕНЭ) служит импульсным источником электропитания КМПУ и представляет собой секционированную батарею импульсных конденсаторов типа ИС5 с номинальным напряжением 5 кВ и емкостью 200 мкФ. ЕНЭ секционирован на 24 модуля по 6 конденсаторов в каждом модуле, размещенных как показано на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – ЕНЭ – вид сбоку

Общее количество конденсаторов в ЕНЭ составляет 144 суммарной емкостью 28,8 мФ и максимально возможно накопленной энергией 360 кДж.

На лицевой панели ЕНЭ (рис. 2.2) расположены разрядный контур, выполненный на коаксиальных кабелях типа РК-50-13-17, обладающих малой индуктивностью, сборный коллектор 1 (СК), игнитронные разрядники 2 (ИР), блоки управления игнитронными разрядниками 3 (БУИ), импульсные трансформаторы 4 (ИТ), делители напряжения 5 (ДН) модулей.

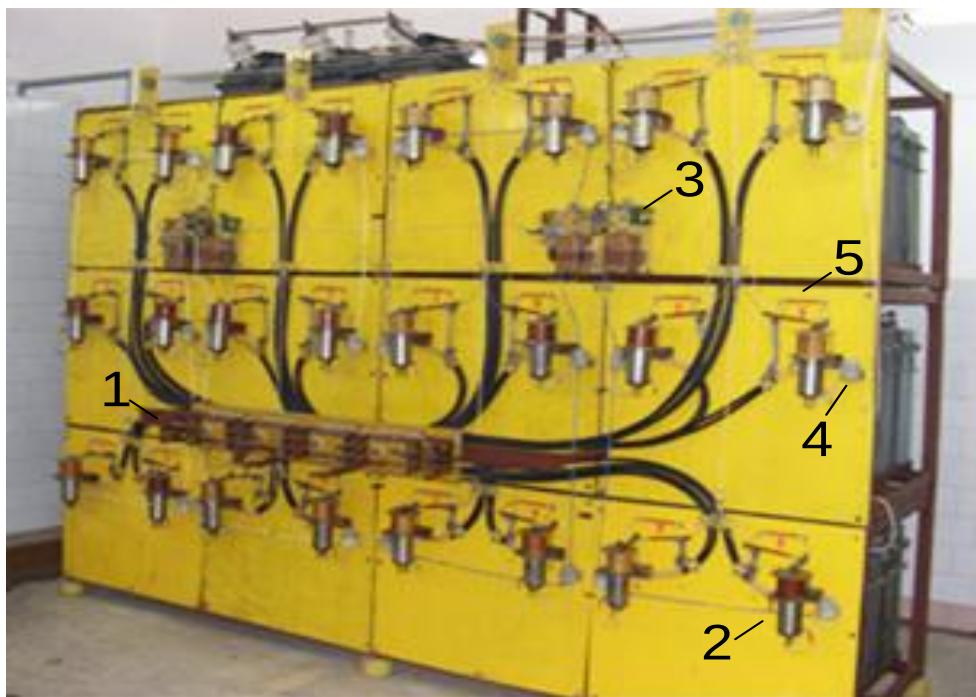


Рисунок 2.2 – Лицевая панель ЕНЭ

На верхней панели ЕНЭ расположены высоковольтный трансформатор (ТВ), высоковольтный выпрямитель (ВВ) и электромагнитная блокировка (ЭБ), как показано на рис. 2.3.

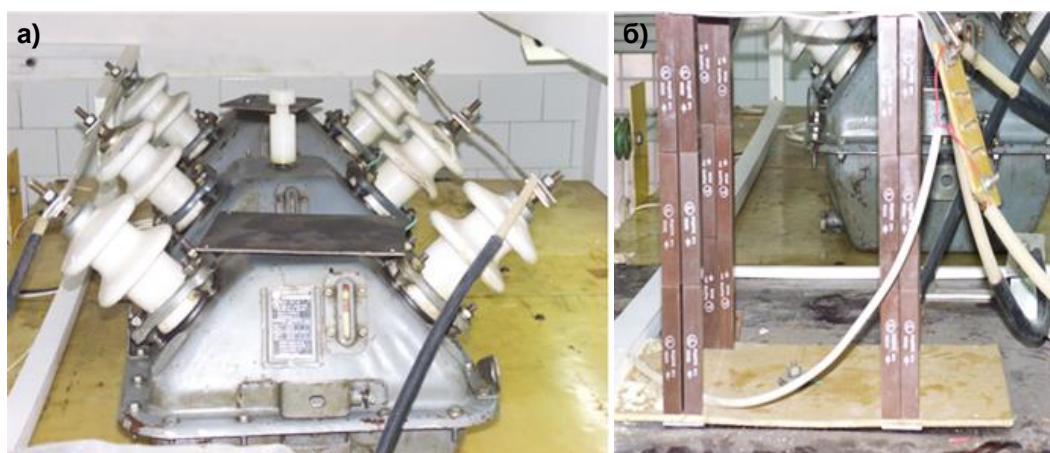


Рисунок 2.3. – Верхняя панель ЕНЭ: а) высоковольтный трансформатор;  
б) высоковольтный выпрямитель

Блок-схема лабораторной установки ЕНЭ с органами управления, контроля и регистрации показана на рис. 2.4.

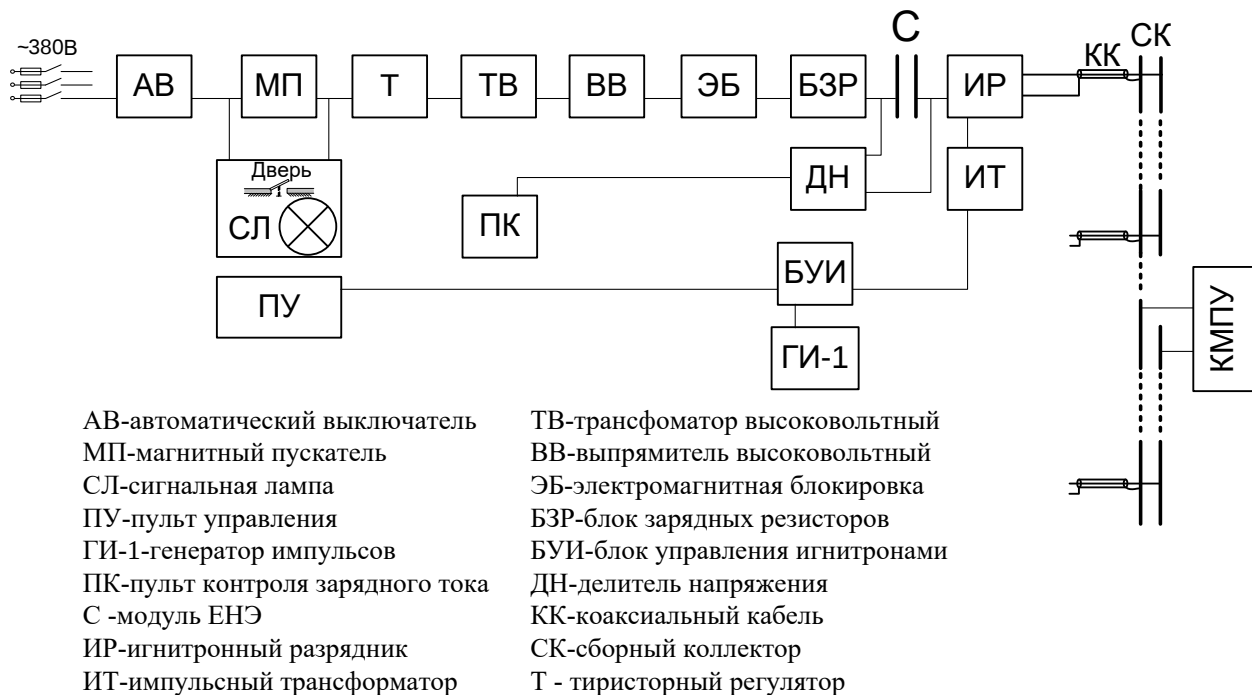


Рисунок 2.4 – Блок-схема лабораторной установки ЕНЭ

Питание лабораторной установки ЕНЭ осуществляется от трехфазной сети переменного тока 220/380 В, подключенной через автоматический выключатель типа ВА47-29 с номинальным током 50 А, магнитного пускателя КМИ-22510 и тиристорного регулятора на основе силового тиристора типа Т15-80-7.

Управление магнитным пускателем МП и тиристорным регулятором Т осуществляется с пульта управления ПУ. Регулируемое однофазное напряжение (0-100 В) с выводов тиристорного регулятора подается на первичную обмотку высоковольтного трансформатора ТВ, выполненного на основе трех параллельно соединенных трансформаторов напряжения типа ОМ-125/10-71У1. К выводам вторичной обмотки высоковольтного трансформатора, напряжение на котором изменяется в пределах от 0 до 5 кВ, подключается однофазный мостовой выпрямитель на основе диодных сборок типа КЦ201Е (рис. 2.3б).

На задней панели стенда (рис. 2.5) расположен блок зарядных резисторов БЗР, ограничивающий величину зарядного тока модулей.

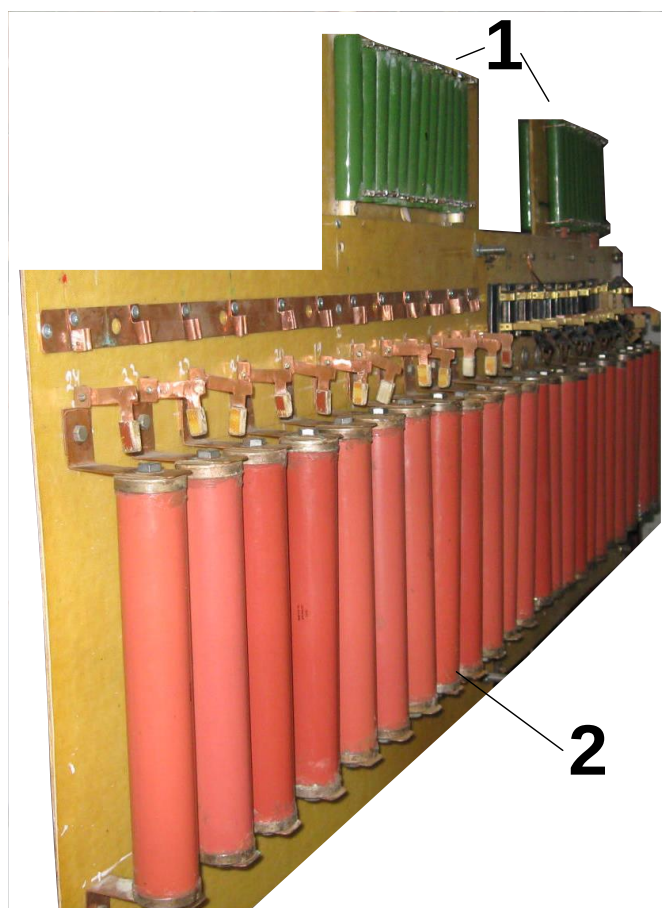


Рисунок 2.5 – Блок зарядных резисторов

БЗР состоит из общей части 1 и индивидуальных резисторов 2. Общая часть 1 БЗР состоит из 25 параллельно соединенных резисторов типа ПЭВ-100 сопротивлением 56 кОм каждый, что позволяет ограничить общий ток заряда модулей до величины 0,5 А. Индивидуальные резисторы 2 БЗР представляют собой полые полиэтиленовые цилиндры, заполненные водой, и позволяют таким образом рассеивать тепловую энергию, выделяющуюся в них при зарядке емкостей модулей и варьировать величину емкости и энергии накопителя.

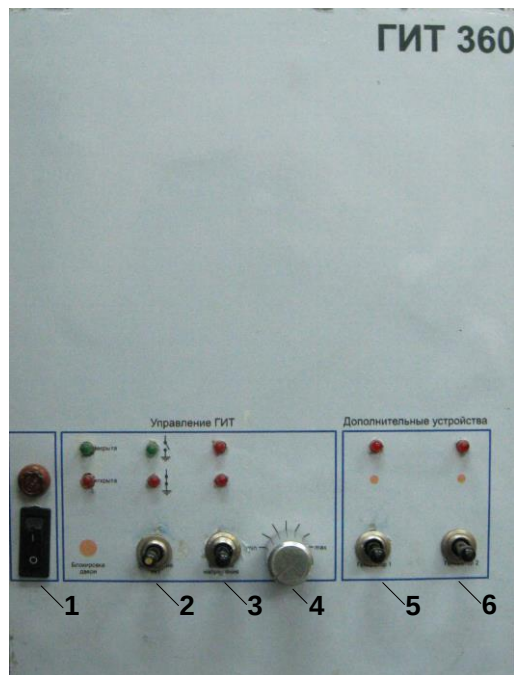
Значение зарядного тока модулей контролируется с помощью амперметров, расположенных на пункте контроля ПК. Измерение величины тока производится с помощью шунтирующего сопротивления в цепи протекания зарядного тока. Напряжение каждого модуля секции контролируется с помощью вольтметров, установленных на ПК и подключенных к делителям напряжения 5 на рис. 2.2.

Для разряда емкостей модулей ЕНЭ в аварийных режимах используется электромагнитная блокировка ЭБ, управляемая с ПУ. При возникновении аварийного режима либо по завершении процесса работы ЕНЭ происходит замыкание перемычки электромагнитной блокировки ЭБ на выводы высоковольтного выпрямителя ВВ. При этом остаточная энергия в конденсаторах модулей, не высвободившаяся в процессе работы, разряжается на БЗР.

Коммутация каждого модуля ЕНЭ осуществляется с помощью игнитронного разрядника ИР (2 на рис. 2.2) типа ИРТ-6, способного пропустить до 30 Кл электричества за один импульс тока амплитудой до 200 кА длительностью 10 мкс. Управление ИР осуществляется с помощью блоков управления игнитронами БУИ (3 на рис. 2.2). Каждый БУИ формирует высоковольтный поджигающий импульс (около 4 кВ) для трех ИР, разделяемый с помощью ИТ (4 на рис. 2.2), низковольтные первичные обмотки которых соединены последовательно и запитываются общим импульсом. Каждый БУИ питает две параллельных цепи питания ИТ. Таким образом, достигается равенство поджигающих импульсов на каждом ИР.

## **2.2. Пульт управления**

Пульт управления содержит в себе органы управления и сигнализации и предназначен для управления режимами работы ЕНЭ (рис. 2.6).



1,2 – ключи подачи электропитания на ПУ; 3 – ключи подачи электропитания на САУ ;4 – потенциометр; 5 – ключ подачи электропитания на БУИ; 6 – ключ подачи питания на дополнительные устройства.

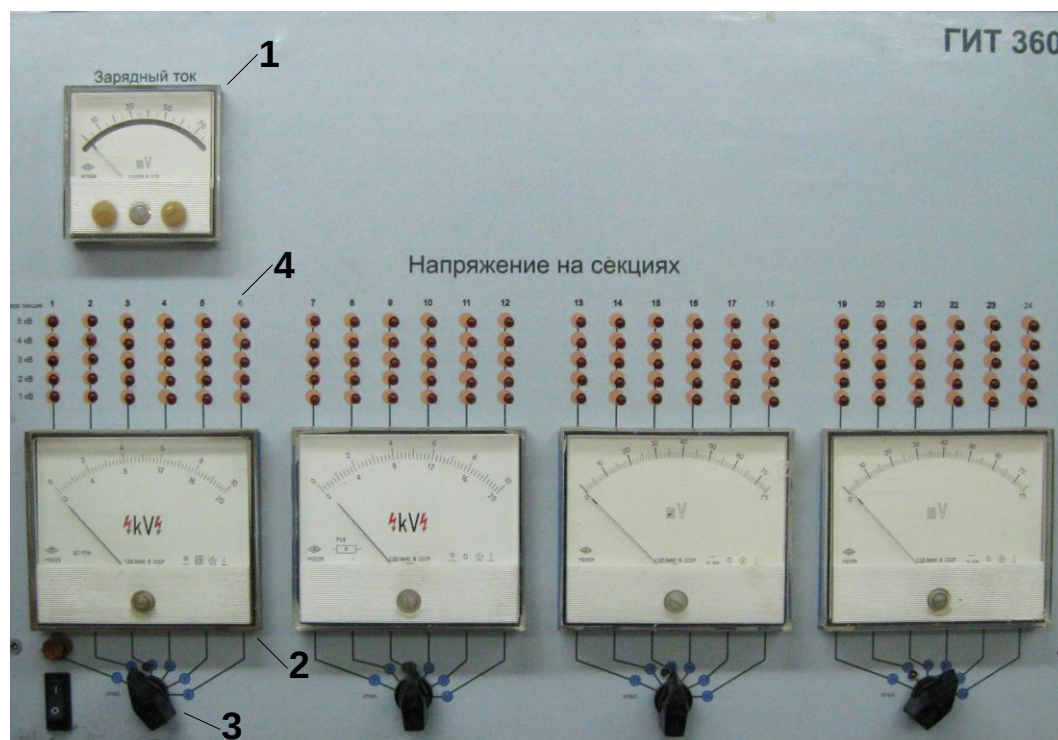
Рисунок 2.6 – Пульт управления ЕНЭ

С помощью ключей ПУ 1 и 2 (рис.2.6) осуществляется подача электропитания на сам ПУ и на катушку втягивающего реле ЭБ силовой установки соответственно. В операторской комнате над дверью, разделяющей ПУ от ЕНЭ, расположена сигнальная лампа и концевой выключатель, обеспечивающий необходимую логику управления силовой установкой. При закрытой двери и поднятой ЭБ через контакты соответствующих им концевых выключателей собирается цепь электропитания катушки МП, включаемой кратковременным замыканием соответствующего ключа. При подаче питания на силовой стенд блок-контакты МП обеспечивают загорание сигнальной лампы (рис. 2.4).

На ПУ также расположен потенциометр 4 системы управления тиристорным регулятором, позволяющий регулировать угол открытия тиристора в диапазоне от  $0^0$  до  $180^0$  и напряжение, подаваемое на первичную обмотку ТВ, в диапазоне от 0 В до 100 В, а также ключи подачи питания на БУИ 5 и дополнительных устройств 6.

### 2.3 Пульт контроля

Пульт контроля ПК, представленный на рисунке 2.7, служит для измерения и контроля зарядного тока и напряжения модулей ЕНЭ.



1 – амперметр; 2 – вольтметр; 3 – переключатель модулей ЕНЭ; 4 – уровень дискредитации индикаторов

Рисунок 2.7 – Пульт контроля ЕНЭ

ПК включает в себя амперметр 1 для контроля зарядного тока, вольтметры 4 для контроля зарядного напряжения модулей ЕНЭ, переключателей 3 для контроля зарядного напряжения соответствующего модуля ЕНЭ и индикаторов уровня напряжения модуля 4. Уровень дискредитации индикаторов 4 составляет 1 кВ с максимальным уровнем индикации 5 кВ. Благодаря данному исполнению ПК возможен независимый и точный контроль уровня зарядного напряжения на всех 24 модулях ЕНЭ с использованием только лишь 4 вольтметров.

### 2.4 Система синхронизации

Синхронная работа всех элементов ЕНЭ осуществляется благодаря шестиканальному генератору импульсов ГИ-1 (рис. 2.8), вырабатывающему до

6 синхронизирующих импульсов треугольной формы с задержкой относительно опорного внутреннего или внешнего импульса до  $1,0 \pm 0,1$  мс. Каждый из шести каналов может запускаться от задающего канала либо от другого генератора, при этом суммарная задержка относительно нулевого канала может составлять до 6 мс за счет последовательного включения каналов. Также возможен запуск самого генератора от внешнего импульса, например, от высокоскоростной фоторегистрирующей установки.

Таким образом, с помощью генератора импульсов ГИ-1 может быть обеспечена синхронизация элементов ЕНЭ и дополнительной аппаратуры, а также предоставляется возможность менять количество импульсов и время между ними. От каждого блока с одинаковой задержкой может быть запущено несколько устройств посредством разделения сигнала с помощью импульсного трансформатора с несколькими вторичными обмотками.

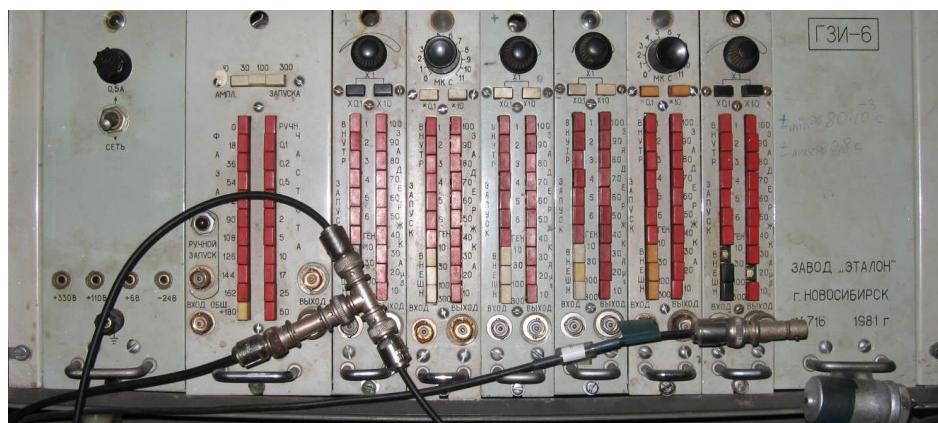


Рисунок 2.8 – 6-канальный генератор импульсов ГИ-1

## 2.5 Система регистрации

Регистрация энергетических параметров процесса работы ЕНЭ осуществлялась с помощью осциллографов марки С8-13 и Tektronix TDS1012B. Осциллограммы тока и напряжения были получены с помощью трансформатора Роговского и делителя напряжения соответственно. Трансформатор Роговского позволяет фиксировать быстро изменяющиеся во времени токи, что характерно для импульсного режима работы ЕНЭ.

Связи между измерительными органами и осциллографами выполнена экранированными коаксиальными кабелями с целью повышения помехоустойчивости сигнала.

## **2.6 Высокоскоростная фоторегистрация процессов**

Высокоскоростная фоторегистрация процесса работы КМПУ осуществляется посредством высокоскоростной установки Photron fastCAM SA1.1.

FASTCAM SA1 обеспечивает быструю скорость вздутий и светочувствительность. Имеет высокую 12-битную производительность. Возможность делать более 5000 полных кадров в секунду (FPS) в мега пикселя (1K x 1K) разрешение, сенсор CMOS обеспечивает двенадцать бит пикселя и способен быстро уменьшить разрешения и производить до 650,000 кадров в секунду. FASTCAM SA1 является самой чувствительной к свету камерой, которая обеспечивает наибольшую точность цветопередачи любой высокой скорости камеры. Это доступно благодаря 12- битной производительности. FASTCAM SA1 широко используется в отраслях, где требуются мега пиксели на высоких скоростях, высокая чувствительность и производительность с цифровым выходом SDI.

Доступно три варианта памяти:

- Восемь (8) гигабайтов в течение шести секунд записи длительностью в полном разрешении 1000 кадров в секунду.
- Шестнадцать (16) Гигабайт около одиннадцати секунд рекорд продолжительности при полном разрешении 1000 кадров в секунду.
- Тридцать два (32) гигабайта примерно за двадцать две секунды рекорд длительности при полном разрешении 1000 кадров в секунду.
- Шестьдесят четыре (64) Гигабайт на протяжении более сорока трех секунд рекорд продолжительности при полном разрешении 1000 кадров в секунду.

Задняя панель BNC разъемы обеспечивают пользователям с двумя HD-SDI и один композитный (NTSC или PAL) выходами. Опция одной микросекунды затвора и в сокращение времени между двумя кадрами, делают FASTCAM SA1.1 идеально подходящим для велосиметрии частиц изображения (PIV), корреляции цифровых изображений (DIC) и исследований баллистики.

Особенности:

- 1024 X 1024 до 5400 кадров в секунду
- 675000 кадров в секунду при уменьшенном разрешении
- 20 микрон пикселей
- 12-битный монохромный или 36-битный цветной датчик
- 1 микросекунды Глобальный электронный затвор
- Прилагаемые F-Mount и C-Mount адаптеры
- 1000/100 Gigabit Ethernet интерфейс
- Camera Control Software, PFV3 в комплекте
- Задняя панель имеет двойное HD-SDI и один RS-170 BNC выходы

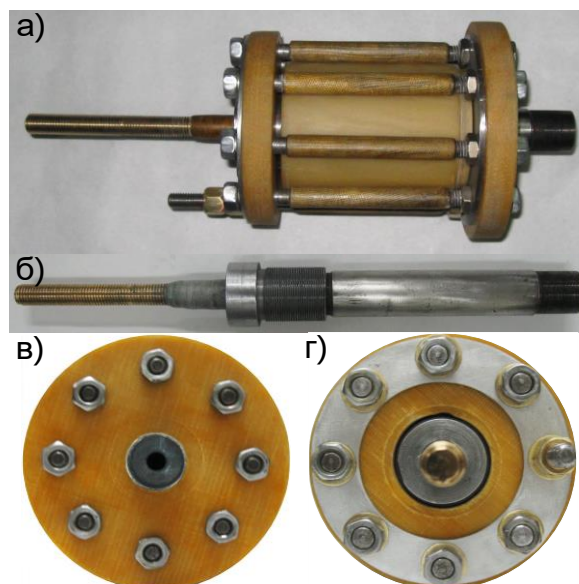
для реального времени наблюдения во время настройки, записи и воспроизведения

- Опции памяти включают 8GB, 16GB, 32GB и 64GB
- Фаза блокировки для IRIG / GPS
- Версия (RV) Опция Range с герметичным корпусом для

предотвращения попадания пыли или попадание влаги внутрь корпуса камеры, где он может повредить внутреннюю электронику.

## **2.7 Устройство и принцип действия КМПУ**

Конструкция КМПУ достаточно проста и представляет собой классический коаксиальный Z-пинч ускоритель (рис. 2.9б), помещенный во внешнюю индукционную систему – индуктор 4 (рис. 2.9а и 2.10).



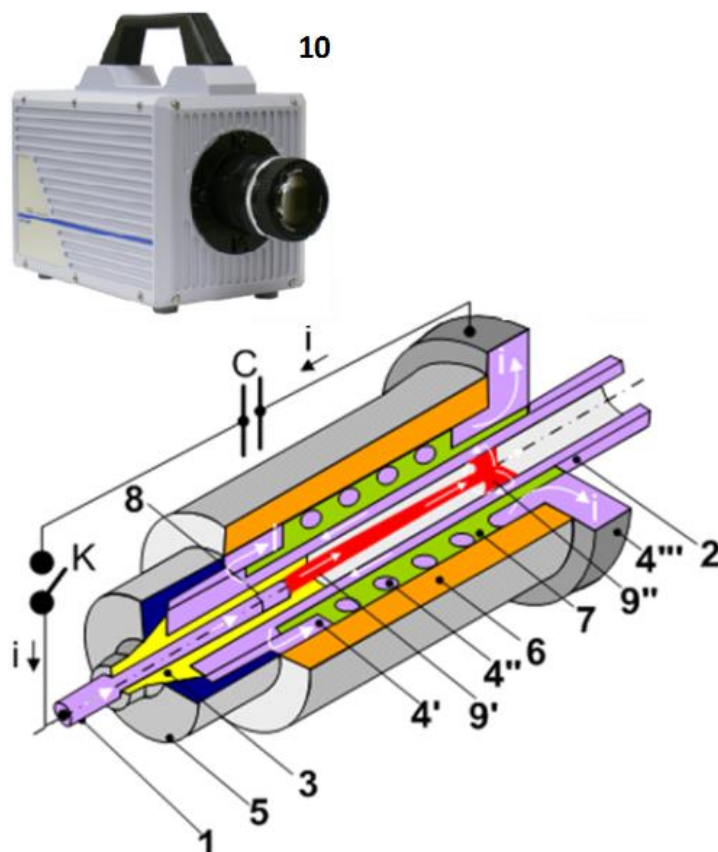
а) КМПУ в собранном виде; б) классический z-пинч ускоритель

в) КМПУ – вид спереди; г) КМПУ – вид сзади

Рисунок 2.9 – Устройство КМПУ

Как показано на рисунке 2.10 КМПУ состоит из центрального электрода 1, выполненного в виде металлической шпильки со вставкой 8 из другого металла и покрытого стеклопластиковым изолятором 3, изготовленным путем намотки стеклоленты с одновременной пропиткой эпоксидным компаундом и последующей механической обработкой после затвердевания. Центральный электрод плотно входит в электрод-ствол, выполненный из отрезка металлической трубы, объем которой служит ускорительным каналом (УК) для электроразрядной плазмы.

В торцевой части центрального электрода, сопрягающейся с электродом-стволом, имеется цилиндрический канал до поверхности металлической вставки 8, который служит каналом формирования плазменной структуры (КФПС). Инициирование электрического разряда между центральным электродом и электродом-стволом может быть осуществлено посредством установки в КФПС электровзрывающихся проводников, обеспечивающих электрический контакт между центральным электродом и электродом-стволом и взрывающихся при протекании по ним больших значений токов, либо графитизацией КФПС и пробоем по поверхности



1 – центральный электрод; 2 – электрод-ствол; 3 – изолятор центрального электрода; 4 – индуктор (4' – контактный цилиндр, 4'' – соленоид, 4''' – контактный фланец); 5 – заглушка; 6 – корпус; 7 – изоляция; 8 – вставка из другого металла; 9 – плазменная структура сильноточного разряда (9' – плазменный жгут – z-пинч, 9'' – круговая плазменная перемычка); 10 – съемка камерой Photron fastCAM SA1.1.

Рисунок 2.10 – Устройство КМПУ

изоляционного промежутка под действием высокого приложенного напряжения. В данном исследовании использовался метод графитизации КФПС.

Надежное соединение центрального электрода и электрода-ствола осуществляется благодаря резьбовому соединению заглушки, через которую проходит хвостовая часть центрального электрода, и электрода-ствола. Данная конструкция представляет собой классический Z-пинч ускоритель (далее пинчер) и вкручивается с помощью резьбовой заглушки 5 в контактный цилиндр 4' внешней индукционной системы - индуктора 4, чем обеспечивается

надежный электрический контакт между контактным фланцем индуктора 4''' и началом ствола пинчера. Индуктор служит источником внешних полей, увеличивающих электромагнитную силу воздействия на разряд с целью выравнивания параметров плазмы по сечению УК, и в свою очередь состоит из контактного цилиндра 4', соленоида 4'', контактного фланца 4''', межвитковой изоляции соленоида 6 и корпуса индуктора 7. Соленоид представляет собой цельнометаллическую конструкцию, изготовленную токарным способом с целью уменьшения числа контактов и увеличения механической прочности. Индуктор в собранном состоянии является сменным узлом в виде соленоида с запрессованным в него контактным цилиндром, помещенного между контактными фланцами и стянутыми токопроводящими шпильками, обеспечивающими механическую прочность сборки. В собранном виде КМПУ представляет собой коаксиальную конструкцию, в которой торцевая часть центрального электрода находится в плоскости первого витка соленоида, а направление внешнего аксиального поля соленоида совпадает с направлением разгона плазменной струи [60].

КМПУ монтируется в крышку камеры-реактора (КР) и подключается к шинам сборного коллектора ЕНЭ. КР позволяет проводить эксперименты как при пониженном (0,1 атм), так и при повышенном (2 атм) давлении. Конструкция камеры позволяет производить высокоскоростную съемку процесса истечения гиперзвуковой плазменной струи из УК благодаря наличию смотровых окон из толстого оргстекла. Предусмотрена возможность подсветки процесса через смотровое окно с обратной стороны (тенивая съемка). Высокая освещенность процесса истечения плазменной струи вследствие ее высокой температуры позволила в большинстве случаев проводить съемку с 1-3 светофильтрами (ND32+ND64, ND64+ND64, ND32+ND64+ND64).

## **2.8 Принцип действия КМПУ**

В исходном состоянии КМПУ включен в разрядный контур ЕНЭ и представляет собой нагрузку, потребляющую запасенную в него энергию в импульсном режиме. ЕНЭ заряжен до требуемого напряжения. При замыкании

ключа К (рис. 2.10), что в реальной схеме соответствует одновременному или поочередному срабатыванию игнитронных разрядников, по обозначенному стрелками контуру начинает протекать возрастающий ток разряда конденсаторных батарей. В этот контур последовательно включены один из полюсов конденсатора С, центральный электрод 1, электрод-ствол (начало ствола) 2, контактный цилиндр 4', соленоид – 4'', контактный фланец – 4''', стяжные токоведущие шпильки (рис. 2.9), второй полюс конденсатора С. При достижении уровня разрядного тока  $i(t)$  некоторого значения происходит электровзрыв графитового спрея, установленных в КФПС, и возникает дуговой разряд с плазменной структурой Z-пинч 9' (рис. 2.10) с круговой плазменной перемычкой 9''. В случае отсутствия графитизации и инициирования дугового разряда самопробоем изоляционного промежутка КФПС приложенным напряжением происходит возрастание уровня приложенного напряжения до определенного значения без пробоя. При достижении некоторой величины напряжения происходит пробой промежутка и возникает дуговой разряд с аналогичной структурой. Этот момент является началом работы КМПУ. По мере роста и формирования плазменной структуры сильноточного разряда 9 напряжение снижается до значений уровня дуговой стадии и происходит ограничение скорости увеличения тока.

Высокая теплоемкость водорода обуславливает накопление внутренней энергии в газе, с высокой эффективностью преобразующейся в кинетическую при его расширении. Это отражает электротермохимический и электротермический механизм преобразования энергии, ускоряющий плазменную круговую перемычку, за которой вытягивается плазменный жгут. Сильный теплоотвод от канала разряда при этом увеличивает его сопротивление, повышает уровень напряжения, как электровзрывного импульса, так и дуговой стадии, ограничивая скорость нарастания тока и увеличивая мощность разряда.

Магнитное давление поля собственного тока разряда и магнитное давление аксиального поля соленоида внешней индукционной системы

обеспечивает устойчивое состояние плазменной структуры разряда. Аксиальное поле соленоида также обеспечивает осевое ускорение плазмы за счет сжатия плазменной структуры и осевого вытеснения проводящей среды.

Таким образом, одновременное функционирование описанных механизмов способствует более эффективному превращению электромагнитной энергии в кинетическую.

Процесс работы КМПУ сопровождается сильным электроэрозионным износом поверхности УК с накоплением в токовой оболочке эродированного материала и выносом его в КР. Эродированный материал УК является основой динамического синтеза соединений с компонентами, вводимыми в КФПС, либо с газообразными компонентами КР. При выносе плазменной струей эродированного и введенного в КФПС материала происходит его распыление в КР и синтез нанодисперсных порошков различных соединений, либо нанесение покрытий различной модификации. Высокая температура и скорость плазменной струи приводит к формированию высоких  $P$ ,  $t$ -параметров в скачке уплотнения головной ударной волны и обеспечивает возможность создания требуемых условий для нанесения покрытий с высокой адгезионной устойчивостью.

## **2.9 Методика обработки экспериментальных данных**

Регистрация энергетических параметров  $u(t)$  и  $i(t)$ , осуществлялась с помощью активного делителя напряжения и трансформатора Роговского, сигналы с которых записывались с помощью цифровых осциллографов Tektronix. По осциллограммам (рисунок 2.11) строилась кривая мощности разряда, которая в дальнейшем интегрировалась и находилась величина подведенной энергии к КМПУ  $W$ .

В момент времени  $t=0$  происходит замыкание ключа  $K$ , которое принято за начало развертки на осциллограммах напряжения  $u(t)$  и тока  $i(t)$ . Примерно через 20 мкс происходит разрушение указанной перемычки, сопровождающееся возникновением дуговой стадии разряда,

характеризующейся резким снижением сопротивления и напряжения на электродах и синусоидальным нарастанием тока с высокой до максимума  $I_m$ . При этом в УК формируется плазменная структура сильноточного разряда типа Z-пинч с круговой плазменной перемычкой, которая ускоряется в коаксиальной системе, типа коаксиального рельсотрона.

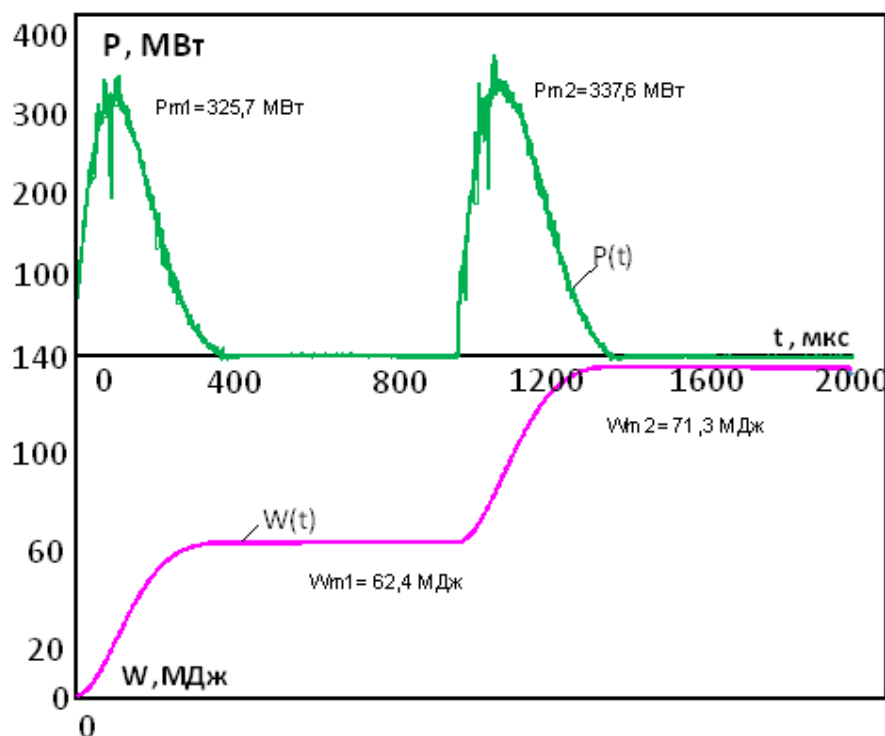


Рисунок 2.11 - Типичная осциллограмма напряжения  $u(t)$  и тока  $i(t)$

Преобразование электромагнитной энергии в кинетическую энергию плазмы обеспечивается одновременно действующими механизмами: электродинамическим (кондукционным и индукционным), и электротермическим [35].

Параллельно с ускорением плазмы происходит электроэрозионный износ поверхности УК за счет высокой температуры в зонах привязки или замыкания дуги по всей поверхности УК. Расплав металла ствола поступает в токовую оболочку разряда, переходит в плазменное состояние и ускоряется в виде струи электроэрозионной плазмы до скоростей в несколько км/с при токах разряда порядка  $10^5$  А. Нарботанный материал, в частности, медь, является прекурсором процесса.

Истечение плазменной гиперзвуковой струи медь-содержащей плазмы происходит в герметичный объем камеры-реактора при комнатной

температуре, с атмосферой аргон под давлением 1 атм. Изучение динамических характеристик плазменных струй в свободном пространстве производилось с помощью высокоскоростной фоторегистрации процесса на установке Photron fastCAM SA1.1. [36].

На рисунке 2.12 представлены фотограммы истечения плазмы из УК, полученные установкой Photron fastCAM SA1.1. С помощью фоторегистрации возможно отследить характер вылета плазмы, скорость плазменной струи. Камера фотоустановки располагалась на некотором расстоянии от КМПУ, перпендикулярно к электродам.

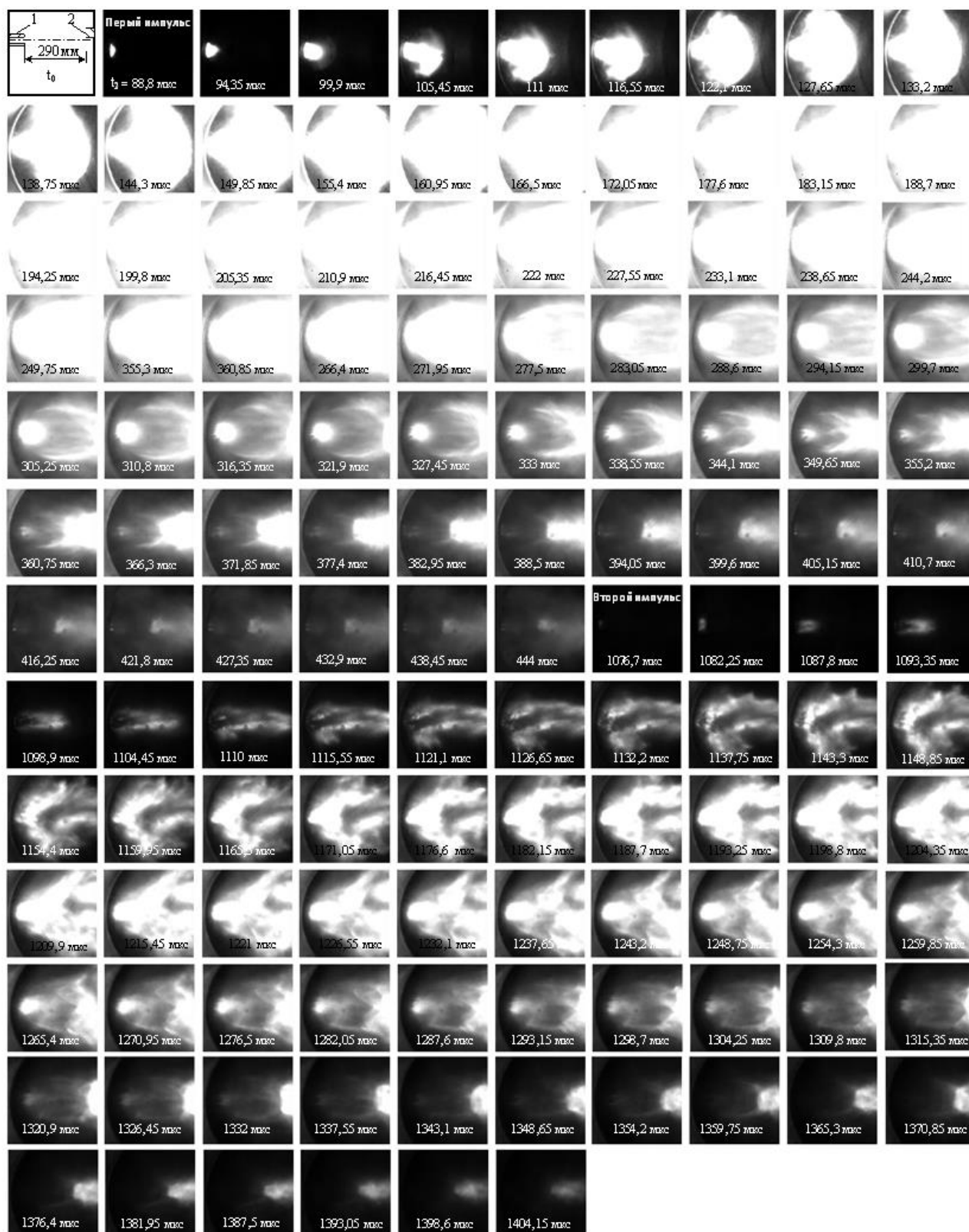


Рисунок 2.12 – Фотограмма гиперзвуковой плазменной струи истекающей из  
УК медного ствола КМПУ

## **4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Данная выпускная квалификационная работа посвящена оптимизации системы электропитания магнитоплазменного ускорителя. В работе использовалась контактная пара медь-алюминий, которая представляет собой наиболее распространённый вид переходных токоведущих элементов оборудования. Серьезной проблемой в отрасли электроэнергетики является то, что существующие в настоящее время методы имеют невысокую надежность и обладают низким качеством покрытия. Место соединения разнородных металлов вызывает их окисление. Образовавшаяся пленка окиси на поверхности металла, обладает большим значением сопротивления. Это вызывает разрушение контакта в месте соединения алюминиевой и медной частей, а также приводит к разрыву электрической цепи, что является причиной довольно частых аварий и перерывов в работе электрооборудования. Технология, предлагаемая в данной ВКР, дает возможность решить проблему совмещения пары медь-алюминий. Использование искрового плазменного спекания, позволяет снизить величину контактного переходного сопротивления, повышается качество контактных соединений. Это влечет за собой снижение потерь электроэнергии, а также уменьшается риск возникновения аварийных ситуаций.

Цель данного раздела заключается в том, что производится оценка коммерческого и инновационного потенциала научно-технического исследования (НТИ), планирование процесса управления НТИ, определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности.

### **4.1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ**

Для организации процесса изготовления контактной пары медь-алюминий предстоит решить ряд задач, которые связаны с научными, техническими и экономическими проблемами. Основные цели, решаемые в данном проекте, продемонстрировано на рисунке 1.1. Чтобы осуществить проект необходимо оптимизировать разрабатываемую технологию, которая

позволит получать образцы с необходимыми параметрами и испытания их в реальных условиях работы. Для начала нужно решать цели с помощью научно-исследовательского персонала. Далее требуется привлечение специалистов в области экономики и предпринимательства. После достижения поставленных целей (рисунок 4.1) возможно получение серии образцов контактной пары медь-алюминий.

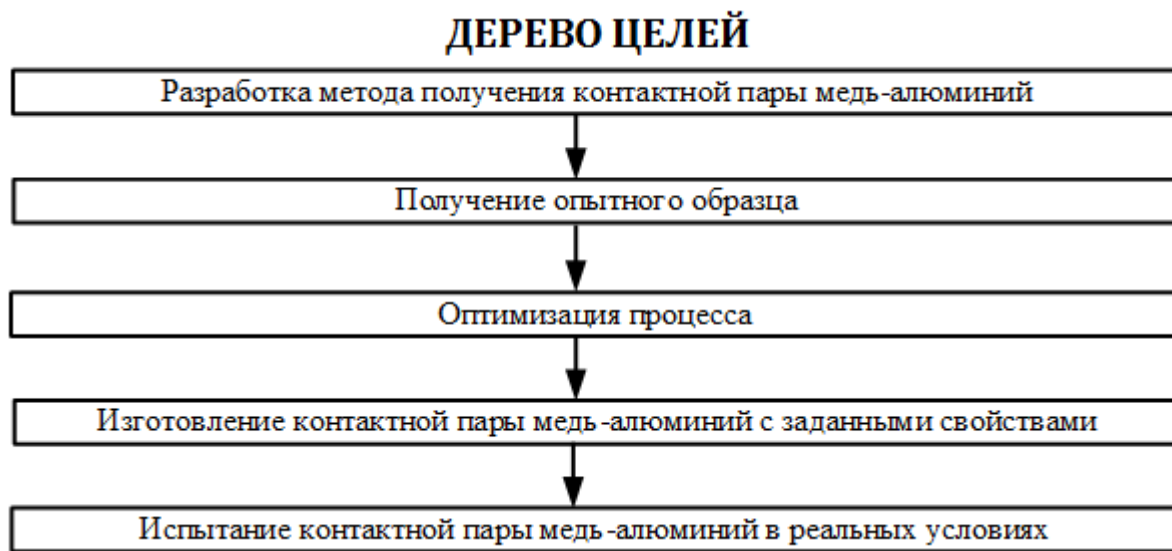


Рисунок 4.1 – Дерево целей

Решение задач, которые поставлены в проекте, будет происходить на базе оборудования, которое находится в 8 корпусе ТПУ. Основным объектом развития и оптимизации технологии является система искрового плазменного спекания. В настоящий момент для настоящего проекта завершена стадия НИР, получены опытные образцы, необходимо начать этап ОКР.

Конкурентные преимущества искрового плазменного спекания заключаются в следующем:

- 1) метод является прямым, т.е. продукт получается без дополнительных этапов;
- 2) в процессе работы отсутствуют вредные выбросы;
- 3) исходный материал не требуется в предварительной подготовке;
- 4) процесс производства осуществляется при нормальных температуре и давлении;

5) данный метод является простым и безопасным;

7) низкое переходное контактное сопротивление – низкие потери электроэнергии;

Произведем анализ факторов микросреды, к которым относятся анализ поставщиков, потенциальных покупателей, конкурентов и контактной аудитории. В роли поставщиков материалов выступают компании:

1) ООО «Уралоснастка», г. Екатеринбург - поставка медных заготовок;

2) ЗАО «Кубаньжелдормаш», г. Армавир – алюминиевых заготовок;

Потребительский капитал – произведен анализ целевой аудитории.

Потенциальные покупатели:

- электротехнические подразделения промышленных предприятий;
- предприятия электрических сетей;
- предприятия электротехнической промышленности;
- ОАО “Сибэлектромотор”;
- ОАО “Томскэнерго”;
- ОАО “Томская энергосбытовая компания”;
- ОАО “Томские распределительные сети”;
- ООО “Таврида Электрик”.

Отметим факторы макросреды, влияющие на реализацию проекта:

1) Политические. Отсутствуют государственные программы поддержки предприятий, которые ориентированы на производство контактных пар медь-алюминий с улучшенными свойствами.

2) Социально-культурные. Отсутствует заинтересованность к повышению и улучшению качества контактных деталей в электротехнической отрасли.

3) Международные. Наличие трудностей при взаимодействии с зарубежными потребителями и выхода на международный рынок.

4) Научно-технические. Вероятность финансовой поддержки со стороны государства и частных лиц (гранты, проекты и др.).

5) Экономические. Появление государственных программ, которые будут способствовать повышению энергоэффективности.

Проведем маркетинговые исследования проекта.

Сильными сторонами проекта является улучшенная технология получения контактных пар медь-алюминий с помощью искрового пламенного спекания. Использование данной технологии, позволяет уменьшить переходное контактное сопротивление, в результате чего происходит уменьшение потерь электроэнергии и риск возникновения аварийных ситуаций.

Слабыми сторонами проекта является небольшая производительность установки. Отсутствует автоматизация работы системы на данном этапе развития.

В данный момент времени рынок электрооборудования является одним из самых динамично-развивающихся рынков промышленных товаров и оборудования. Это обусловлено увеличением потребностей в подобных изделиях во всех сферах (в промышленности, в быту, в сельском хозяйстве, на транспорте и др.) повседневной жизни. Рост потребления электроэнергии ведет к увеличению спроса на электрооборудование на протяжении последних лет, за исключением 2009 года, Россия показывает стабильную положительную динамику увеличения спроса на электрооборудование. В скором будущем в России будет продолжаться рост спроса на продукцию электротехнической промышленности. На рисунке 4.2 продемонстрирован график потребления электроэнергии в России с прогнозом до 2016 г. Вступление в силу закона ФЗ 261 от 23 ноября 2009 г. "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" привело к увеличению рынка. Данный закон должен повлечь за собой инициативу внедрения ресурсоэффективных технологий, в том числе и контактной пары медь-алюминий. Иными словами, внедрение контактных пар медь-алюминий, которые были получены искровым плазменным спеканием, позволит увеличить эффективность работы систем электроснабжения и кроме того будут снижены потери электроэнергии.

Такие отрасли как экономика и социальная сфера получают поставки оборудования от электротехнической промышленности. К главным потребителям электрооборудования можно отнести: топливно-энергетический комплекс – 22% поставок, оборонная промышленность – 10%, агропромышленный комплекс – 17%, транспортный комплекс – 10,5%, коммунальное хозяйство – 13,5%, прочие отрасли – 27%.



Рисунок 4.2 – Прогноз потребления электроэнергии в России до 2016 г., млрд кВт.ч

Несомненно, основным фактором, который позволяет оценить возможность проекта, является экспертное оценивание – происходит оценка проблемы на основе мнения экспертов. В конкретном случае производится сравнение имеющихся методов получения контактной пары медь-алюминий. Результаты экспертного оценивания представлены в приложении Б (таблица Б.1). В столбцы с факторами конкурентоспособности по каждому методу ставится оценка от 1 до 10, которая показывает степень удовлетворения потребностям заказчика. Затем внедряются отдельные коррекционные коэффициенты, которые позволяют распределить критерии по важности. Вследствие расчета для искрового плазменного спекания получена максимальная оценка, которая показывает о его максимальной эффективности.

Значимым инструментом маркетингового исследования является SWOT-анализ. Название SWOT-анализа образовано от английских наименований основных четырех компонентов такого анализа:

- Strengths – силы,
- Weaknesses – слабости,
- Opportunities – возможности,
- Threats – угрозы.

Внутренняя ситуация фирмы показана в основном в S и W, а внешняя – в O и T. Методология SWOT-анализа полагает, во-первых, раскрытие внутренних сильных и слабых сторон фирмы, а также внешних возможностей и угроз, и, во-вторых, определение связей между ними. Данные SWOT-анализа приведены в таблице 4.1

Таблица 4.1 – Данные SWOT-анализа

|                   | <b>СИЛЬНЫЕ СТОРОНЫ</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>СЛАБЫЕ СТОРОНЫ</b>                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                   | <b><i>ВОЗМОЖНОСТИ "O" — OPPORTUNITIES</i></b>                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b><i>УГРОЗЫ "T" — THREATS</i></b>                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>ВНЕШНИЕ</b>    | 1. Уникальность получения продукта<br>2. Новизна метода получения<br>3. Рост рынка электротехнической продукции<br>4. Государственная поддержка научно-технических проектов в области энергосберегающих технологий                                                                                                              | 1. Отсутствие просвещенности компаний-покупателей о существующем методе<br>2. Недостаточная заинтересованность потребителей к проблеме энергосбережения                                                                                                                  |
|                   | <b><i>ПРЕИМУЩЕСТВА "S" — STRENGTH</i></b>                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b><i>НЕДОСТАТКИ "W" — WEAKNESS</i></b>                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>ВНУТРЕННИЕ</b> | 1. Большой опыт<br>2. Высококвалифицированный персонал<br>3. Высокое качество продукции<br>4. Простота метода получения<br>5. Быстродействие<br>6. Энергоэффективность, экологическая безопасность<br>7. Инновационные технологии, наличие патентов<br>8. Низкая себестоимость<br>9. Низкое переходное контактное сопротивление | 1. Мало оборотных средств<br>2. Отсутствие в составе проектной команды маркетологов и экономистов<br>3. Отсутствие стратегии развития<br>4. Незвестная торговая марка<br>5. Отсутствие автоматизированной производственной линии<br>6. Малые объемы получаемой продукции |

В процессе анализа определяется следующее.

1. Конкурентные активы. Использование сильных сторон для освоения рыночных возможностей (S-O). Данный метод, который позволяет получить

контактные пары медь-алюминий, можно охарактеризовать такими важными конкурентными преимуществами, как простота метода, быстрое действие, энергоэффективность, экологическая безопасность, низкая себестоимость, высокое качество сварки заготовок, которые способны привлечь инвесторов для выполнения ОКР и коммерциализации проекта, выхода на российский и мировой рынок. Учитывая эти преимущества и инновационный характер разработки, можно надеяться на государственную поддержку проекта.

2. Конкурентные пассивы. Преодоление слабых сторон для нивелирования угроз (W-T). Значительным недостатком проекта является то, что в составе проекта отсутствует проектная команда маркетологов и экономистов. Из этого следует, что отсутствует стратегия развития, неизвестная торговая марка, отсутствие автоматизированной производственной линии, что влечет за собой низкие объемы получаемой продукции. Если в процессе развития проекта команда, в состав команды будут входить высококвалифицированные экономисты, то это даст возможность проводить тщательные исследования мирового и российского рынков, а также шанс выработки стратегии развития компании.

3. Узкие места. Преодоление слабых сторон для освоения возможностей (W-O). Если недостатки, связанные с отсутствием в команде экономистов и маркетологов, а также недостаточно высокими объемами выпуска продукции, будут преодолены, то это даст возможности для освоения и развития рынка электротехнического оборудования.

4. Безопасность и защита. Использование сильных сторон для нивелирования угроз (S-T). Большой опыт работы высококвалифицированной команды проекта, слаженная работа коллектива позволят получить успешное выполнение опытно-конструкторских работ, и приведет к созданию автоматизированной установки.

Из представленных стратегических альтернатив выберем те, которые будут иметь наибольшую силу, вес.

1. Приоритеты угроз – сопоставление угроз с преимуществами и рыночными возможностями. Специалисты из области рекламы смогут просветить компании-потребители о том, что существует метод получения контактной пары медь-алюминий, который обладает улучшенными характеристиками.

2. Приоритеты развития – немедленное улучшение слабых мест, сопоставление недостатков с преимуществами и рыночными возможностями. Необходимо решить главные недостатки проекта, к которым относится отсутствие в команде экономистов и маркетологов, а также небольшой объем производства. При этом присутствует высокий шанс освоения и развития рынка. Данные возможности заинтересуют специалистов по экономике и маркетингу топ-уровня.

Таким образом, в ходе SWOT-анализа были выявлены главные проблемы, которые надо решить в ходе выполнения проекта: увеличить объем производства контактной пары медь-алюминий путем создания автоматизированной установки, а также привлечь в команду высококвалифицированных экономистов и маркетологов.

#### **4.2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок**

Исходя из анализа, можно представить стратегию развития в виде двух сторон: осуществление на базе завершенной НИР этапа ОКР, который будет связан с организацией опытной производственной линии; будет проводиться параллельная подготовка к стадии коммерциализации проекта, т.е. к осуществлению первых продаж продукта.

Разработаем календарный план проекта. Для построения сетевого графика приведем перечень работ (таблица 4.1). При помощи этой таблицы построим сетевой график (Рисунок Б.2), гистограммы бюджета и трудовых ресурсов по времени (рисунок 4.3). Сетевой график дает четкое представление о порядке следования работ, но он недостаточно нагляден для определения

работ в некоторый момент времени. Построим график учета выполнения работ (таблица 4.2).

Разработаем производственный план проекта. Проект, который предлагается относится к инновационным, т.е. в его основе заложена принципиально новая идея, использование которой является потенциально коммерциализируемой. Наиболее оптимальным вариантом является создание малого инновационного предприятия. К главным преимуществами данного вида коммерческой деятельности относится быстрая адаптация к требованиям рынка, гибкость управления и оперативность в выполнении принимаемых решений, низкая потребность в первоначальном капитале и прочее. Однако в данном проекте необходимо учесть вариант реализации, в том числе и при использовании собственных основных фондов. Расчетный бюджет проекта при таком способе реализации приведен ниже в приложении Б (таблица Б.3).

Таблица 4.1 – Перечень работ

|   | Наименование работ                 | Срок, дн. | Исполнители, чел. | Стоимость, тыс.р./дн. | Σ, тыс.р. |
|---|------------------------------------|-----------|-------------------|-----------------------|-----------|
| A | Исследование рынка                 | 7         | 3                 | 1,5                   | 10,5      |
| B | Модернизация тех. установки        | 30        | 10                | 10                    | 300       |
| C | Составление бизнес-плана           | 4         | 2                 | 2                     | 8         |
| D | Работа с инвесторами               | 14        | 1                 | 2                     | 28        |
| E | Регистрация предприятия            | 9         | 2                 |                       | 15        |
| F | Поиск дополнительного персонала    | 7         | 1                 | 1                     | 7         |
| G | Поиск поставщиков оборудования     | 10        | 2                 | 2                     | 20        |
| H | Расширение помещения               | 14        | 2                 |                       | 6000      |
| I | Рекламная кампания                 | 120       | 2                 |                       | 2300      |
| J | Наем дополнительного персонала     | 3         | 1                 | 0,5                   | 1,5       |
| K | Закупка оборудования               | 45        | 1                 |                       | 10000     |
| L | Отделка помещения                  | 15        | 15                |                       | 400       |
| M | Монтаж оборудования                | 30        | 20                | 30                    | 900       |
| N | Акт сдачи – приема                 | 3         | 1                 |                       | 2         |
| O | Отладка системы                    | 12        | 4                 | 4                     | 48        |
| P | Исследование и анализ продукта     | 20        | 5                 |                       | 150       |
| Q | Автоматизация системы              | 15        | 10                | 10                    | 150       |
| R | Выход на производственные мощности | 30        | 15                | 15                    | 450       |
| S | Поиск покупателей                  | 30        | 2                 | 1                     | 30        |
| T | Заключение договоров               | 7         | 2                 | 1                     | 7         |
| Σ |                                    |           |                   |                       | 20827     |

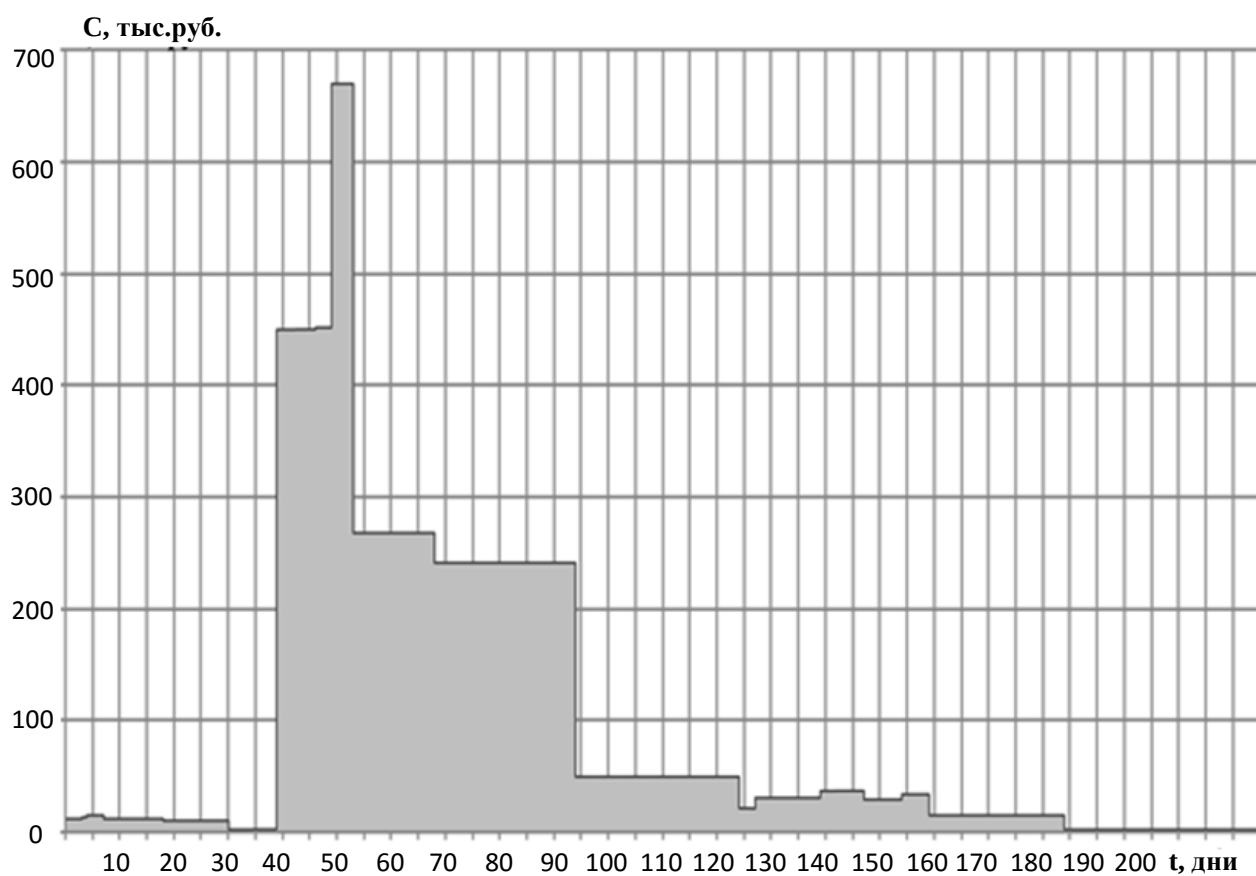


Рисунок 4.3 – Гистограмма бюджета по времени

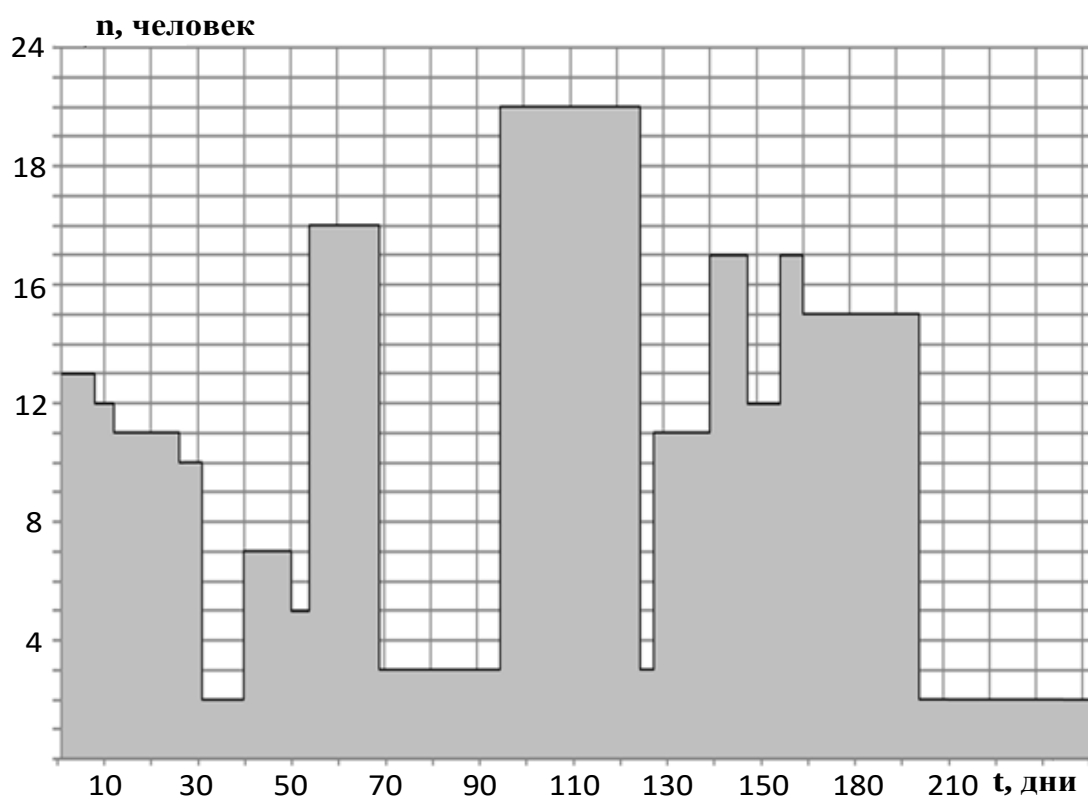


Рисунок 4.2 – Гистограмма трудовых ресурсов по времени

Потребность в инвестициях составляет 20927000 рублей. Финансирование проекта представляется возможным за счет средств частных инвесторов – бизнес-ангелов, либо из средств венчурных фондов (в том числе, РВК – российской венчурной компании).

Проведем расчет финансового плана (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Финансовый план

| Показатели              | тыс. руб |          |          |          |          |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                         | 2014     | 2015     | 2016     | 2017     | 2018     |
| Инвестиционные вложения | 21000    |          |          |          |          |
| Поступления от продаж   |          | 28000,00 | 32000,00 | 36000,00 | 40000,00 |
| Себестоимость           |          | 9000,00  | 10800,00 | 11700,00 | 12600,00 |
| Амортизация             |          | 2500,00  | 2500,00  | 2500,00  | 2500,00  |
| Налоги                  |          | 3800,00  | 4240,00  | 4860,00  | 5480,00  |
| Прибыль                 |          | 19000,00 | 21200,00 | 24300,00 | 27400,00 |
| Чистая прибыль          |          | 15200,00 | 16960,00 | 19440,00 | 21920,00 |
| Чистый доход            |          | 17700,00 | 19460,00 | 21940,00 | 24420,00 |
| Рентабельность продаж   |          | 0,54     | 0,53     | 0,54     | 0,55     |
| Рентабельность          |          | 0,61     | 0,68     | 0,78     | 0,88     |

Расчет инвестиционных вложений произведен с учетом бюджета проекта и расширения производства (закупка оборудования) через два года. Налоги рассчитаны по упрощенной системе налогообложения (20% от выручки).

На протяжении анализируемого периода поступления от основной деятельности являются положительными и возрастают от периода к периоду. Таким образом, основная деятельность дает стабильный приток денежных средств, что положительно характеризует финансовое состояние предприятия.

#### **4.3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности**

Разработаем инвестиционный план проекта.

К числу основных финансовых показателей относят:

1. ЧДД (NPV) – чистый дисконтированный доход:

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{ЧД_i}{(1+r)^i} - \sum_{i=1}^n \frac{K_i}{(1+r)^i} = \frac{17700}{(1+0,1)^1} + \frac{19460}{(1+0,1)^2} + \frac{21940}{(1+0,1)^3} + \frac{24420}{(1+0,1)^4} - \frac{21000}{(1+0,1)^0} = 44336 \text{ тыс. руб}$$

где ЧД<sub>i</sub> – чистый доход i-го года; К<sub>i</sub> – объем инвестиций по годам реализации проекта; n – срок реализации проекта; r – номер дисконта, принимаем равной 0,1.

2. ИД (PI) – индекс доходности:

$$PI = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{ЧД_i}{(1+r)^i}}{\sum_{i=1}^n \frac{K_i}{(1+r)^i}} = \frac{\frac{17700}{(1+0,1)^1} + \frac{19460}{(1+0,1)^2} + \frac{21940}{(1+0,1)^3} + \frac{24420}{(1+0,1)^4}}{\frac{21000}{(1+0,1)^0}} = 3,111$$

3. Т<sub>ок</sub> – дисконтируемый срок окупаемости:

$$NPV_0 = \frac{21000}{(1+0,1)^0} = -21000 \text{ тыс. руб};$$

$$NPV_1 = \frac{17700}{(1+0,1)^1} - \frac{21000}{(1+0,1)^0} = -4909 \text{ тыс. руб};$$

$$NPV_2 = \frac{17700}{(1+0,1)^1} + \frac{19460}{(1+0,1)^2} - \frac{21000}{(1+0,1)^0} = 11174 \text{ тыс. руб};$$

$$NPV_3 = \frac{17700}{(1+0,1)^1} + \frac{19460}{(1+0,1)^2} + \frac{21940}{(1+0,1)^3} - \frac{21000}{(1+0,1)^0} = 27657 \text{ тыс. руб.}$$

$$NPV_4 = \frac{17700}{(1+0,1)^1} + \frac{19460}{(1+0,1)^2} + \frac{21940}{(1+0,1)^3} + \frac{24420}{(1+0,1)^4} - \frac{21000}{(1+0,1)^0} = 44336 \text{ тыс. руб.}$$

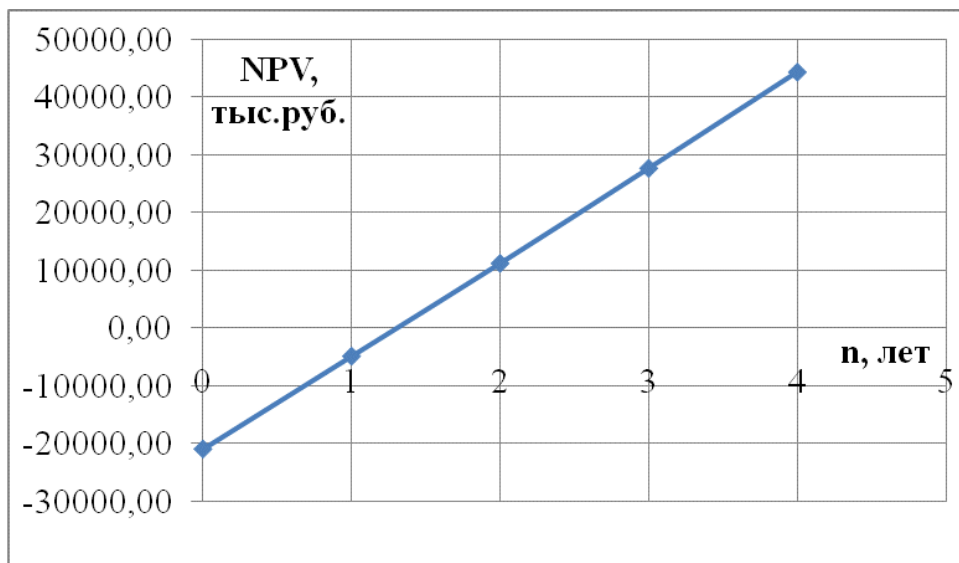


Рисунок 4.3 – График NPV(t)

Дисконтируемый срок окупаемости 2 года.

4. ВНД (IRR) – внутренняя норма доходности:

$$IRR = r \text{ при } NPV = 0;$$

$$NPV_{r=0,2} = 31737 \text{ тыс.руб};$$

$$NPV_{r=0,3} = 26667 \text{ тыс.руб};$$

$$NPV_{r=0,8} = 15924 \text{ тыс.руб};$$

$$NPV_{r=1,0} = 928 \text{ тыс.руб};$$

$$NPV_{r=1,2} = -5830 \text{ тыс.руб.}$$

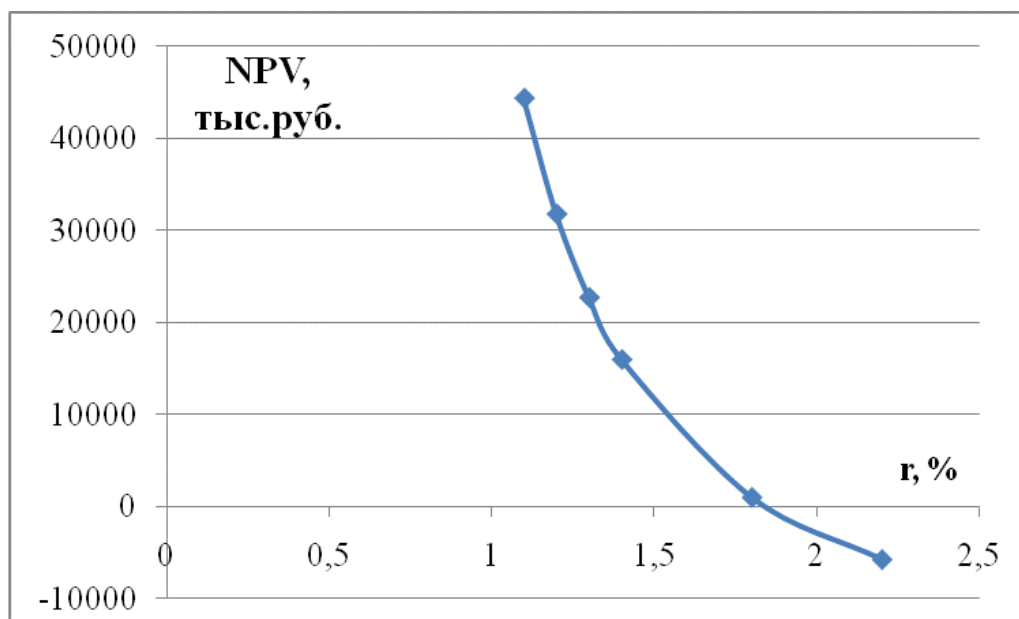


Рисунок4.4 – График NPV(r)

По расчетам получено  $IRR=101\%$ .

Произведем оценку рисков. Определение рисков является одним из важнейших моментов при создании проекта. Учет рисков даст возможность избежать опасные факторы, которые негативно отражаются на внедрении в жизнь проекта.

Затем производится оценка важности рисков. При оценке важности рисков оценивается вероятность их наступления ( $P_i$ ). По шкале от 0 до 100 процентов: 100 – наступит точно, 75 – скорее всего наступит, 50 – ситуация неопределенности, 25 – риск скорее всего не наступит, 0 – риск не наступит).

Важность оценивается по 10- балльной шкале. Оценка важности рисков приведена в таблицах 1.2-1.6.

Таблица 4.3 – Социальные риски

| № | Риски                                            | $P_i$ | $b_i$ | $w_i$ | $P_i \cdot w_i$ |
|---|--------------------------------------------------|-------|-------|-------|-----------------|
| 1 | Низкая квалификация ремонтного персонала         | 0     | 2     | 0,071 | 0               |
| 2 | Непросвещенность компаний о предлагаемом методе  | 50    | 5     | 0,178 | 8,928           |
| 3 | Бюрократические проволочки на стадии регистрации | 50    | 8     | 0,285 | 14,285          |
| 4 | Несоблюдение техники безопасности                | 25    | 7     | 0,25  | 6,25            |
| 5 | Увеличение нагрузки на персонал                  | 50    | 5     | 0,178 | 8,928           |
| 6 | Отсутствие корпоративных стандартов              | 75    | 1     | 0,035 | 2,678           |
|   | Сумма                                            |       | 28    | 1     | 41,071          |

Таблица 4.4 – Экономические риски

| № | Риски                                      | $P_i$ | $b_i$ | $w_i$ | $P_i \cdot w_i$ |
|---|--------------------------------------------|-------|-------|-------|-----------------|
| 1 | Инфляция                                   | 100   | 1     | 0,019 | 1,960           |
| 2 | Экономический кризис                       | 25    | 2     | 0,039 | 0,980           |
| 3 | Недобросовестность поставщиков             | 25    | 6     | 0,117 | 2,941           |
| 4 | Непредвиденные расходы в плане работ       | 50    | 7     | 0,137 | 6,862           |
| 5 | Снижение уровня спроса на продукцию        | 50    | 10    | 0,196 | 9,803           |
| 6 | Сложность выхода на мировой рынок          | 75    | 7     | 0,137 | 10,29           |
| 7 | Колебания рыночной конъюнктуры             | 25    | 6     | 0,117 | 2,941           |
| 8 | Отсутствие в числе сотрудников экономистов | 25    | 2     | 0,039 | 0,980           |
| 9 | Низкие объемы сбыта                        | 50    | 10    | 0,196 | 9,803           |
|   | Сумма                                      |       | 51    | 1     | 46,56           |

Таблица 4.5 – Политические риски

| № | Риски                                                   | $P_i$ | $b_i$ | $w_i$ | $P_i \cdot w_i$ |
|---|---------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-----------------|
| 1 | Снижение приоритета Правительства РФ в энергосбережении | 25    | 7     | 0,466 | 11,666          |
| 2 | Смена власти                                            | 0     | 1     | 0,066 | 0               |
| 3 | Угроза национализации                                   | 0     | 1     | 0,066 | 0               |
| 4 | Отсутствие поддержки со стороны чиновников              | 75    | 6     | 0,4   | 30              |
|   | Сумма                                                   |       | 15    | 1     | 41,666          |

Таблица 4.6 – Технологические риски

| № | Риски                                            | $P_i$ | $b_i$ | $w_i$  | $P_i \cdot w_i$ |
|---|--------------------------------------------------|-------|-------|--------|-----------------|
| 1 | возможность поломки оборудования                 | 25    | 7     | 0,25   | 6,25            |
| 2 | низкое качество поставленного оборудования       | 25    | 9     | 0,3214 | 8,0357          |
| 3 | неправильная сборка оборудования                 | 25    | 8     | 0,2857 | 7,1428          |
| 4 | опасность для работающего персонала и аппаратуры | 75    | 4     | 0,1428 | 10,714          |
|   | Сумма                                            |       | 28    | 1      | 32,142          |

Таблица 4.7 – Научно-технические риски

| № | Риски                                                          | $P_i$ | $b_i$ | $w_i$ | $P_i \cdot w_i$ |
|---|----------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-----------------|
| 1 | развитие конкурентных технологий                               | 75    | 7     | 0,145 | 10,937          |
| 2 | создание новых методов получения контактной пары               | 75    | 7     | 0,145 | 10,937          |
| 3 | риск невозможности усовершенствования технологии               | 50    | 8     | 0,166 | 8,333           |
| 4 | отсутствие результата в установленные сроки                    | 50    | 7     | 0,145 | 7,2916          |
| 5 | получение отрицательного результата при внедрении производство | 25    | 10    | 0,208 | 5,208           |
| 6 | несвоевременное патентование                                   | 25    | 9     | 0,187 | 4,687           |
|   | Сумма                                                          |       | 48    | 1     | 47,395          |

Произведем расчет общих рисков (таблица 4.8), которые дают общую оценку в 43, т.е. проект имеет право на жизнь, хотя и не лишен препятствий. Оценка групп риска с наиболее высокими показателями будет учтена на этап ОКР, чтобы по возможности снизить их отрицательное влияние.

Таблица 4.8 – Общие риски

| № п/п | Риски              | $P_i$ | $b_i$ | $w_i$  | $b_i \cdot w_i$ |
|-------|--------------------|-------|-------|--------|-----------------|
| 1     | Социальные         | 6     | 0,162 | 41,071 | 6,660           |
| 2     | Экономические      | 9     | 0,243 | 46,568 | 11,327          |
| 3     | Политические       | 4     | 0,108 | 41,666 | 4,504           |
| 4     | Технологические    | 8     | 0,216 | 32,142 | 6,949           |
| 5     | Научно-технические | 10    | 0,270 | 47,395 | 12,809          |
| Итого |                    |       | 9     |        | 43              |

Расчет рисков дает общую оценку в **43**. Эта цифра говорит, что проект имеет право на жизнь, хотя и не лишен вероятных препятствий. Оценка отдельных групп риска (с наиболее высокими показателями, в особенности научно-технические и технологические) будет учтена на подготовительном этапе, чтобы по возможности снизить их отрицательное влияние на проект в целом.

4. Мероприятия по снижению возможных рисков при сооружении проекта:

Социальные:

Несоблюдение техники безопасности – применять плакаты и таблички при проведении работ, составить правила по технике безопасности, ведение журнала по технике безопасности.

Отсутствие корпоративных стандартов – составить общие правила для персонала.

Низкая квалификация персонала – произвести тщательный подбор персонала.

Инертность российской промышленности в отношении передовых технологий – провести презентации и показы, с целью доказательства эффективности и превосходства нашего материала.

Экономические:

Инфляция – заранее просчитать все расходы с учетом инфляции и может даже с запасом.

Недобросовестные поставщики – нужно выбрать добросовестных и проверенных поставщиков.

Непредвиденные расходы – закладка в бюджет непредвиденных расходов.

Низкие объемы производства - в среднесрочном плане, при нехватке производственных мощностей, планируется увеличить площади производства 2-3 раза.

Снижение уровня спроса – производить активную рекламную кампанию.

Технологические:

Опасность повреждения оборудования при транспортировке – при транспортировке оборудования выбрать проверенных перевозчиков.

Опасность повреждения оборудования при монтаже – сделать план размещения оборудования, провести тщательную подготовку перед монтажом.

Возможность поломки оборудования – заказать оборудование у известных фирм-производителей, регулярно следить за бережным отношением к оборудованию при эксплуатации.

Низкое качество поставленного оборудования – заказать оборудование у известных фирм-производителей.

Неправильная сборка оборудования – заранее сделать схемы соединений между частями оборудования, провести проверку соединений после сборки.

Политические:

Снижение поддержки со стороны государства – скорее всего очень маловероятно, поскольку развитие nanoиндустрии в России является одним из приоритетных направлений развития науки и техники.

Смена власти – скорее всего очень маловероятно.

Нарушение действующих нормативных актов и стандартов – назначить ответственного за соблюдение всех правил.

Научно-технические:

Развитие конкурентных технологий – постоянно искать пути оптимизации технологии.

Создание новых методов синтеза – постоянно искать пути оптимизации технологии.

Материал не соответствует заявленным свойствам – при производстве на новом запущенном оборудовании произвести тщательный анализ получаемого порошка различными методами.

Данный проект подвержен рискам, однако если относиться к выполнению работ добросовестно, то большинство из них исключено. Социальные риски легко устранимы при должном выполнении всех намеченных мероприятий. Политические риски в основном в принципе не возможны. Технических рисков можно избежать, если относиться к выбору поставщиков добросовестней, а также внимательно следить за условиями труда рабочих, и самим технологическим процессом. Экономические же риски можно преодолеть заранее к ним подготовившись – грамотно оценить рентабельность проекта, оправданность и сумму вкладываемых средств. Научно-технические риски преодолеваются путем постоянной оптимизации технологии. Исходя из

всего вышеперечисленного, можно смело утверждать, что проект можно воплотить в жизнь.

Таким образом, при учете возможности возникновения факторов, указанных при оценке рисков, а также при применении вышеуказанных мероприятий, предлагаемый проект является реализуемым. В особенности при реализации этапа опытно-конструкторских работ следует обратить внимание на научно-технические и технологические риски.

В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были решены следующие задачи:

1) Проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования на примере SWOT-анализа, результат которого показал большой потенциал НТИ.

2) Разработан план исследования по оптимизации системы электропитания магнитоплазменного ускорителя. Общая максимальная длительность выполнения работы составила 210 календарных дней.

3) Суммарный бюджет затрат НТИ составил – 20927000 рублей. Расчет бюджета осуществлялся на основе следующих пунктов:

- расчет материальных затрат НТИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

4) Определена целесообразность и эффективность научного исследования путем анализа и оценки научно-технического уровня проекта, а также оценки возможных рисков. В результате проводимое исследование имеет высокую значимость теоретического и практического уровня и приемлемый уровень рисков.

Следует отметить важность для исследования в целом проведенных в данной главе работ, которые позволили объективно оценить эффективность проводимого научно-технического исследования.