

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

---

Инженерная школа новых производственных технологий  
Направление подготовки: 16.03.02 «Высокотехнологические плазменные и энергетические установки»  
Отделение материаловедения

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Исследование характеристик совместного электрического взрыва двух проволок из различных металлов

УДК 669.018-419.4-426.537.521-047.37

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т41	Сулиз Константин Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОМ ИШНПТ	Первиков Александр Васильевич			

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ИШБИП	Верховская Марина Витальевна	к.экон.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОКД ИШНКБ	Ахмеджанов Рафик Равильевич	д.биол.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Плазменно-пучковые и электроразрядные технологии	Лопаткин Сергей Анатольевич	к.т.н.		

## ЗАПЛАНИРОВАННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ОПП

Код результата	Результаты обучения
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P1	Применять естественнонаучные и профессиональные знания в области физики плазмы, пучково-плазменных и электроразрядных технологий в профессиональной деятельности
P2	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области профессиональной деятельности
P3	Применять полученные знания для решения комплексных задач, возникающие при разработке и эксплуатации новой техники и технологий
P4	Разрабатывать, внедрять, эксплуатировать и обслуживать высокотехнологичное оборудование в предметной сфере, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования защиты окружающей среды
P5	Владеть методами проведения и планирования аналитических, имитационных и экспериментальных исследований по своей специализации с использованием новейших достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний, соответствующей выполняемой работе
P6	Владеть методами и компьютерными системами проектирования и исследования в области профессиональной деятельности
<b>Универсальные компетенции</b>	
P7	Использовать базовые и специальные знания естественных, гуманитарных и экономических наук для ведения комплексной инженерной деятельности
P8	Демонстрировать знания правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, компетентность в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения комплексной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуальной и в качестве члена команды, проявлять навыки руководства группой исполнителей, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, с делением ответственности и полномочий при решении комплексных инженерных задач
P10	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной научной деятельности
P11	Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля; осознавать перспективность интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования; уметь критически оценивать свои достоинства и недостатки

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

---

Инженерная школа новых производственных технологий  
Направление подготовки: 16.03.02 «Высокотехнологические плазменные и энергетические установки»  
Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:  
Заведующий отделением:

\_\_\_\_\_  
(Подпись)

\_\_\_\_\_  
(Дата)

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

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

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
4Т41	Сулиз Константин Владимирович

Тема работы:

Исследование характеристик совместного электрического взрыва двух проволок из различных металлов

Утверждена приказом директора (номер, дата)

№1780/с, от 15.03.2018г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

Исходные данные к работе	
	Объектом исследования является система, состоящая из двух переплетенных между собой проволок различных металлов. Данная система используется для получения биметаллических наночастиц методом электрического взрыва проводника (ЭВП). Предметом исследования являются энергетические характеристики электрического взрыва двух переплетенных проволок из различных металлов. В работе используются проволоки с близкими геометрическими параметрами, что дает возможность оценить влияние только теплофизических параметров и удельного сопротивления металлов на нагрев проволок импульсом тока с плотностью порядка $10^7$ А/см <sup>2</sup> .

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Аналитический обзор литературы с целью определения уровня разработанности темы исследования. Обязательному исследованию подлежат особенности протекания импульса тока с плотностью порядка $10^7$ А/см <sup>2</sup> через две переплетенные проволоки из различных металлов.
<b>Перечень графического материала</b>	
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская Марина Витальевна
Социальная ответственность	Ахмеджанов Рафик Равильевич

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения материаловедения	Первиков Александр Васильевич			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т41	Сулиз Константин Владимирович		

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

Инженерная школа новых производственных технологий  
 Направление подготовки: 16.03.02 «Высокотехнологические плазменные и энергетические установки»  
 Уровень образования: Бакалавр  
 Отделение материаловедения  
 Период выполнения: осенний/весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
---------------------

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ–ПЛАН**  
**Выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела/ вид работы	Максимальный балл раздела
11.09.2017	Составление и утверждение задания ВКР	5
18.09.2017	Составление плана работы	5
25.09.2017	Проведение обзора литературы по теме ВКР	15
15.12.2017	Подготовка отчета по результатам обзора литературы в рамках темы ВКР	20
25.01.2018	Проведение экспериментов, анализ результатов	15
15.05.2018	Подготовка отчета по результатам экспериментов	20
30.05.2018	Подготовка доклада с обсуждением полученных результатов	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения материаловедения	Первиков Александр Васильевич			

**СОГЛАСОВАНО:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 67 с., 18 рис., 21 табл., 20 источников.

Ключевые слова: ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ВЗРЫВ ПРОВОДНИКА; БИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ НАНОЧАСТИЦЫ; НАНОПОРОШКИ.

Объектом исследования является электрический взрыв двух проводников из различных металлов.

Цель работы – определение энергетических характеристик электрического взрыва двух проводников из различных металлов, влияющих на синхронность взрывов.

В процессе исследования проводились опыты по получению временных зависимостей токов и напряжений при взрыве двух проводников из различных металлов.

В результате исследования определены параметры металлов, влияющие на синхронность взрыва

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: производительность установки УДП-4 – 55 г/час.

## Оглавление

Введение.....	9!
1 Обзор литературы .....	10!
2 Объекты и методы исследования .....	16!
3 Результаты проведенного исследования .....	21!
3.1 Характеристики нагрева импульсом тока двух переплетенных проволок из различных металлов.....	21!
3.2 Критерий синхронности/несинхронности электрического взрыва двух проволок.....	28!
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... 32!	
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	32!
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	32!
4.1.2 Оценка технических решений по технологии QuaD.....	34!
4.1.3 SWOT–анализ.....	36!
4.2 Планирование научно–исследовательской работы.....	39!
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	39!
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	40!
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	41!
4.3 Бюджет научно–технического исследования (НТИ).....	43!
4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	44!
4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных .....	44!
4.3.3 Зарботная плата исполнителей .....	45!
4.4 Расчет научно–технического эффекта .....	48!
5 Социальная ответственность.....	52!
5.1 Производственная безопасность .....	53!
5.1.1 Анализ опасных производственных факторов .....	53!
5.1.2 Анализ вредных производственных факторов .....	55!
5.2 Экологическая безопасность.....	59!

5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	60!
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	61!
5.4.1 Требования к охране труда .....	61!
5.4.2 Женский труд .....	61!
5.4.3 Отпуска .....	61!
5.4.4 Медицинские осмотры и лечебно-профилактическое питание .....	62!
5.4.5 Рабочее место при выполнении работ .....	62!
Заключение .....	64!
Список использованных источников .....	65!



## Введение

Результаты фундаментальных и прикладных исследований свидетельствуют о перспективности использования биметаллических наночастиц в материаловедении, медицине, катализе. Консолидация биметаллических наночастиц позволяет получить объемные нанокристаллические материалы с новыми или улучшенными свойствами. Данные результаты способствуют разработке и совершенствованию новых методов получения биметаллических наночастиц.

Биметаллические наночастицы могут быть получены различными методами. Одним из таких методов является электрический взрыв проводников (ЭВП). Для получения биметаллических наночастиц с помощью ЭВП могут быть использованы как проволоки конкретных сплавов, так и две переплетенные между собой проволоки из различных металлов. Изменяя диаметры проволок можно задать различное соотношение компонентов в продуктах взрыва проволок, определяющее структурно-фазовое состояние формирующихся биметаллических наночастиц. Данный подход позволяет получить более широкий спектр биметаллических наночастиц в сравнении с ЭВП на основе сплавов.

Согласно современным представлениям о природе ЭВП, основным параметром, определяющим структурные характеристики наночастиц, является величина энергии ( $E$ ), вводимая в проволоку к моменту взрыва. Для получения биметаллических наночастиц методом электрического взрыва двух переплетенных проволок могут быть использованы различные металлы, которые принято делить на две группы: I группа – металлы с низкой температурой плавления и низким теплосодержанием парообразования (Cu, Al, Pb и др.), II группа – металлы с высокой температурой плавления и высоким теплосодержанием парообразования (W, Ti, Fe и др.). Обзор литературы показал, что в настоящее время в литературе отсутствуют данные о характере нагрева импульсом тока переплетенных проволок из различных металлов, определяющем величины  $E$  для каждой из проволок.

## 1 Обзор литературы

Электрический взрыв проводника – это резкое изменение физического состояния металла в результате интенсивного выделения в нем энергии при пропускании импульсного тока большой плотности ( $j \geq 10^6 \text{ A/cm}^2$ ), приводящее к нарушению металлической электропроводности и сопровождающееся генерацией ударных волн и электромагнитного излучения [1].

Различают следующие режимы ЭВП: медленный, быстрый и сверхбыстрый [2].

Медленный взрыв – время ввода энергии, необходимой для полного разрушения проводника, намного больше времени развития макроскопических неустойчивостей. Характерно при плотности тока не более  $10^7 \frac{\text{A}}{\text{cm}^2}$ ;

Быстрый взрыв – время ввода энергии в проводник меньше времени развития неустойчивостей. Характерно при плотностях тока, больших  $10^7 \frac{\text{A}}{\text{cm}^2}$ ;

Сверхбыстрый взрыв – скорость энерговыделения в проводнике ограничивается скоростью диффузии магнитного поля в проводник, при этом существенно влияет скин-эффект. Характерно при плотностях тока, больших  $10^8 \frac{\text{A}}{\text{cm}^2}$ .

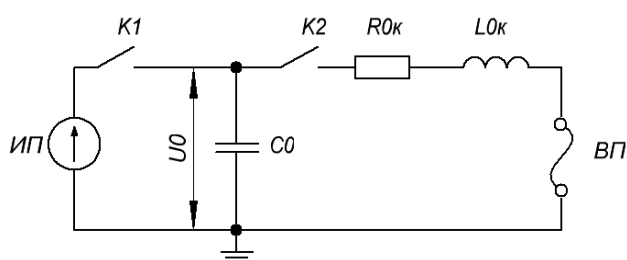
Можно выделить следующие области применения ЭВП:

- генерация ударных волн [3];
- инициирование разрядного канала [4];
- X-пинч диагностика [5];
- прерыватели тока [6];
- получение ультрадисперсных порошков [7,8].

Остановившись на получении ультрадисперсных порошков (УДП), можно сказать, что метод ЭВП имеет следующие преимущества:

- 1) высокий КПД преобразования энергии (до 90%) [9];
- 2) более узкое распределение частиц по размерам в сравнении с другими физическими методами (испарение-конденсация, механохимия);
- 3) возможность получения частиц металлов, сплавов и их химических соединений на одном и том же оборудовании.

Для осуществления ЭВП применяется малоиндуктивная цепь с накопителем энергии и коммутатором (рис. 1). При помощи источника питания *ИП*, ключом  $K_1$  замыкают цепь, заряжая батарею конденсаторов  $C_0$  до зарядного напряжения  $U_0$ . Коммутатором, ключом  $K_2$ , обеспечивающим быструю подачу напряжения на взрываемый проводник (ВП), как правило, служит управляемое газоразрядное устройство [10].



*ИП* – источник питания;  $C_0$  – зарядная емкость батареи конденсаторов;

$K_1$  – ключ;  $K_2$  – ключ (газоразрядное устройство);

$R_{0к}$ ,  $L_{0к}$  – сопротивление и индуктивность токоведущего контура;

*ВП* – взрываемый проводник;  $U_0$  – зарядное напряжение

Рисунок 1 – Электрическая схема с взрывающимся проводником

Размеры частиц, получаемых методом ЭВП, в зависимости от величины энергии, введенной в проводник, лежат в диапазоне от десятков нанометров до единиц микрометров [9].

Основными параметрами, определяющими средний размер частиц, получаемых при ЭВП, являются:

- энергия, введенная в проводник к моменту взрыва;
- диаметр ВП;
- тип буферного газа (He, Ar, N<sub>2</sub>);
- давление буферного газа;
- время ввода энергии в проводник.

Стоит уделить внимание каждому параметру.

Введенная энергия. Для ЭВП, с целью получения ультрадисперсных порошков (УДП), запасаемая энергия, с учетом (5–10)% активных потерь в токоведущем контуре, должна быть равна [9]:

$$E = (0,5 - 2,5) \cdot E_c. \quad (1)$$

где  $E$  – энергия, введенная в проволоку к моменту взрыва. Величина  $E$  рассчитывается на основании регистрируемых при ЭВП временных зависимостей тока и напряжения;

$E_c$  – энергия сублимации взрываемого проводника.

В этих условиях запасенная в батарее энергия расходуется на ЭВП наиболее эффективно.

На рисунке 2 представлен график зависимости среднего размера частиц получаемых УДП от отношения запасаемой энергии к энергии сублимации для медного проводника [10].

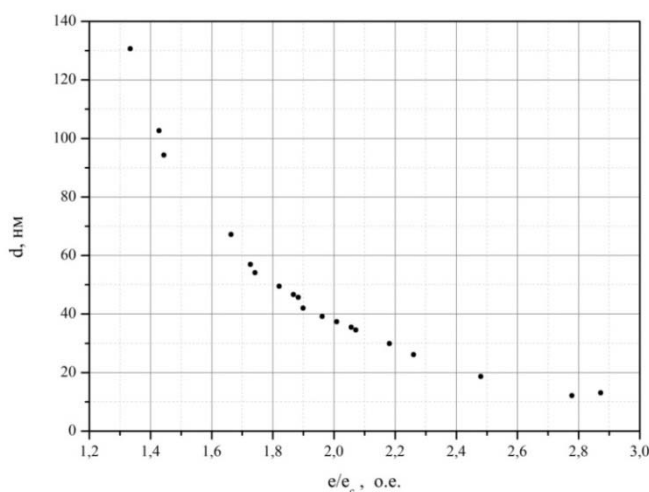


Рисунок 2 – График распределения диаметра получаемых частиц УДП от отношения запасаемой энергии к энергии сублимации для медного проводника

Диаметр ВП. При меньшем значении диаметра ВП, средний размер частиц УДП будет меньше. Это было установлено в работе [11].

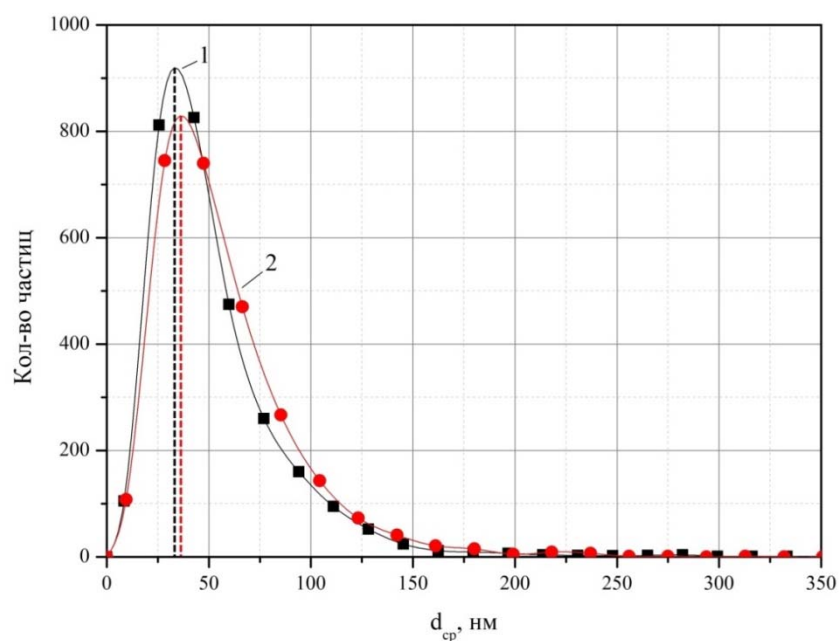
Тип буферного газа. ЭВП происходит в газовой среде под давлением. С целью получения частиц металлов и сплавов в качестве буферного газа используются инертные газы, такие как He, Ar. С целью получения химических соединений в качестве буферного газа используют либо смеси (Ar+O<sub>2</sub>, He+O<sub>2</sub>), либо чистые газы (N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) [10,11].

Давление газа. Помимо газовой среды, важное влияние на средний размер частиц УДП оказывает давление газовой среды. Так, в работе [11], было показано, что увеличение давления буферного газа приводит к увеличению среднего размера частиц.

Время ввода энергии. Время ввода энергии зависит от емкости зарядной батареи и индуктивности токоведущего контура следующим соотношением (2):

$$t_g = \pi \cdot \sqrt{L_{o_k} \cdot C_0}. \quad (2)$$

Был проведен эксперимент по получение ультрадисперсного порошка диоксида титана, при следующих зарядных емкостях:  $C_1 = 1,6 \text{ мкФ}$  и  $C_2 = 0,8 \text{ мкФ}$ . Прочие параметры одинаковые. Получен график распределения среднего размера частиц, рисунок 3. Как видно из графика, при зарядной емкости  $C_1$  средний размер частиц меньше, чем при зарядной емкости  $C_2$ . Из этого следует, что при меньшем времени ввода энергии, средний размер частиц становится меньше.



1 – C<sub>1</sub>; 2 – C<sub>2</sub>

Рисунок 3 – График распределения среднего размера частиц

Методом ЭВП могут быть получены порошки на основе наночастиц сплавов: Fe-Al; Cu-Al; Ni-Al; Fe-Ti, путем взрыва скрутки двух проводников этих металлов [12–14]. Но, не смотря на техническую возможность, остается неизвестным характер совместного взрыва двух проволок из различных металлов. Величина энергии, вводимая в каждый проводник, и длительность нагрева проводников главным образом зависят от теплоемкости и удельного электрического сопротивления каждого металла. Металлы, с более высоким удельным электрическим сопротивлением и меньшей удельной теплоемкостью достигают температуры плавления быстрее, чем металлы с меньшим удельным электрическим сопротивлением и большей удельной теплоемкостью. В связи с этим, в проводники могут быть введены разные энергии, что способствует взрыву проволок в различные моменты времени (несинхронный взрыв). Несинхронный взрыв проводников создает условия для неэффективного перемешивания продуктов ЭВП, что способствует формированию отдельных частиц металлов, а не сплавов.

Во избежание несинхронного взрыва и получения ультрадисперсных порошков сплавов двух разнородных металлов необходимо понимать

характер совместного взрыва скрутки проводников из разнородных металлов. Для этого необходим анализ временных зависимостей тока каждого проводника и напряжения, с целью определения и понимания фазовых переходов металлов.

**Цель работы** – определить энергетические характеристики совместного электрического взрыва двух проволок из различных металлов.

Задачи:

- выбрать характерные пары металлов, относящихся к I, II и I – II группам металлов;
- произвести регистрацию временных зависимостей тока и напряжения, характерных для совместного электрического взрыва проволок из выбранных пар металлов;
- определить величины энергий, вводимых в проволоки к моменту взрыва, определить основные параметры, обуславливающие синхронность/несинхронность электрического взрыва двух проволок из различных металлов.

## 2 Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования были выбраны 4 пары металлов: Al-Cu, Fe-Ti, Fe-Cu и Fe-Pb (№5÷8, таблица 1). Также были проведены эксперименты по определению временных зависимостей тока, характерных для электрического взрыва одиночных проволок из используемых металлов (№1÷4, таблица 1). Биметаллические наночастицы, получаемые при электрическом взрыве указанных пар металлов, могут быть использованы в качестве высокоэнергетических материалов [15], накопителей водорода [16], материалов для получения нанокристаллических сплавов с улучшенными прочностными и антифрикционными свойствами [17, 18].

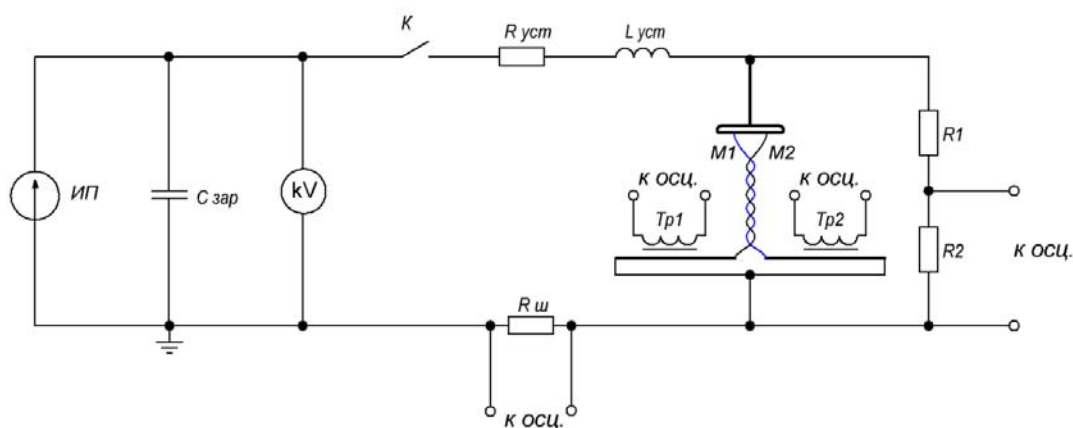
Таблица 1 – Параметры экспериментов

№	Образцы	Металл	$d_0$ , мм	$l$ , мм	$U_0$ , кВ	Группа
1		Cu	0,30	80	29	I
2		Pb	0,28	80	29	I
3		Fe	0,30	80	29	II
4		Ti	0,32	80	29	II
5	Al-Cu	Al	0,25	100	30	I
		Cu	0,20	100		I
6	Fe-Ti	Fe	0,30	80	34	II
		Ti	0,32	80		II
7	Fe-Cu	Fe	0,20	80	30	II
		Cu	0,20	80		I
8	Fe-Pb	Fe	0,30	80	33	II
		Pb	0,30	80		I

Проводники имели одинаковую длину с близкими значениями диаметров. Выбор такой геометрии проволок был обусловлен необходимостью определить влияние параметров (сопротивление, теплоемкость) металлов на характеристики нагрева и взрыва проволок.

Регистрация временных зависимостей тока и напряжения проводилась на установке УДП-4, принципиальная электрическая схема которой представлена на рисунке 4.





*ИП* – высоковольтный источник питания;

$C_{зар}$  – зарядная емкость батареи конденсаторов;

*K* – ключ (воздушный разрядник);  $M_1$ ,  $M_2$  – взрывааемые проводники;

$R_{уст}$ ,  $L_{уст}$  – активное сопротивление и индуктивность установки;

$Tr_1$ ,  $Tr_2$  – измерительные трансформаторы тока;

$R_1$ ,  $R_2$  – высокоомное и низкоомное плечи делителя напряжений;

$R_{ш}$  – сопротивление шунта; *kV* – киловольтметр

Рисунок 4 –Принципиальная электрическая схема установки УДП–4

Зарядная батарея конденсаторов  $C_{зар}$  заряжается от высоковольтного источника питания *ИП*, напряжение контролируется киловольтметром *kV*. Временные зависимости токов и напряжений регистрировались осциллографом Tektronix TDS 2024 при помощи измерительных трансформаторов тока, рисунок 5, токового шунта, рисунок 6, и делителя напряжений.

Измерительный трансформатор тока имеет следующие параметры: сердечник ферритовый НМ2000–1; 100 витков; пассивная цепь интегрирования с сопротивлением 5 Ом.

Токовый шунт, с резисторами на основе нихромовой проволоки диаметром 0,1 мм, имеет сопротивление 0,006 Ом.

Делитель напряжений имеет сопротивление высокоомного плеча 20 кОм, сопротивление низкоомного плеча 50 Ом.



Рисунок 5 – Измерительный трансформатор тока



Рисунок 6 – Токовый шунт

Для переплетенных проволок из различных металлов, характерно наличие электрического контакта между соприкасающимися поверхностями, что обуславливает возможность протекания электрического тока в местах контакта. Согласно [19], сопротивление электрического контакта между двумя поверхностями зависит от величины прикладываемых усилий (силе сжатия поверхностей), состояния поверхности (наличия окислов). В экспериментах исследуемые проволоки не подвергались сжатию и удалению

окислов с поверхности, что позволяет пренебречь величиной токов, протекающих в области электрических контактов из-за их малости по причине высокого электрического сопротивления.

Расчет активного сопротивления и индуктивности установки осуществлялся по формулам (3) и (4), на основании данных опыта КЗ, который проводился при следующих зарядных параметрах:  
 $U_{зар} = 29 \text{ кВ}$ ;  $C_{зар} = 2 \text{ мкФ}$ .

$$R_{уст} = \frac{2 \cdot L_{уст} \cdot \ln(\Delta)}{T} \quad (3)$$

$$L_{уст} = \frac{T^2}{C_{зар} \cdot \left(4 \cdot \pi^2 + (\ln(\Delta))^2\right)} \quad (4)$$

где  $T$  – период колебаний тока, определенный из опыта КЗ;  
 $\Delta$  – декремент затухания.

Декремент затухания рассчитывается по формуле (5):

$$\Delta = \frac{I_1}{I_3} \quad (5)$$

где  $I_1, I_3$  – амплитуды токов 1 и 3 полуволны, определенных из опыта КЗ.

Осциллограмма тока в режиме КЗ представлена на рисунке 7.

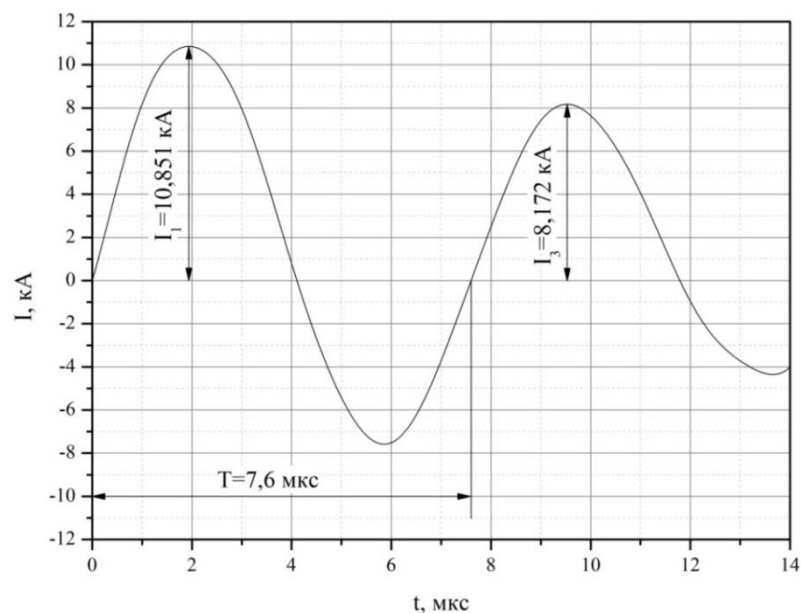


Рисунок 7 – Осциллограмма тока режима КЗ

Декремент затухания, по формуле (5), равен:

$$\Delta = \frac{I_1}{I_3} = \frac{10,851}{8,172} = 1,328.$$

Индуктивность установки, по формуле (4), равна:

$$L_{уст} = \frac{T^2}{C_{зар} \cdot \left(4 \cdot \pi^2 + (\ln(\Delta))^2\right)} = \frac{(7,6 \cdot 10^{-6})^2}{2 \cdot 10^{-6} \cdot \left(4 \cdot \pi^2 + (\ln(1,328))^2\right)} = 7,301 \cdot 10^{-7} \text{ Гн} =$$

$= 0,73 \text{ мкГн}.$

Активное сопротивление установки, по формуле (3), равно:

$$R_{уст} = \frac{2 \cdot L_{уст} \cdot \ln(\Delta)}{T} = \frac{2 \cdot 7,301 \cdot 10^{-7} \cdot \ln(1,328)}{7,6 \cdot 10^{-6}} = 0,054 \text{ Ом} = 54,474 \text{ мОм}.$$

### 3 Результаты проведенного исследования

#### 3.1 Характеристики нагрева импульсом тока двух переплетенных проволок из различных металлов.

На рисунке 8 представлены временные зависимости токов при взрыве одиночных проводников каждого металла и ток короткого замыкания. Опыты проводились при зарядке емкостного накопителя 29 кВ.

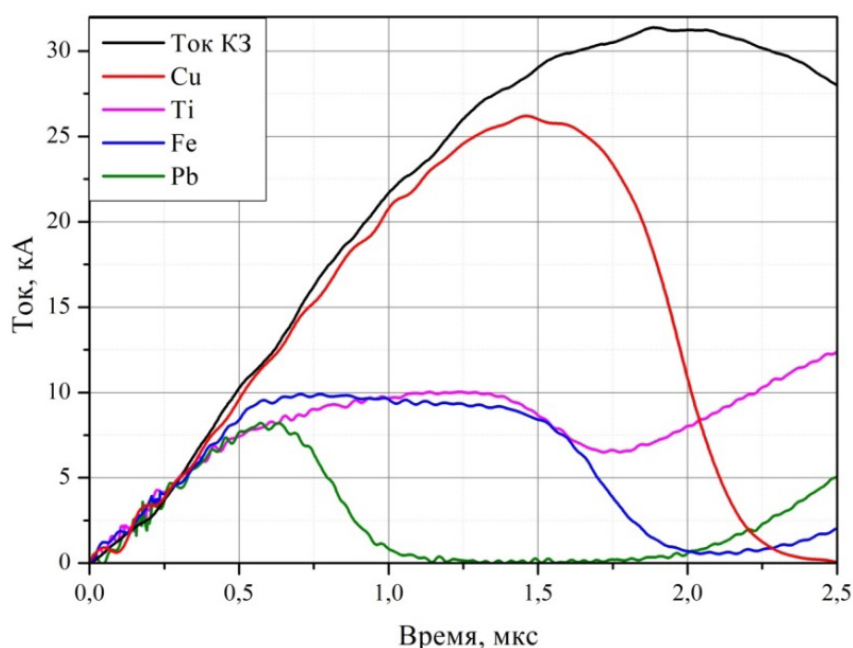


Рисунок 8 – Временные зависимости токов при взрыве одиночных проводников и ток короткого замыкания

Как видно из временной зависимости, для металлов I группы характерна синусообразная форма кривой. Для металлов II группы кривая имеет «пологую» форму. Это говорит о том, что металлы II группы находятся в фазовых переходах дольше, чем металлы I группы.

Разные времена взрыва объясняются тем, что скорости нагрева проводников разные. Скорость нагрева проводников характеризуется теплоемкостью и удельным электрическим сопротивлением металлов.

Так же, заметны различия амплитуд токов. Амплитуды токов зависят от активного электрического сопротивления проводников. В свою очередь,

активное электрическое сопротивление проводников зависит от удельного электрического сопротивления.

Далее представлены временные зависимости токов, напряжений и введенных энергий при взрывах скруток проводников (эксперименты №5–8, таблица 1), рисунки 9–16.

На рисунках 9–16 указаны времена, характеризующие фазовые переходы:

- от 0 до  $t_1$  – нагрев проводника в твердом состоянии;
- от  $t_1$  до  $t_2$  – плавление проводника;
- от  $t_2$  до  $t_3$  – нагрев проводника в жидком состоянии;
- от  $t_3$  до  $t_4$  – интенсивное расширение проводника;
- $t_4$  – взрыв проводника.

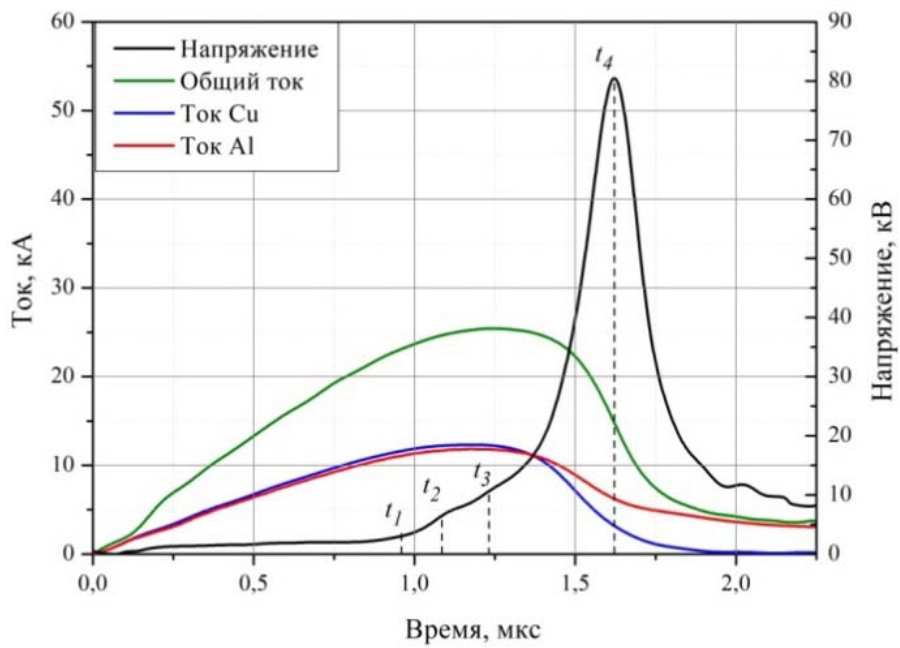


Рисунок 9 – Временные зависимости токов и напряжения при взрыве скрутки проводников из Cu и Al

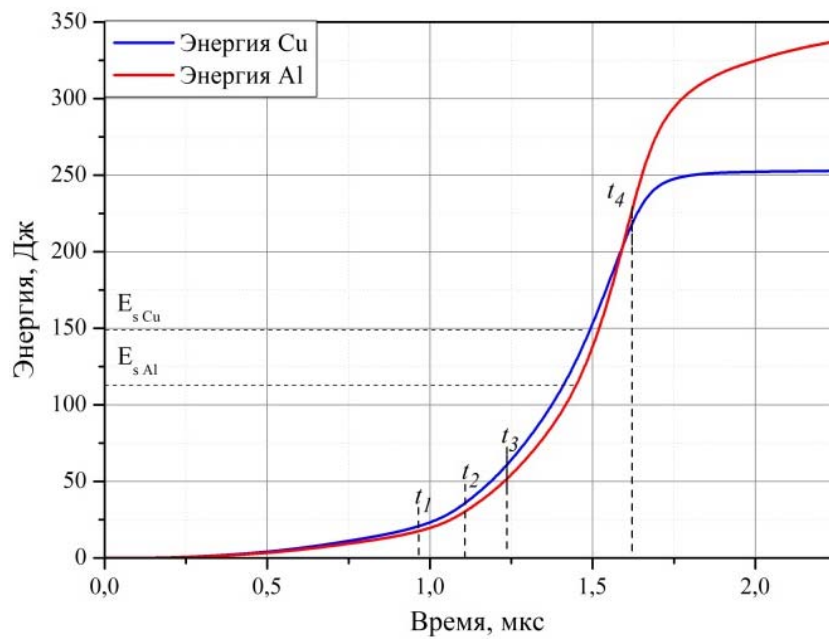


Рисунок 10 – Временные зависимости введенной энергии при взрыве скрутки проводников из Cu и Al

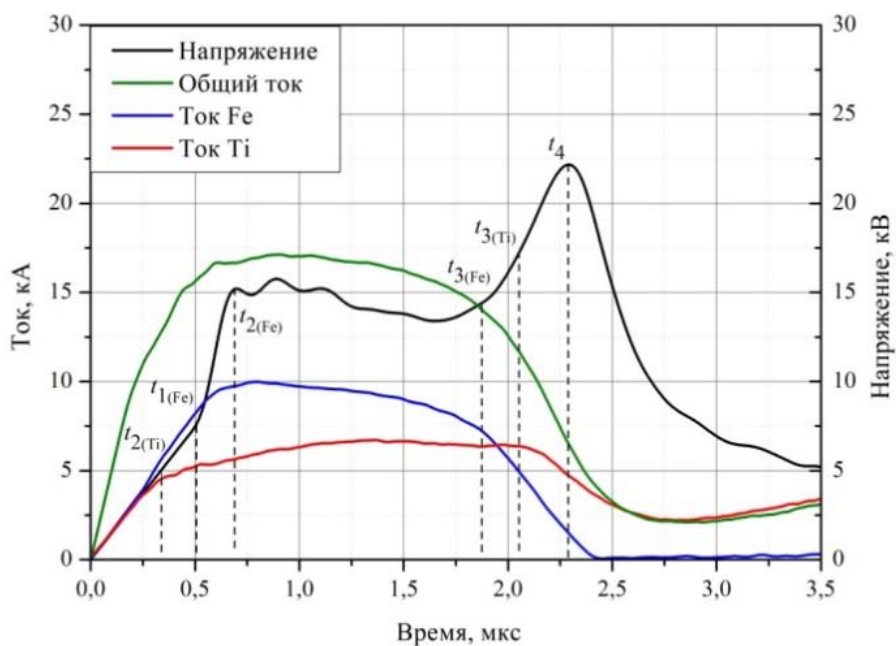


Рисунок 11 – Временные зависимости токов и напряжения при взрыве скрутки проводников из Fe и Ti

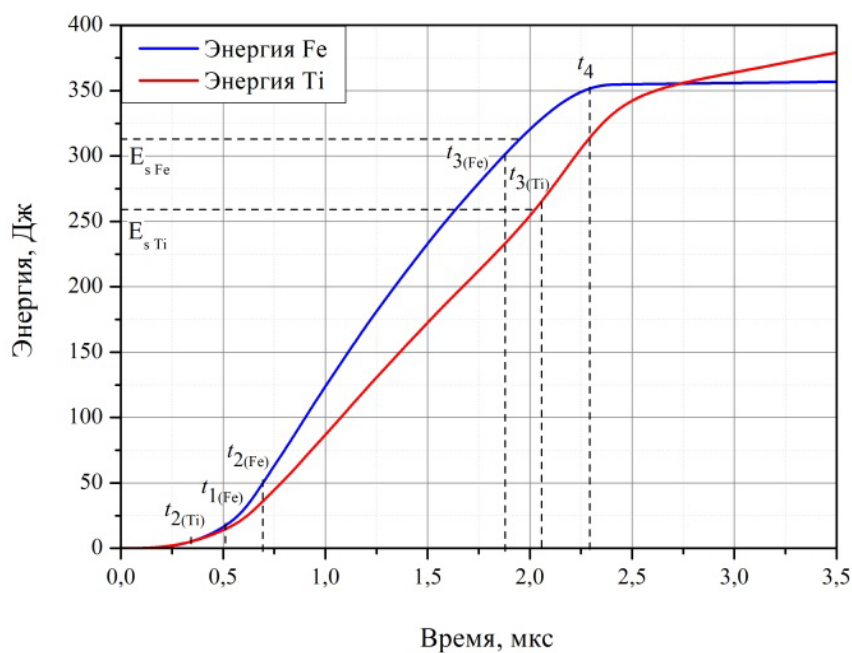


Рисунок 12 – Временные зависимости введенной энергии при взрыве скрутки проводников из Fe и Ti



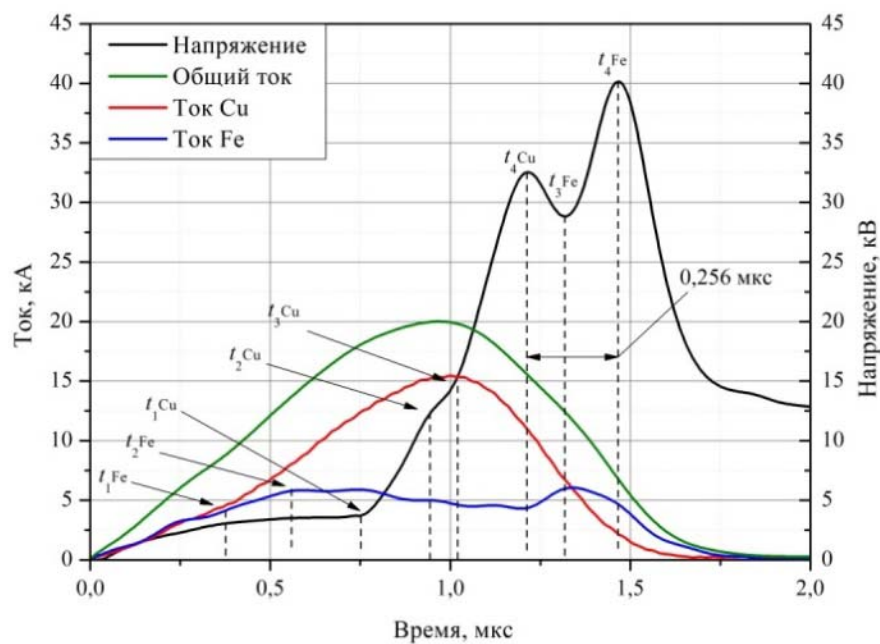


Рисунок 13 – Временные зависимости токов и напряжения при взрыве скрутки проводников из Cu и Fe

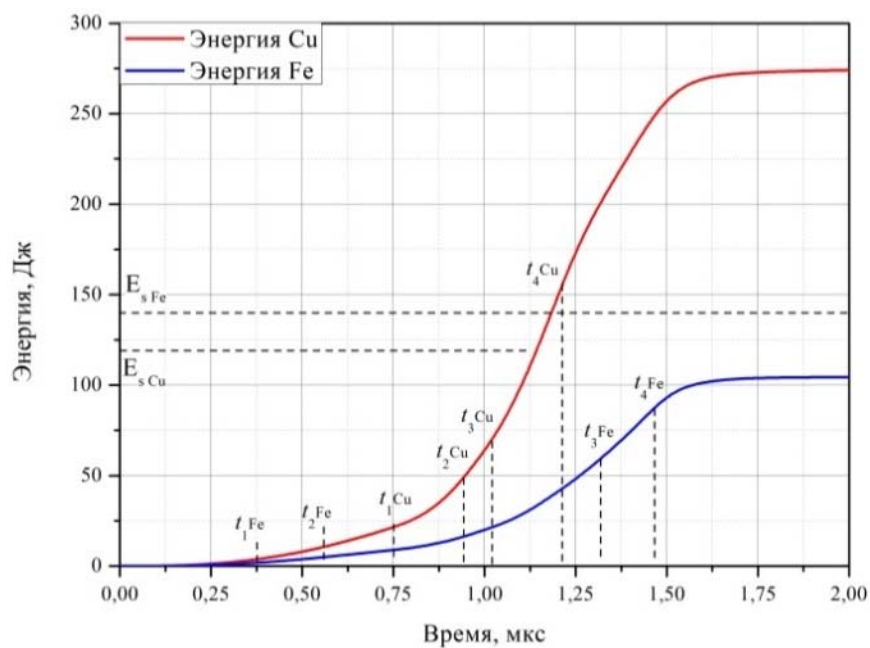


Рисунок 14 – Временные зависимости введенной энергии при взрыве скрутки проводников из Cu и Fe

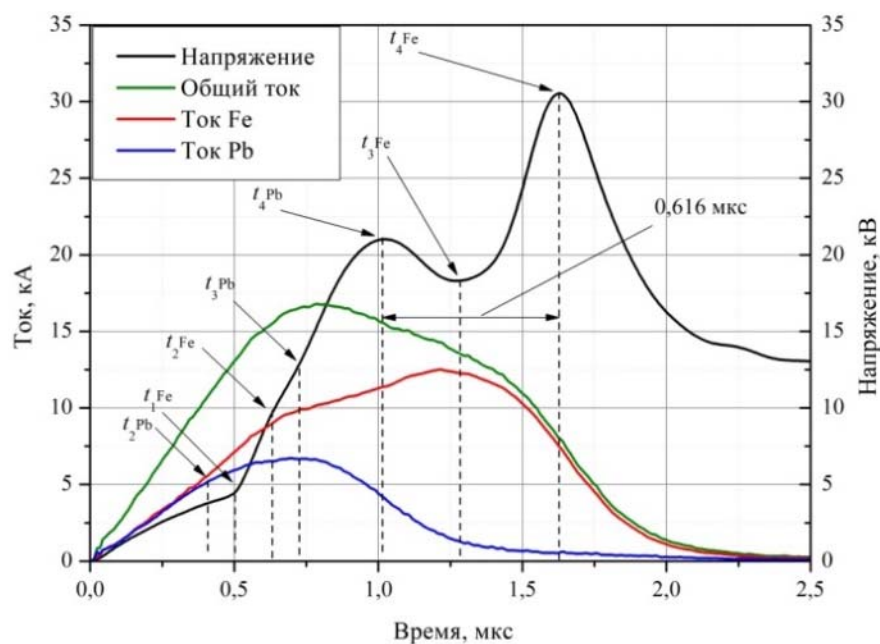


Рисунок 15 – Временные зависимости токов и напряжения при взрыве скрутки проводников из Fe и Pb

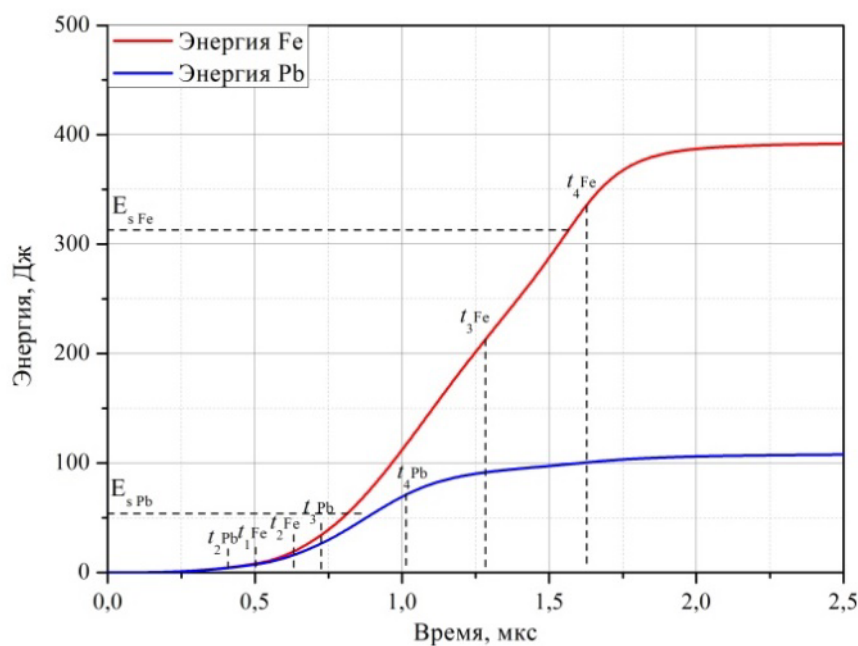


Рисунок 16 – Временные зависимости введенной энергии при взрыве скрутки проводников из Fe и Pb

На рисунке 9 представлены результаты опыта при взрыве двух проводников из Cu (I) и Al (I). Как видно по кривой напряжения взрыв прошел синхронно. Так же, количество вводимой энергии одинаково до

момента взрыва, рисунок 10, что говорит о том, что энергия вводится в проводники равномерно и с одинаковой скоростью.

На рисунке 11 представлены результаты опыта при взрыве двух проводников из Fe (II) и Ti (II). Аналогично, взрыв прошел синхронно, но времена фазовых переходов разные. По кривой введенной энергии, рисунок 12, видно, что количество вводимой энергии отличается, но, тем не менее, скорость ввода энергии примерно одинакова.

На рисунке 13 представлены результаты опыта при взрыве двух проводников из Fe (II) и Cu (I). Это металлы из разных групп. Как видно из кривой напряжения, взрыв прошел несинхронно. Сначала взорвалась медь, а потом весь ток перешел в железо и следом взорвался железный проводник. Так же, вводимая энергия, рисунок 14, имеет разные скорости ввода, что говорит о том, что проводники нагреваются с разной скоростью.

На рисунке 15 представлены результаты опыта при взрыве двух проводников из Fe (II) и Pb (II). Аналогично, взрыв прошел не синхронно. Сначала взорвался свинец, потом железо. На рисунке 16, видно, что вводится разная энергия в проводники, и для свинца потребовалось меньше энергии для взрыва, чем для железа.

При получении биметаллических наночастиц, несинхронный взрыв может привести к последовательному расширению продуктов взрыва каждой из проволок без их перемешивания. Вследствие этого образование биметаллических наночастиц будет затруднено. Анализ полученных данных показывает, что неэффективное перемешивание продуктов взрыва характерно для взрыва проволок медь/железо и свинец/железо. В случае взрыва проволок медь/железо неэффективное перемешивание продуктов взрыва в большей степени обусловлено различными величинами вводимых энергий ( $E/E_s$ ). При взрыве проволок свинец/железо величины вводимых энергий ( $E/E_s$ ) близки. Преимущественное влияние на неэффективность перемешивания продуктов взрыва будет оказывать несинхронность взрыва проволок свинец/железо. Временные интервалы между последовательными

взрывами проволок медь/железо и свинец/железо являются сопоставимыми по величине со временем охлаждения наночастиц металлов до температуры 300 К в условиях ЭВП (0,1-0,3) мкс. Это свидетельствует о необходимости учета несинхронности взрыва проволок при формировании биметаллических наночастиц с заданным структурно-фазовым состоянием

### 3.2 Критерий синхронности/несинхронности электрического взрыва двух проволок

При электрическом взрыве проводников из металлов I группы (Cu и Al) или металлов II группы (Ti и Fe) проволоки нагреваются в жидком состоянии приблизительно в одном временном интервале: для пары Cu-Al в интервале *от  $t_2$  до  $t_3$* , или для пары Ti-Fe в интервале *от  $t_{2\ Fe}$  до  $t_{3\ Fe} \approx$  от  $t_{2\ Ti}$  до  $t_{3\ Ti}$* . В случае если начальные точки электрического взрыва близки, то реализуется синхронный взрыв.

Опираясь на это, был введен безразмерный коэффициент, который равен отношению времен нагрева от момента плавления до начальной точки электрического взрыва каждого проводника, формула (6):

$$K_l = \frac{t_{l\ MeA}}{t_{l\ MeB}}. \quad (6)$$

Из закона Джоуля-Ленца, через энергию можно выразить время:

$$W = \frac{U^2}{R} \cdot t \rightarrow t = \frac{W \cdot R}{U^2}.$$

Тогда коэффициент можно записать через отношение сопротивлений и энергий. Сопротивление проводников в жидком состоянии.

$$K_l = \frac{W_{l\ MeA} \cdot R_{l\ MeA}}{W_{l\ MeB} \cdot R_{l\ MeB}}.$$

Энергия характеризуется теплоемкостью металла, массой проволоки и разницей температур кипения и плавления металла:

$$W = c \cdot m \cdot (T_{\text{кин}} - T_{\text{плав}}).$$

Масса в свою очередь характеризуется плотностью металла. Сопротивление характеризуется удельным электрическим сопротивлением. Учитывая равенство длин проводников, коэффициент можно записать следующим образом:

$$K_l = \frac{c_{MeA} \cdot \gamma_{MeA} \cdot \rho_{MeA} \cdot (T_{\text{кип MeA}} - T_{\text{плав MeA}})}{c_{MeB} \cdot \gamma_{MeB} \cdot \rho_{MeB} \cdot (T_{\text{кип MeB}} - T_{\text{плав MeB}})} \quad (7)$$

Из этого следует, что отношение времен нагрева зависит от теплоемкости металлов, плотности металлов, удельного электрического сопротивления, разницы температур плавления и кипения.

От площади поперечного сечения проводников синхронность взрыва не зависит. Габариты проводника учувствуют в формуле массы и активного сопротивления металла, через площадь поперечного сечения, которые сокращаются, т.к. в массе прямо пропорционально, а в сопротивлении обратно пропорционально.

Рассчитанные значения коэффициента по формулам (7) и (6) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Синхронность/несинхронность электрического взрыва двух проволок

№	Металлы	Группы металлов	$K_l$ , отн. ед. По формуле (7)	$K_l$ , отн. ед. Эксперимент	Тип взрыва
1	Al-Cu	I-I	1,00	1,00	Синхронный
2	Ti -Fe	II-II	1,08	1,45	Синхронный
3	Fe-Pb	II-I	4,90	2,06	Несинхронный
4	Fe-Cu	II-I	7,96	6,70	Несинхронный

Из выражения (7) следует, что синхронный взрыв наблюдается при взрыве двух проволок имеющих приблизительно равные значения:

$$W \cdot R$$

где  $W$  – энергия необходимая для нагрева проводника от температуры плавления до температуры кипения;

$R$  – сопротивление проводника в жидком состоянии.

В случае если значения  $W \cdot R$ , рассчитанные для каждого из проводника, заметно отличаются между собой, взрыв несинхронный. Полученные результаты будут полезными при проведении экспериментов по электрическому взрыву скрутки двух проводников из различных металлов.

Основываясь на выражении (7) можно качественно прогнозировать какой тип взрыва будет реализовываться при ЭВП из разнородных металлов, и учитывать синхронность/несинхронность взрыва при анализе условий формирования биметаллических наночастиц.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4Т41	Сулиз Константин Владимирович

<b>Инженерная школа новых производственных технологий</b>		<b>Отделение материаловедения</b>	
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	16.03.02 Высокотехнологические плазменные и энергетические установки

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Работа с информацией, представленной в российских научных публикациях, статьях, нормативно-правовых документах.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

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

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Иерархическая структура работ SWOT-анализ Календарный план-график реализации проекта
3. <i>Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности научного исследования</i>	Определение ресурсоэффективности проекта

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

1. <i>Оценочная карта конкурентных технических решений</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Иерархическая структура работ</i>
4. <i>Календарный план проекта</i>
5. <i>Бюджет проекта</i>
6. <i>Определение ресурсоэффективности проекта</i>

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ИШБИП	Верховская Марина Витальевна	к.ЭКОН.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4Т41	Сулиз Константин Владимирович		

## 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

На сегодняшний день перспективность научной разработки в первую очередь обусловлена её коммерческой ценностью. Последующая реализация разработки и переход от концепта к готовому производственному оборудованию или изделию зачастую является ключевым. Поэтому при поиске источника финансирования необходимо производить оценку коммерческой ценности разработки для её успешной последующей реализации, что особенно важно для сравнительно молодых, развивающихся сегментов технологий, к числу которых относится производство металлических ультрадисперсных порошков

Данная глава посвящена определению коммерческой перспективности и успешности проекта, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

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

#### 4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

На рисунке 17 представлена диаграмма потребления порошков по отраслям.



Рисунок 17 – Потребление порошков по отраслям



Как видно из диаграммы, обрабатывающая промышленность и электроника и оптика занимают ~70% мирового производства порошков. Применение ультрадисперсных порошков в электронике позволяет минимизировать размеры электрических элементов, процессоров и т.п. В обрабатывающей промышленности ультрадисперсные порошки применяют в качестве покрытия, которое позволяет изменить физическое и химическое свойство металла (коррозионная стойкость, прочность и т.п.). Так же, последние четыре года Израильская компания занимается аддитивными технологиями, используя в качестве основного материала ультрадисперсные порошки, печатая на 3D принтере металлические конструкции и детали.

На рисунке 18 показана диаграмма разбивки ультрадисперсных порошков по типам. Ультрадисперсные порошки можно производить из различных материалов и, в общем, их можно разделить на 4 группы, представленные на рисунке 18.

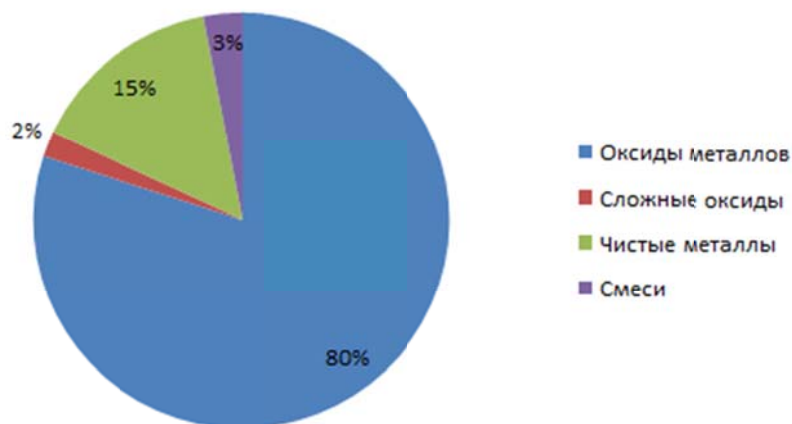


Рисунок 18 –Разбивка ультрадисперсных порошков по типам

Особое внимание в данной работе стоит уделить оксидам металлов и смесям, т.к. они являются объектом исследования в данной дипломной работе. Использование ультрадисперсных порошков из различных металлов позволяют получать более прочные сплавы с различными химическими свойствами, причем в зависимости от процентного соотношения металлов можно регулировать свойства материала.

#### 4.1.2 Оценка технических решений по технологии QuaD

В основе технологии QuaD (QualityAdvisor) лежит нахождение средневзвешенной величины следующих групп показателей для получения ультрадисперсных порошков методом ЭВП на установке УДП-4:

- 1 Показатели оценки качества установки:
  - энергоэффективность;
  - унифицированность;
  - функциональная мощность;
  - удобство в эксплуатации;
  - надежность;
  - уровень шума;
  - затраты сырья;
  - безопасность производства;
  - ремонтпригодность.
- 2 Показатели оценки коммерческого потенциала установки:
  - конкурентоспособность продукта;
  - уровень проникновения на рынок;
  - финансовая эффективность;
  - финансирование научной разработки;
  - срок выхода на рынок;
  - наличие сертификации разработки.

На основе вышеперечисленных показателей, составлена оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений, таблица 3.

Каждый показатель оценивался по десятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 10 – наиболее сильная. Веса показателей в сумме составляют 1.

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum_{i=1}^n (B_i \cdot B_i) \quad (8)$$

где  $P_{cp}$  – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

$B_i$  – вес показателя;

$B_i$  – относительное значение балла  $i$ -го показателя.

Таблица 3 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средневзвешенное значение
Показатели оценки качества установки					
1 Энергоэффективность;	0,10	8	10	0,8	0,080
2 Унифицированность;	0,10	10	10	1,0	0,100
3 Функциональная мощность;	0,10	8	10	0,8	0,080
4 Затраты сырья;	0,05	6	10	0,6	0,030
5 Используемая установка:					
5.1 Удобство в эксплуатации;	0,08	8	10	0,8	0,064
5.2 Надежность;	0,08	9	10	0,9	0,072
5.3 Уровень шума;	0,05	4	10	0,4	0,020
5.4 Безопасность производства;	0,05	10	10	1,0	0,050
5.5 Ремонтпригодность	0,05	10	10	1,0	0,050
Показатели оценки коммерческого потенциала установки					
6 Конкурентоспособность продукта;	0,08	8	10	0,8	0,064
7 Уровень проникновения на рынок;	0,08	5	10	0,5	0,040
8 Финансовая эффективность;	0,08	8	10	0,8	0,064
9 Финансирование научной разработки;	0,04	4	10	0,4	0,016
10 Срок выхода на рынок.	0,04	10	10	1,0	0,040
11 Наличие сертификации разработки	0,02	8	10	0,8	0,016
Итого	1				0,786

Значение  $P_{cp}$  позволяет оценить перспективность установки. Если  $P_{cp}$  получилось от 1 до 0,80, то такая разработка считается перспективной. Если от 0,79 до 0,60 – то перспективность выше среднего. Если от 0,69 до 0,40 – то перспективность средняя. Если от 0,39 до 0,20 – то

перспективность ниже среднего. Если 0,19 и ниже – то перспективность крайне низкая.

$P_{cp} = 0,786$  – это говорит о перспективности использования метода ЭВП с целью получения ультрадисперсных порошков на установке УДП–4.

#### 4.1.3 SWOT–анализ

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

*Первый этап.* Заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 4 –Таблица первого этапа

Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:	Возможности:	Угрозы:
С1. Энерго-эффективность технологии; С2. Простота технологии; С3. Низкая стоимость производства; С4. Экологически-чистое производство; С5. Квалифицированный персонал.	Сл1. Нехватка рабочего квалифицированного персонала; Сл2. Отсутствие постоянных заказов; Сл3. Отсутствие оборудования для углубленного научного исследования.	В1. Сотрудничество с другими научными центрами и институтами; В2. Финансирование зарубежными заказчиками; В3. Получение нового продукта, как следствие, появление дополнительного спроса на новый продукт	У1. Отсутствие заказов и финансирования; У2. Появление новых конкурентов.

*Второй этап.* Состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивная матрица проекта представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны				
		C1	C2	C3	C4	C5
Возможности	B1	+	+	-	0	+
	B2	0	0	+	-	+
	B3	+	0	-		-

*Третий этап.* Составляется итоговая матрица SWOT-анализа, таблица 6.

Анализируя таблицу 6, можно сказать, что финансирование значительно помогло бы производству. Во–первых, это решило бы проблему углубленного исследования с целью улучшения технологии получения ультрадисперсных порошков. Улучшенная технология позволила бы получать порошки из различных металлов и сплавов, которые на сегодняшний день достаточно сложно получать с имеющейся технологией. Так же, это позволило бы достаточно удешевить получение порошков. Все это поспособствовало бы привлечению новых заказчиков, и, как следствие, дополнительному финансированию.

Таблица 6 – SWOT–анализ

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>  С1. Энергоэффективность технологии;  С2. Простота технологии;  С3. Низкая стоимость производства;  С4. Экологически чистое производство;  С5. Квалифицированный персонал.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>  Сл1. Нехватка рабочего квалифицированного персонала;  Сл2. Отсутствие постоянных заказов;  Сл3. Отсутствие оборудования для углубленного научного исследования.</p>
<p><b>Возможности:</b>  В1. Сотрудничество с другими научными центрами и институтами;  В2. Финансирование зарубежными заказчиками;  В3. Получение нового продукта, как следствие, появление дополнительного спроса на новый продукт;</p>	<p>Сотрудничество с другими научными центрами поможет обеспечить упрощение технологии, увеличить энергоэффективность. Простота технологии позволит получить новый продукт, это появление нового спроса, а также новых потенциальных заказчиков. Низкая стоимость привлечет дополнительное финансирование</p>	<p>Отсутствие оборудования для углубленного научного исследования может решиться благодаря сотрудничеству с другими научными центрами и институтами, а так же благодаря дополнительному финансированию. Дополнительное финансирование, в свою очередь решит проблему нехватки рабочего персонала.</p>
<p><b>Угрозы:</b>  У1. Отсутствие заказов и финансирования;  У2. Появление новых конкурентов.</p>	<p>На сегодняшний день, появление новых конкурентов в получении ультрадисперсных порошков маловероятно. Энергоэффективность, простота технологии и низкая стоимость способствуют финансированию</p>	<p>Наличие специального оборудования для углубленного научного исследования позволит усовершенствовать технологию, сделав её проще и дешевле. Это поспособствует решению проблемы финансирования и угрозы отсутствия заказов. Специальное оборудование можно получить сотрудничая с научными центрами или путем финансирования.</p>

## 4.2 Планирование научно–исследовательской работы

### 4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Данное исследование было проведено рабочей группой из двух человек: старший преподаватель отделения материаловедения (научный руководитель) и инженер.

Порядок этапов и работ, распределение исполнителей по видам работ, приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Выбор направления исследований и способа решения задач	Научный руководитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель и инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Написание математической модели взрыва медного проводника в программной среде MATLAB	Инженер
	6	Написание математической модели взрыва скрутки двух проводников в программной среде MATLAB	Инженер
	7	Проведение экспериментов, с целью получения кривых токов и напряжения при электрическом взрыве скрутки двух проводников	Научный руководитель и инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ полученных результатов. Сравнение полученных экспериментальных данных с расчётными данными.	Инженер
	9	Написание ВКР, подготовка к защите	Инженер
	10	Проверка ВКР	Научный руководитель

#### 4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается в человеко-днях и определяется по формуле:

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{\min i} + 2 \cdot t_{\max i}}{5}, \quad (9)$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Продолжительность выполняемых работ рассчитывается по формуле:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (10)$$

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

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

Рассчитана трудоемкость и продолжительность для каждого этапа выполненных работ, таблица 8.



Таблица 8 – Трудоемкость и продолжительность для каждого этапа выполненных работ

№ раб.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Переменные										
$t_{\min i}$ , чел.- дн.	1	14	1	1	10	10	1	1	35	1
$t_{\max i}$ , чел.- дн.	1	21	1	1	15	20	3	5	45	2
$Ч_i$ , чел.	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1
$t_{ожсi}$ , чел.- дн.	1	16,8	1	1	12	14	1,8	2,6	39	1,4
$T_{pi}$ , раб. дн.	1	16,8	1	0,5	12	14	0,9	2,6	39	1,4

#### 4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (11)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;  
 $T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;  
 $k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{раб}}} = \frac{365}{247} = 1,478 \quad (12)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;  
 $T_{\text{раб}}$  – количество рабочих дней в году.

Длительность каждого этапа выполнения работ в календарных днях представлена в таблице 9, длительность округлена до целого в большую сторону.

Таблица 9 – Длительность каждого этапа выполнения работ в календарных днях

Переменные	№ раб.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	$T_{pi}$ , раб. дн.	1	16,8	1	0,5	12	14	0,9	2,6	39	1,4
$T_{ki}$ , кал. дн.	2	25	2	1	18	21	2	4	58	3	

Все временные показатели проведения научного исследования представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Временные показатели проведения научного исследования

№ раб.	Трудоемкость работ			Исполнители	$T_{pi}$ , раб. дн.	$T_{ki}$ , кал. дн.
	$t_{mini}$ , чел.- дн.	$t_{maxi}$ , чел.- дн.	$t_{ожи}$ , чел.- дн.			
1	1	1	1	Научный руководитель	1	2
2	10	14	11,6	Инженер	16,8	25
3	1	1	1	Научный руководитель	1	2
4	1	1	1	Научный руководитель и инженер	0,5	1
5	5	10	4,6	Инженер	12	18
6	5	15	5	Инженер	14	21
7	1	3	1,8	Научный руководитель и инженер	0,9	2
8	1	3	1,8	Инженер	2,6	4
9	20	40	24	Инженер	39	58
10	1	2	1,4	Научный руководитель	1,4	3

Научный руководитель был занят в течение 10 календарных дней и 4,8 рабочих дней. Инженер был занят в течение 129 календарного дня и 85,8 рабочих дня. Весь диплом занял 136 календарных дней. Работа над дипломом началась 22 января. По расчетам, работа над дипломом закончится 6 июня.

Таблица 11 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ раб.	Исполнители	$T_{ki}$ , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ					
			янв	фев	март	апр	май	июнь
1	Научный руководитель	2	■					
2	Инженер	18	■	■				
3	Научный руководитель	2		■				
4	Научный руководитель и инженер	1		■				
5	Инженер	11		■	■			
6	Инженер	14			■	■		
7	Научный руководитель и инженер	2				■	■	
8	Инженер	3				■	■	
9	Инженер	42				■	■	■
10	Научный руководитель	3						■

■ – научный руководитель;

■ – инженер.

#### 4.3 Бюджет научно–технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;

- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

#### 4.3.1 Расчет материальных затрат НИИ

Материальные затраты, необходимые для исследования, представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Кол-во	Цена за ед., руб	Затраты на материалы, $Z_M$ , руб
Медная проволока – 0,3 мм	кг	1	500	500
Медная проволока – 0,2 мм	кг	1	750	750
Алюминиевая проволока – 0,25 мм	кг	1	400	400
Железная проволока – 0,3 мм	кг	1	250	250
Титановая проволока – 0,32 мм	кг	1	3500	3500
Баллон аргоновый 40 л	л	1	2200	2200
Баллон азотный 40 л	л	1	750	750
Итого, руб:				8350

#### 4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных

Для проведения научных работ использовалась установка УДП-4, общей стоимостью 1500000 рублей

Среднедневное значение суммы амортизационных отчислений рассчитываются по формуле:

$$A_z = \frac{C_{обор} \cdot \frac{n_A}{100\%}}{F} \quad (13)$$

где  $C_{обор}$  – стоимость оборудования, руб.;

$n_A = 10\%$  (норма амортизации);

$F$  – количество рабочих дней в году.

$$A_z = \frac{C_{обор} \cdot \frac{n_A}{100\%}}{F} = \frac{1500000 \cdot \frac{10}{100\%}}{247} = 607,29 \text{ руб.}$$

Сумма амортизационных отчислений за время использования установки рассчитываются по формуле:

$$A_{исп} = A_z \cdot T_{исп} \quad (14)$$

где  $T_{исп}$  – количество рабочих дней, когда использовалась установка.

$$A_{исп} = A_z \cdot T_{исп} = 607,29 \cdot 2 = 1214,58 \text{ руб}$$

### 4.3.3 Заработная плата исполнителей

Научный руководитель находится в должности старшего преподавателя, месячный оклад которого 19500 рублей. Оклад инженера, в должности инженера, составляет 9489 рублей.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Всего заработная плата по тарифу включает основную заработную плату, непосредственно занятым выполнением НТИ, и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (15)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата, руб;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12 % от  $Z_{осн}$ ), руб.

Дополнительная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{доп} = 0,12 \cdot Z_{осн} \quad (16)$$

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (17)$$

где  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата, руб.;

$T_p$  – продолжительность работ, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (18)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб.дня  $M = 11,2$  мес, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб.дней  $M = 10,4$  мес, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени, раб. дн.

Инженер – 5-дневная неделя. Научный руководитель – 6-дневная неделя. Баланс рабочего времени приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней: - выходные дни; - праздничные дни.	66	118
Потери рабочего времени: - отпуск; - невыходы по болезни.	48	24
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	223

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{ок}} \cdot k_{\text{р}}, \quad (19)$$

где  $Z_{\text{ок}}$  – заработная плата по окладу, руб.;

$k_{\text{р}} = 1,3$  – районный коэффициент, для Томска 1,3

Таблица 14 – Расчет заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{мс}}$ , руб	$Z_{\text{м}}$ , руб	$F_{\text{д}}$ , дней	$Z_{\text{дн}}$ , руб	$T_{\text{р}}$ , раб.дней	$Z_{\text{осн}}$ , руб	$Z_{\text{дон}}$ , руб	$Z_{\text{зн}}$ , руб
Научный руководитель	19500	25350,00	251	1050,36	4,8	5041,72	605,01	5646,73
Инженер	9489	12335,70	223	619,55	85,8	53157,46	6378,90	59536,36
Итого, руб:								65183,09

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по следующей формуле:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) \quad (20)$$

где  $k_{внеб} = 0,271$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды, для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнители	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Отчисления во внебюджетные фонды, руб.
Научный руководитель	5041,72	605,01	1530,26
Инженер	53157,46	6378,90	16134,35
Коэффициент отчисления во внебюджетные фонды	0,271		
Итого, руб:			17664,62

Накладные расходы учитывают прочие затраты, принимается 16% от суммы всех затрат (сумма п.п.1–4, таблица 16).

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб
1 Материальные затраты НТИ	8350,00
2 Затраты на оборудование	1214,57
3 Затраты по заработной плате	65183,09
4 Отчисления во внебюджетные фонды	17664,62
5 Накладные расходы	14785,96
6 Бюджет затрат НТИ	107198,24

#### 4.4 Расчет научно–технического эффекта

Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых госбюджетных и хоздоговорных работ, использовал метод балльных оценок. Сущность этой методики состоит в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент научно-технического эффекта по формуле:

$$H = \sum_{i=1}^n (k_i \cdot n_i) \quad (21)$$

где  $H$  – показатель НТУ;

$k_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го признака;

$n_i$  – оценка  $i$ -го признака.

Оценки и весовые коэффициенты по каждому из признаков НТУ сведены в таблицу 17.

Согласно таблице 17, показатель НТУ равен:

$$H = 0,6 \cdot 5 + 0,4 \cdot 6 + 0,2 \cdot 6 + 0,2 \cdot 4 = 7,4$$

Оценка уровня проводится по следующей шкале:

- от 1 до 4 балла – низкий уровень НТУ;
- от 4 до 7 баллов – средний уровень НТУ;
- от 7 до 10 баллов – сравнительно высокий уровень НТУ;
- от 11 до 14 баллов – высокий уровень НТУ.

Исходя из шкалы, можно сказать, что уровень НТУ соответствует сравнительно высокому уровню.



Таблица 17 –Научно-технический эффект

Признак НТУ	Весовой коэффициент	Максимальный балл	Характеристика разработки	Выбранный балл
1 Уровень новизны	0,6	8–10	Принципиально новая	5
		5–7	Новая	
		2–4	Относительно новая	
		0	Не обладает новизной	
2 Уровень результатов	0,4	9–10	Установление закона	6
		7–8	Глубокая разработка проблемы	
		5–6	Разработка способа	
		1–4	Элементарный анализ	
		0	Изложение опыта	
3 Возможность реализации	0,2	Время реализации		6
		5–10	В течение первых лет	
		3–4	От 5 до 10 лет	
		0–2	Свыше 10 лет	
		Масштаб реализации		4
		5–10	Народное хозяйство	
		3–4	Отрасль	
		0–2	Одно или несколько предприятий	

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4Т41	Сулиз Константин Владимирович

<b>Инженерная школа новых производственных технологий</b>		<b>Отделение материаловедения</b>	
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	16.03.02 Высокотехнологические плазменные и энергетические установки

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

<p>4. <i>Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</i></p>	<p>Объектом исследования являются характеристики электрического взрыва проводника (ЭВП) при взрыве скрутки двух проводников различных металлов. Для реализации процесса ЭВП выступает производственная установка УДП-4. Рабочая зона – лабораторное помещение. Ультрадисперсные порошки применяются в химической и медицинской промышленности, оптике и микроэлектронике.</p>
--	---

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

<p>1. <i>Производственная безопасность</i></p> <p>1.1. <i>Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</i></li> <li>- <i>действие фактора на организм человека;</i></li> <li>- <i>приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</i></li> <li>- <i>предлагаемые средства защиты;</i></li> <li>- <i>(сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</i></li> </ul> <p>1.2. <i>Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>механические опасности (источники, средства защиты);</i></li> <li>- <i>термические опасности (источники, средства защиты);</i></li> <li>- <i>электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты)</i></li> </ul>	<p>Повышенный уровень шума в рабочей зоне. При длительном воздействии ухудшается концентрация внимания и наступает быстрая усталость. В качестве защитных средств применяются специальные наушники.</p> <p>Воздействие на организм человека магнитных и электрических полей. Возможны развития различных болезней при длительном воздействии. В качестве средств защиты рекомендуется применение защитных экранов и индивидуальных защитных экранирующих комплектов.</p> <p>Недостаток естественного света. Возможны проблемы со зрением при длительном воздействии. В качестве профилактических мер рекомендуется в перерывы между работой посещать зоны с интенсивным естественным освещением.</p> <p>Статическое электричество. Возможно поражение остаточным электрическим током. В качестве средств защиты рекомендуется применять изолирующие штанги, указатели напряжений.</p> <p>Движущиеся машины и механизмы, части производственного оборудования. Возможны нанесения серьезных ушибов переломов человеку. В качестве средств защиты рекомендуется применение защитных кожухов (корпусов) с наличием смотрового отверстия.</p> <p>Высокая температура поверхностей оборудования, материалов. Возможен термический ожог. В качестве средств защиты рекомендуется ввести систему охлаждения или останавливать работу установки для её естественного охлаждения.</p>
<p>2. <i>Экологическая безопасность:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>защита селитебной зоны</i></li> <li>- <i>анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</i></li> </ul>	<p>Получаемые ультрадисперсные порошки при попадании в окружающую среду, могут оказывать пагубное влияние на организм человека, особенно диоксид титана и наносеребро.</p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>- разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>Попадающие в окружающую среду ультрадисперсные порошки трудно биологически разлагаются или усваиваются. Ультрадисперсные материалы представляют собой особый класс промышленных загрязнений. Их вред может быть связан с необычными свойствами вещества, из которых их производят, включая их мобильность и устойчивость в почве, воде, воздухе, так же непредсказуемое взаимодействие с химическими и биологическими материалами.</p> <p>Ученые предполагают, что ультрадисперсные порошки при попадании в почву не причиняют экосистеме заметного вреда. Но некоторые материалы разлагаются в земле, высвобождая ионы токсичных компонентов в окружающую среду.</p> <p>Другая проблема, поведение ультрадисперсных частиц в воде. Например, частицы могут накапливаться в нервных тканях рыбы и вызывать у них окислительные повреждения.</p> <p>Получение ультрадисперсного порошка является герметичным процессом, но после получения ультрадисперсного порошка, его оставляют на открытом воздухе для создания на нем оксидной пленки, перед дальнейшей работой с ним. В связи с этим, в лабораторном помещении имеется вытяжка с установленным фильтром, для предотвращения выброса ультрадисперсного порошка в атмосферу.</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>- выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>Возгорание ультрадисперсного порошка. Аварийная разгерметизация установки. Короткое замыкание. Наиболее типичная ситуация: Возгорание ультрадисперсного порошка Предупреждение ЧС: В каждом лабораторном помещении установлены охранно-пожарные сигнализации, которые необходимо активировать при возникновении пожара. Действия при ЧС: Сотрудникам необходимо руководствоваться правилами пожарной безопасности.</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>Все сотрудники обязаны проходить обучение охране труда и проверку на знание. Применение труда женщин на данном производстве либо недопустимо по некоторым параметрам, либо ограничено. Помимо минимального общеобязательного отпуска для работников подобного рода деятельности предусмотрен дополнительный оплачиваемый отпуск. Общеобязательны регулярные медицинские осмотры. Лечебно-профилактическое питание не предусмотрено. Рабочее место располагается в положении сидя.</p>

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОКД ИШНКБ	Ахмеджанов Р.Р.	д.биол.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т41	Сулиз Константин Владимирович		

!

## 5 Социальная ответственность

Социальная ответственность должна обеспечивать: исключение несчастных случаев; защиту здоровья работников; снижение воздействий на окружающую среду; экономное расходование не возобновляемых природных ресурсов.

Данная глава посвящена обеспечению безопасных условий труда при производстве ультрадисперсных порошков методом электрического взрыва проводника (ЭВП). Электрический взрыв проводника – это резкое изменение физического состояния металла в результате интенсивного выделения в нем энергии при пропускании импульсного тока большой плотности, приводящее к нарушению металлической электропроводности и сопровождающееся генерацией ударных волн и электромагнитного излучения [1]. Таким образом, можно получать ультрадисперсные порошки различных металлов и сплавов.

Ультрадисперсные порошки применяются в следующих отраслях:

- медицина;
- обрабатывающая промышленность;
- электроника и оптика;
- аэрокерамическая промышленность;
- металлургия.

Применение ультрадисперсных порошков в электронике позволяет минимизировать размеры электрических элементов, процессоров и т.п. В обрабатывающей промышленности ультрадисперсные порошки применяют в качестве покрытия, которое позволяет изменить физическое и химическое свойство металла (коррозионная стойкость, прочность и т.п.). Так же, последние четыре года Израильская компания занимается аддитивными технологиями, используя в качестве основного материала ультрадисперсные порошки, печатая на 3D принтере металлические конструкции и детали.

## 5.1 Производственная безопасность

Основная часть научно-исследовательской работы была выполнена в Институте физики прочности и материаловедения СО РАН, на установке УДП–4. В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать в процессе производства ультрадисперсных порошков и эксплуатации установки УДП–4.

Все вредные и опасные факторы приведены согласно ГОСТ 12.0.003-74 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ)». Опасные и вредные производственные факторы.

### 5.1.1 Анализ опасных производственных факторов

Таблица 18 – Опасные факторы, возникающие при выполнении работ по производству ультрадисперсных порошков на установке УДП–4

Источник фактора	Фактор	Нормативные документы
Высоковольтные части установки УДП–4 и связанных с ней элементов	Высокое значение напряжения в электрической цепи	ГОСТ 12.1.030-81 ГОСТ 12.1.038–82
Механизм подачи проводника – электрический привод	Движущиеся механизмы и машины, подвижные части производственного оборудования	ГОСТ Р 51333–99
Внутренние стенки взрывной камеры, электроды и ультрадисперсный порошок	Высокая температура поверхности оборудования и получаемого продукта	—

Рассмотрим по отдельности каждый фактор:

*Высокое значение напряжения в электрической цепи.*

Регламентируется ГОСТ 12.1.038-82 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения

напряжений прикосновения и токов» и ГОСТ 12.1.030-81 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление».

Источниками опасного фактора являются токоведущие шины, кабели и незаземленные элементы электрооборудования. Следует пользоваться основными и дополнительными средствами защиты при эксплуатации электрооборудования. К основным изолирующим электротехническим средствам для электроустановок напряжением выше 1000 В относятся: изолирующие штанги всех видов; изолирующие клещи; указатели напряжения и др. К дополнительным изолирующим электротехническим средствам для электроустановок напряжением выше 1000 В относятся: диэлектрические перчатки и боты; диэлектрические ковры и изолирующие подставки; штанги для переноса и выравнивания потенциала. Корпуса всех электроустановок должны иметь заземление. Используются предохранители, автоматические выключатели, системы защиты от поражения электрическим током.

*Движущиеся механизмы и машины, подвижные части производственного оборудования.* Технологические принципы движущихся механизмов и машин регулируются ГОСТ Р 51333-99 «Безопасность машин. Основные понятия, общие принципы конструирования. Термины, технологические решения и технические условия». В данном случае в качестве подвижного механизма выступает электрический привод с механизмом подачи проволоки.

Движущиеся части привода могут нанести серьезный урон здоровью человека, такие как ушибы, рваные раны, переломы костей. Согласно нормативному документу, машины и механизмы такого типа должны быть оснащены защитным кожухом, а если наблюдение за механизмом необходимо, то используются индивидуальные средства защиты, а в защитном кожухе делается смотровое отверстие. В данном случае механизм

подачи проволоки находится непосредственно внутри корпуса установки УДП–4.

*Высокая температура поверхности оборудования и получаемого продукта.* Т.к. ЭВП – процесс, проходящих при высоких температурах, внутри замкнутого герметичного объема, необходимо соблюдать некоторые меры безопасности во избежание таких травм, как термических ожогов. Поэтому необходимо либо вводить системы охлаждения в производственный процесс, либо проводить операции, связанные с обработкой конечного продукта и эксплуатацией оборудования через определенное время после прекращения работы установки.

### 5.1.2 Анализ вредных производственных факторов

Таблица 19 – Вредные факторы, возникающие при выполнении работ по производству ультрадисперсных порошков на установке УДП–4

Источники фактор	Фактор	Нормативные документы
Взрыв проводника	Повышенный уровень шума в рабочем помещении	СН 2.2.4/2.1.8.562–96
Токоведущие шины и кабели, взрывающийся проводник	Повышенная напряженность магнитного поля	СанПиН 2.2.4.3359–16
Отсутствие окон в рабочем помещении	Недостаток естественного света	СанПиН 2.2.4.3359–16
Наличие в производстве ультрадисперсного материала	Повышенная запыленность воздуха в рабочем помещении	СП 60.13330.2012
Плохая система поддержания микроклимата	Пониженная или повышенная температура воздуха в рабочем помещении	СанПиН 2.2.4.548–96
Цикличность процесса	Монотонность труда	Р 2.2.2006–05

Рассмотрим по отдельности каждый фактор:

*Повышенный уровень шума в рабочем помещении.* Уровень шума на рабочем месте регулируется СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки». Основным источником шума в производственном шуме является звуковая волна, порождаемая взрывным расширением металлического проводника. Также источником шума может быть вакуумный насос и механизм подачи проводника.

Шум воздействует на кору головного мозга, отчего умственная работа становится непосильной, падает концентрация внимания, а утомление наступает гораздо быстрее и сильнее, чем обычно. В качестве индивидуальной защиты органов слуха используются специальные наушники.

Таблица 20 – Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности в дБ

Категории напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	Легкая физическая нагрузка	Средняя физическая нагрузка	Тяжелый труд I степени	Тяжелый труд II степени	Тяжелый труд III степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней степени	70	70	65	65	65
Напряженный труд I степени	60	60	–	–	–
Напряженный труд II степени	50	50	–	–	–

*Повышенная напряженность магнитного поля.* ПДУ магнитных полей регулируются СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах».



Источниками электромагнитных полей являются взрывающий проводник, шины и кабели установки УДП-4.

При воздействии сильных магнитных полей у человека возрастает частота пульса, начинает болеть голова, ухудшается самочувствие и чувствуется слабость во всём организме. При этом происходит сильное изменение электрической активности мозга. В качестве снижения напряженности магнитного поля возможно снижение индуктивности токоведущих шин и кабелей, а также экранирование рабочей зоны.

Таблица 21 – Предельно допустимые уровни воздействия импульсного магнитного поля частотой 50 Гц в зависимости от режима генерации

$T, \text{ ч}$	$H_{\text{пдп}}, \text{ А/м}$		
	Режим I $\tau_{\text{И}} \geq 0,02 \text{ с}; t_{\text{П}} \leq 2$	Режим II $60 \text{ с} \geq \tau_{\text{И}} \geq 1 \text{ с}; t_{\text{П}} > 2 \text{ с}$	Режим III $0,02 \text{ с} \geq \tau_{\text{И}} \geq 1 \text{ с}; t_{\text{П}} > 2 \text{ с}$
$\leq 1,0$	6000	8000	10000
$\leq 1,5 !$	5000	7500	9500
$\leq 2,0 !$	4900	6900	8900
$\leq 2,5 !$	4500	6500	8500
$\leq 3,0 !$	4000	6000	8000
$\leq 3,5 !$	3600	5600	7600
$\leq 4,0 !$	3200	5200	7200
$\leq 4,5 !$	2900	4900	6900
$\leq 5,0 !$	2500	4500	6500
$\leq 5,5 !$	2300	4300	6300
$\leq 6,0 !$	2000	4000	6000
$\leq 6,5 !$	1800	3800	5800
$\leq 7,0 !$	1600	3600	5600
$\leq 7,5 !$	1500	3500	5500
$\leq 8,0 !$	1400	3400	5400

где  $\tau_{\text{И}}$  – длительность импульса, с;

$t_{\text{П}}$  – длительность паузы между импульсами, с.

*Недостаток естественного света.* Уровень естественного освещения регулируется СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение». Недостаток в светлое время суток естественного освещения обусловлено тем, что рабочее помещение находится не у несущих стен, а в глубине этажа.

Дефицит ультрафиолетового облучения приводит к нарушению обмена веществ и снижению резистентности организма. Поэтому во время рабочего перерыва рекомендуется либо выходить на улицу, либо в части здания, куда проникает естественный свет.

*Повышенная запыленность воздуха в рабочем помещении.* Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны регулируется СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха». При проведении работ связанных с выделением инородных частиц в воздух рабочего помещения следует обеспечить оптимальное качество воздуха. В данном случае источником запыленности являются работы, связанные с транспортировкой, упаковкой конечного продукта производства. Во время проведения работ не требуются средства индивидуальной защиты органов дыхания, головы, глаз и спецодежда, т.к. попадание ультрадисперсного в атмосферу в процессе его производства минимальны. Но, тем не менее, необходима первичная основная вентиляция.

Ультрадисперсные частицы, находящиеся в воздухе, могут травмировать слизистые, а при длительном воздействии вызвать хронические заболевания дыхательных путей. Для обеспечения требуемого качества воздуха рабочего помещения применяется механическая вентиляция с частичным использованием естественной вентиляции.

*Пониженная или повышенная температура воздуха в рабочем помещении.* Требования к температурному режиму в производственных помещениях регламентируются СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

Согласно нормативному документу, работа при проведении исследований относится к категории Па. Соответственно, в холодный период года показатели микроклимата должны соответствовать следующим значениям:

- температура воздуха (19-21) °С;
- относительная влажность воздуха (40-60) %;
- скорость движения воздуха 0,2 м/с.

В холодный период года показатели микроклимата должны соответствовать следующим значениям:

- температура воздуха (20-22) °С;
- относительная влажность воздуха (40-60) %;
- скорость движения воздуха 0,2 м/с.

Оптимальные показатели микроклимата в рабочем помещении обеспечиваются за счет систем отопления, кондиционирования и вентиляции.

*Монотонность труда.* Физические перегрузки, умственное перенапряжение, монотонность труда устанавливаются Р 2.2.2006-05 «Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда».

Необходимо учитывать физические и динамические нагрузки рабочего за 8-ми часовую смену, подъем и перемещение тяжестей на расстояние от 1 метра с пола или с рабочей поверхности, стереотипные рабочие движения, рабочая поза, интеллектуальные нагрузки, сенсорные нагрузки, эмоциональные нагрузки и т.д. Для уменьшения влияния данных факторов рекомендуется делать перерывы продолжительностью в 7% от рабочего времени.

## **5.2 Экологическая безопасность**

Электрический взрыв проводника происходит в буферном газе (аргон, азот, азон–кислород, аргон–кислород и др.). После отработки, газ не выбрасывается в атмосферу, а откачивается в резервуар. Полученные продукты взрыва, через сепаратор попадают в специальный бак, который

герметично соединен с рабочей камерой, что не позволяет порошку попасть в атмосферу. После окончания работы установки, бак с продуктами взрыва отсоединяется и герметично закрывается, что бы в процессе транспортировки порошка на фасовку избежать его попадания в атмосферу. В герметичной камере происходит взвешивание и расфасовка порошка по пакетам.

Получаемые порошки являются металлами и сплавами экологически безвредными (медь, железо, оксид титана и т.п.). Они не выделяют токсичных веществ, не оказывают влияния на организм человека при непосредственном контакте. Они пожаро- и взрывобезопасны, разрешены перевозками любым видом транспорта.

### **5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Возможной ЧС может быть возгорание ультрадисперсного порошка. Для предотвращения данной ситуации порошки оставляют в контейнере на некоторое время с доступом к воздуху, для образования на них оксидной пленки.

Другая вероятная ситуация ЧС может быть короткое замыкание, вследствие оседания ультрадисперсного порошка на высоковольтном изоляторе. При такой ситуации пробой проходит по поверхности изолятора, и установка переходит в режим короткого замыкания. Для предотвращения следует полировать и очищать высоковольтный изолятор с определенным количеством раз в год.

Аварийная разгерметизация установки. При разгерметизации, только полученные продукты взрыва попадают в окружающую среду и мгновенно воспламеняются. Для предотвращения необходимо каждый раз перед использованием осматривать установку и проверять герметичность установки, ориентируясь на давление в рабочей камере.

Не правильный выбор буферного газа или неправильное соотношение газа в газовой смеси может привести к возгоранию высоковольтного изолятора в установке. С целью избежать этой ЧС необходимо перед

эксплуатацией осмотреть соединительные элементы вакуумной системы и контролировать давление в рабочей камере измерительным прибором.

При любом случае возгорания необходимо немедленно сообщить о пожаре в пожарную службу по телефону 01 (010 с сотового, 110 с Yota). Включить сигнал тревоги, предпринять меры по организации эвакуации людей. Приступить к тушению пожара, если это возможно.

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

### **5.4.1 Требования к охране труда**

Согласно Постановлению Минтруда РФ и Минобразования РФ от 13 января 2003 года N 1/29 все сотрудники и руководитель обязаны проходить обучение по охране труда и проверку знания требований охраны труда для обеспечения профилактических мер по сокращению производственного травматизма. Особенно это важно для данного производства, работающего с высоковольтным оборудованием.

### **5.4.2 Женский труд**

Применение труда женщин согласно статье 253 ТК РФ ограничивается на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на подземных работах, за исключением нефизических работ или работ по санитарному и бытовому обслуживанию. Также женщины не допускаются к работам, связанным с подъемом и перемещением тяжестей.

### **5.4.3 Отпуска**

Минимальный срок отпуска согласно статье 115 ТК РФ составляет 28 дней. Работа с высоковольтным оборудованием относится к категории опасных работ и трудящимся в соответствии со статьей 117 ТК РФ возможно увеличение продолжительности отпуска. Продолжительность ежегодного дополнительного оплачиваемого отпуска конкретного работника устанавливается трудовым договором на основании отраслевого

(межотраслевого) соглашения и коллективного договора с учетом результатов специальной оценки условий труда.

#### **5.4.4 Медицинские осмотры и лечебно-профилактическое питание**

Согласно статье 213 ТК РФ, работники, занятые на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, проходят обязательные предварительные (при поступлении на работу) и периодические (для лиц в возрасте до 21 года – ежегодные) медицинские осмотры для определения пригодности этих работников для выполнения поручаемой работы и предупреждения профессиональных заболеваний. В соответствии с медицинскими рекомендациями указанные работники проходят внеочередные медицинские осмотры.

Поскольку данное производство не относится к категории вредных, то выдача молока и лечебно-профилактического питания или компенсационная выплата не предусмотрены.

#### **5.4.5 Рабочее место при выполнении работ**

Основная часть ВКР, связанная с получением информации с измерительного оборудования и её постобработки производится в положении сидя. Рабочее место для выполнения работ сидя организуют при легкой работе, не требующей свободного передвижения работающего, а также при работе средней тяжести в случаях, обусловленных особенностями технологического процесса. Согласно ГОСТ 12.2.032-78 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место, при выполнении работ сидя», к рабочему месту сидя соответствуют следующие требования:

- конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов (сиденье, органы управления, средства отображения информации и т.д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы;

- рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда;
- конструкцией рабочего места должно быть обеспечено выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости;
- выполнение очень частых трудовых операций должно быть обеспечено в пределах зоны легкой досягаемости.

## Заключение

В работе впервые на примере пар металлов различных групп, исследован характер нагрева и взрывообразного разрушения двух переплетенных проволок импульсом тока с плотностью порядка  $10^7$  А/см<sup>2</sup>.

Показано, что в зависимости от соотношения удельных электрических сопротивлений металлов проволок, теплоемкостей и плотностей металлов проволоки могут взрываться синхронно либо несинхронно. Предложен безразмерный параметр  $K_1$ , позволяющий оценить синхронность/несинхронность взрыва двух проволок с близкими диаметрами из различных металлов на стадии подготовки экспериментов.

На примере совместного взрыва проволок Fe-Cu и Fe-Pb показано, что временной интервал между последовательными взрывами проволок сопоставим по величине со временем охлаждения наночастиц до температуры порядка 300 К в условиях охлаждения расширяющихся продуктов взрыва буферным газом. Эти данные свидетельствуют о необходимости учета синхронности/несинхронности взрыва проводников при получении биметаллических наночастиц с заданным структурно-фазовым состоянием.



## Список использованных источников

- 1 Бурцев В.А., Калинин Н.В., Лучинский А.В. Электрический взрыв проводников и его применение в электрофизических установках, – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.
- 2 Столович Н.Н. Электровзрывные преобразователи энергии / Под редакцией В.Н. Карнюшина, – Мн.: Наука и техника, 1983. – 151 с.
- 3 M. Nitishinskiy, S. Efimov, D. Yanuka, V. Tz. Gurovich, Ya. E. Krasik. Addressing the problem of uniform converging spherical shock wave in water, // *Physics of Plasmas*. – № 23. – 2016. – P. 103507.
- 4 V.V. Apollonov, N.V. Pletnev. Technique for determining the channel expansion rate at the stage of electrical breakdown using a grounded intercepting ring, // *Technical Physics*. – № 61-11. – 2016. – P. 1654–1660.
- 5 T.A. Shelkovenko, S.A. Pikuz, D.A. Hammer. A review of projection radiography of plasma and biological objects in X-Pinch radiation, // *Physics of Plasmas*. – № 42-3. – 2016. – P. 226–268.
- 6 Хансиоахим Блум. Схемотехника и применение мощных импульсных устройств / Пер. с англ. Рабодзея А.М, – М.: Додэка-XXI, 2008. – 352 с.
- 7 L. Santhosh Kumar, S.R. Chakravarthi, R. Sarathi, R. Jayaganthan. Thermodynamic modeling and characterizations of Al nanoparticles produced by electrical wire explosion process, // *Journal of Materials Research*. – № 32. – 2017. – P. 897–909.
- 8 G.V. Kurlyandskaya, S.M. Bhagat, A.V. Bagazeev, A.I. Medvedev, A. Ballesteros, I.V. Beketov, A.P. Safronov. Structure, magnetic and microwave properties of FeNi invar nanoparticles obtained by electrical explosion of wire in different preparation conditions, // *Journal of Physical Chemistry*. – № 98. – 2016. – P. 255–262.
- 9 Котов Ю. А. Электрический взрыв проволоки – метод получения слабоагрегированных нанопорошков. // *Научно–техническая политика. Российские нанотехнологии*. – Том 4, № 1–2. – 2009. – С. 40–49.

10 Жантуаров С.Р., Пустовалов А.В., Кайралиева Т.Г. Свойства нанопорошков меди, полученных методом электровзрыва проводника. // XI международная конференция студентов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук» С. 936–938.

11 Лернер М.И., Сварковская Н.В., Псахье С.Г., Бакина О.В. Технология получения, характеристики и некоторые области применения электровзрывных нанопорошков металлов. // Российские нанотехнологии. Обзоры. – Том 4. № 9–10. – 2009. – С. 6–18.

12 Yoshinori Tokoi, Takuya Orikawa, Tsuneo Suzuki, Tadachika Nakayama, Hisayuki Suematsu and Koichi Niihara. Preparation of Alumina Nanoparticles by Pulsed Wire Discharge in water. // Japanese Journal of Applied Physics. – № 50. – 2011.

13 Satoru Ishihara, Tetsuya Koishi, Takuya Orikawa, Hisayuki Suematsu, Tadachika Nakayama, Tsuneo Suzuki, and Koichi Niihara. Synthesis of Ni-Cu Nanoparticles by Pulsed Wire Discharge and their Compositional Distribution. // Japanese Journal of Applied Physics. – № 23. – 2012. – P. 775–779.

14 Азаркевич Е.И., Ильин А.П., Тихонов Д.В., Яблуновский Г.В. Электровзрывной синтез ультрадисперсных порошков сплавов и интерметаллических соединений // Физика и химия обработки материалов. – 1997. – № 4. – С. 85–88.

15 Fahad Noor, Alexander Vorozhtsov, Marat Lerner, Enio Pedone Bandarra Filho, Dongsheng Wen. Thermal-chemical characteristics of AlCu alloy nanoparticles. // Journal of Physical Chemistry. – № 119, 25. – 2015. – P. 14001–14009.

16 Кулькова С.Е., Егорушкин В.Е., Еремеев С.В., Бажанов Д.И., Кульков С.С., Чудинов Д.В. Теоретическое исследование поверхности материалов перспективных для хранения водорода: поверхностная активность и адсорбционные свойства // Физическая мезомеханика. – Том 7, № S1-1. – 2004. – С. 225–228.

17 Marat I. Lerner, Sergey G. Psakhie, Aleksandr S. Lozhkomoev, Aliya F. Sharipova, Alexander V. Pervikov, Irena Gotman, and Elazar Y. Gutmanas. Fe–Cu Nanocomposites by High Pressure Consolidation of Powders prepared by Electric Explosion of Wires // *Advanced Engineering Materials*. – 2018. – P. 1701024.

18 Авраамов Ю.С., Шляпин А.Д. Сплавы на основе систем с ограниченной растворимостью в жидком состоянии. – М.: Издательство Интерконтакт наука, 2002. – 372 с.

19 Хольм Р. Электрические контакты. – М.: Издательство иностранной литературы, 1961. – 464 с.

20 T.K. Sindhu, R. Sarathi and S.R. Chakravarthy. Understanding nanoparticle formation by a wire explosion process through experimental and modelling studies // *Nanotechnology*. – № 19, 025703. – 2008.