

**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: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
 Отделение материаловедения

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
Исследование электрического взрыва Al проводников в среде He
УДК 621.315.55:537.521:546.29

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ТМ61	Джуманазаров Ильяс Искендербекович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Младший научный сотрудник	Пустовалов Алексей Витальевич	кандидат технических наук		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально- гуманитарных наук	Старикова Екатерина Васильевна	кандидат философских наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения контроля и диагностики	Ахмеджанов Рафик Равильевич	доктор биологических наук		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Техника и физика высоких напряжений	Жгун Дмитрий Владимирович	кандидат технических наук		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения
<b>Универсальные компетенции</b>	
P1	Способность <i>совершенствовать</i> и развивать свой <i>интеллектуальный и общекультурный уровень</i> , добиваться <i>нравственного и физического совершенствования</i> своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.
P2	Способность <i>использовать иностранный язык в профессиональной сфере</i> .
P3	Способность применять на практике <i>навыки и умения в организации</i> научно-исследовательских и производственных работ, в <i>управлении</i> коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности
P4	Способность использовать методологические основы <i>научного познания и творчества</i> , научную информацию в развитии отрасли, навыки проведения работ с использованием <i>современных информационных технологий</i> ; синтезировать и критически резюмировать информацию.
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P5	Способность применять <i>углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания</i> в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Способность <i>ставить и решать инновационные задачи</i> инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности
P7	Способность выполнять <i>инженерные проекты</i> с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P8	Способность выполнять инновационные <i>инженерные исследования</i> в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	Способность проводить <i>технико-экономическое обоснование</i> 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.
P10	Способность проводить <i>монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы</i> электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P11	Способность осваивать <i>новое</i> электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P12	Способность разрабатывать <i>рабочую проектную и научно-техническую документацию</i> в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; <i>составлять оперативную документацию</i> , предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы

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: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП

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

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

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4ТМ61	Джуманазаров Ильяс Искендербекович

Тема работы:

Исследование электрического взрыва  $Al$  проводников в среде  $He$

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 1799/с от 15.03.2018

Срок сдачи студентом выполненной работы:

09 июня 2018 года

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

*(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).*

Исследовать процесс протекания электрического взрыва алюминиевых проводников в среде гелия. Определить параметры ЭВП, обеспечивающие критический режим взрыва и в режимах, отличных от критического. Установить влияние гелия на физико-химические свойства получаемых нанопорошков, а именно средний размер частиц и их структурные характеристики, химический состав. Сравнить дисперсность частиц полученных в гелии и аргоне при равных давлениях, плотностях газа и уровнях энергии вводимой в проводник. Все эксперименты выполнить на установке УДП разработанной в НИ ТПУ.

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>1 Методы получения нанопорошков.  2 Электрический взрыв проводника как метод получения металлических порошков.  3 Методика эксперимента.  4 ЭВП Al в среде Ar и He.  5 Исследование свойств порошков полученных в гелии.</p> <p>Дополнительные разделы: «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», «Социальная ответственность».</p>
--	---

<p><b>Перечень графического материала</b></p>	<p>Презентация в Microsoft PowerPoint</p>
---	---

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Старикова Екатерина Васильевна
Социальная ответственность	Ахмеджанов Рафик Равильевич
Разделы, выполненные на иностранном языке	Квашнина Ольга Сергеевна

<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p> <p>Электрический взрыв проводника как метод получения металлических порошков</p>
---

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>22 января 2018 г.</p>
--	--------------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Младший научный сотрудник, Отделение естественных наук	Пустовалов Алексей Витальевич	кандидат технических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ТМ61	Джуманазаров Ильяс Искендербекович		

**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: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
 Уровень образования: магистр  
 Отделение материаловедения  
 Период выполнения: 2017/2018 учебный год

Форма представления работы:

магистерская диссертация
--------------------------

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08 июня 2018 г.
--	-----------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
<i>Пример заполнения: Разделы/главы ВКР и срок выполнения</i>		
01/04/2017	<i>Литературный обзор: методы получения нанопорошков и электрический взрыв проводника как метод получения металлических порошков.</i>	20
01/05/2017	<i>Расчетно-конструкторская часть: методика эксперимента</i>	30
29/05/17	<i>Экспериментальная часть: ЭВП Al в среде Ar и He, исследование свойств порошков полученных в гелии.</i>	30
15/04/17	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	5
15/04/17	<i>Социальная ответственность</i>	5
27/04/17	<i>Раздел, выполненный на иностранном языке</i>	10
		<i>Сумма: 100 баллов</i>

Составил руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Младший научный сотрудник, Отделение естественных наук	Пустовалов Алексей Витальевич	кандидат технических наук		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Техника и физика высоких напряжений	Жгун Дмитрий Владимирович	кандидат технических наук		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 119 страниц, 24 рисунков, 29 таблиц, 56 источников, 1 приложения.

Ключевые слова: ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ВЗРЫВ ПРОВОДНИКА (ЭВП), НАНОПОРОШОК АЛЮМИНИЯ, ДИСПЕРСНОСТЬ, ФАЗОВЫЙ СОСТАВ, КРИТИЧЕСКИЙ РЕЖИМ

Объектом исследования является нанопорошки алюминия полученные методом электрического взрыва проводника в среде гелия.

Цель работы - исследовать электрический взрыв проводника в атмосфере гелия и установить его влияние на энергетические характеристики взрыва, а так же дисперсность, фазовый состав получаемых нанопорошков.

В процессе исследования получали  $Al$  нанопорошки методом электрического взрыва проводника в среде гелия. Экспериментально определяли параметры ЭВП  $Al$  ( $C$ ,  $U_0$ ,  $L_k$ ,  $l$ ,  $d$ ), обеспечивающие критический режим взрыва. Исследовали закономерности протекания ЭВП в режимах, отличных от критического, а также влияние гелия на физико-химические свойства получаемых нанопорошков - средний размер частиц и их структурные характеристики, химический состав.

В результате исследования экспериментально определено, что для получения алюминиевых порошков среда гелия является более практически выгодной т.к. размер частиц меньше, а себестоимость порошка не на много выше. ЭВП в гелии протекает по тем же закономерностям что и в воздухе, аргоне и других газах.

Исследования выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант РФФИ-мол-а 16-38-00051).

## ABSTRACT

Master's thesis consists of 119 pages, 24 figures, 29 tables, 56 references, 1 applications.

Key words: ELECTRICAL EXPLOSION OF WIRE (EEW), ALUMINUM NANOPOWDER, DISPERSION, PHASE COMPOSITION, CRITICAL MODE.

The object of the research is nanopowders aluminum obtained by the electrical explosion of wire in helium.

The purpose of work is to investigate the electric explosion of wire in an helium atmosphere and to establish its influence on the energy characteristics of an explosion, as well as the dispersity and phase composition of the nanopowders obtained.

In the course of the research received nanopowders Al by method of electric explosion of wire in helium. Experimentally determined the EEW Al parameters ( $C$ ,  $U_0$ ,  $L_c$ ,  $l$ ,  $d$ ) providing the critical mode of explosion. Investigated regularities of course of EEW in the modes other than critical, as well as the influence of helium on the physicochemical properties of the nanopowders obtained - the average particle size and their structural characteristics, chemical composition.

As a result of a research it is experimentally defined that for receiving aluminum powders the environment of helium is more almost favorable since the size of particles less, and the prime cost of powder isn't one many higher. EEW in helium proceeds on the same regularities as in air, argon and other gases.

This study was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant RFBR-mol-a 16-38-00051).

## Обозначения и сокращения

В настоящей работе использовались следующие сокращения:

ЭВП – электрический взрыв проводника;

НП – нанопорошок;

МГД – магнитогидродинамический;

ПЭМ – просвечивающий электронный микроскоп;

РФА – рентгенофазовый анализ;

УДП – установка для получения нанопорошков методом электрического взрыва проводника;

Метод ВЕТ – метод низкотемпературной адсорбции азота;

$e_c$  – энергия сублимации;

$e/e_c$  – удельная энергия введенная в проводник;

$\eta$  – коэффициент передачи энергии от накопителя к проводнику.

## Оглавление

Введение.....	12
Глава 1. Методы получения наннопорошков.....	14
1.1 Механические методы получения наннопорошков.....	14
1.2 Химические методы получения наннопорошков .....	18
1.3 Физические методы получения наннопорошков .....	20
Глава 2. Электрический взрыв проводника как метод получения металлических порошков.....	24
2.1 Процесс электрического взрыва проводника.....	24
2.2 Методы расчета начальных условий ЭВП .....	26
2.2.1 Магнитогидродинамический расчет .....	27
2.2.2 Теория подобия .....	27
2.3 Влияния газа на протекание процесса ЭВП.....	30
2.4 Влияние газовой среды на продукты ЭВП.....	33
2.5 Заключение – формулировка целей и задач.....	36
Глава 3. Методика эксперимента.....	38
3.1 Получение порошков.....	38
3.1.1 Установка для получения наннопорошков методом ЭВП .....	38
3.1.2 Расчет энергии вводимой в проводник и параметров контура .....	39
3.2 Анализ свойств порошков.....	41
3.2.1 Методика определения металлического алюминия .....	42
3.2.2 Электронная микроскопия .....	43
3.2.3 Измерение удельной поверхности .....	44
3.2.4 Рентгенофазный анализ.....	44

3.2.5 Гранулометрический анализ.....	44
3.3 Начальные условия экспериментов .....	45
Глава 4. ЭВП Al в среде Ar и He.....	46
4.1 Критический режим ЭВП.....	46
4.2 Режимы ЭВП относительно критического взрыва.....	49
Глава 5. Исследование свойств порошков полученных в гелии .....	53
5.1 Сравнение зависимостей среднего размера частиц от рода газа .....	53
5.2 Свойства нанопорошков алюминия полученных в гелии и аргоне .....	54
Глава 6. Ресурсоэффективность и финансовый менеджмент.....	60
6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	60
6.2 Иерархическая структура работ .....	62
6.3 SWOT – анализ НТИ.....	62
6.4 Планирование этапов и выполнения работ проводимого научного исследования .....	64
6.4.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	64
6.5 Расчет бюджета для научно-технического исследования .....	68
6.5.1 Специальное оборудование для научных работ .....	68
6.5.2 Основная заработная плата исполнителей темы .....	69
6.5.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы .....	70
6.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	71
6.5.5 Накладные расходы .....	71
6.5.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .	72
6.6. Оценка рисков НТИ .....	72

6.7 Анализ и оценка научно-технического уровня исследования .....	74
6.8 Оценка ресурсоэффективности проекта .....	76
Глава 7. Социальная ответственность.....	83
7.1 Производственная безопасность .....	83
7.1.1 Анализ вредных факторов производственной среды.....	83
7.1.2 Анализ опасных факторов производственной среды.....	87
7.2 Экологическая безопасность.....	90
7.2.1 Защита атмосферы .....	90
7.2.2 Защита гидросферы .....	91
7.2.3 Защита литосферы .....	91
7.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	92
7.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	94
Выводы .....	95
Список публикаций студента.....	96
Список использованных источников .....	97
Приложение А .....	103
CD - Диск - Исследование электрического взрыва Al проводника в среде He	

## Введение

В реальное время совершенствование данных всевозможных характеристик материалов и изделий, существенный рост качества продукции и улучшение производительности технологических процессов могут быть достигнуты с внедрением нанопорошков металлов и их различных соединений.

Нанопорошки (НП) получают разными способами. Одним из коих, является электрический взрыв проводника (ЭВП) [1, 2]. Электрический взрыв проводника, это резкое изменение физического состояния металла в результате интенсивного выделения в нем энергии с пропусканием импульсного тока с большой плотностью ( $j \geq 10^6 \text{ А/см}^2$ ) [3]. В процессе электровзрыва проводник находится в экстремально неравновесных условиях, связанных с скорым его нагревом и последующим быстрым охлаждением продуктов диспергирования, в последствии электровзрывные порошки обладают рядом необычных свойств в сопоставлении с порошками, полученными другими методами.

Частицы порошков получаемых по методу ЭВП имеют сферическую форму, размер частиц лежит в интервале (10 – 500) нм, площадь удельной поверхности (2 – 50) м<sup>2</sup>/г [4]. Фазовый состав частиц, получаемых электрическим взрывом в атмосфере инертных газов, неоднороден. Кроме кристаллической фазы значительная доля металла присутствует в рентгеноаморфном (нанокристаллическом) состоянии.

Свойствами получаемых порошков можно управлять, изменяя начальные условия ЭВП, а также составом газа и его давлением. Однако в литературе имеется лишь точечные данные о влиянии газовой среды на протекание процесса взрыва и свойств получаемых порошков. Поэтому исследования влияния состава среды на протекание ЭВП и на физико-химические свойства порошков является актуальной задачей.

Целью настоящей работы является исследовать электрический взрыв проводника в атмосфере гелия и установить его влияние на энергетические характеристики взрыва, а так же дисперсность, фазовый состав получаемых

нанопорошков. В качестве объекта исследования был взят ЭВП алюминия и порошки алюминия, т.к. они находят достаточно широкое применение.

Задачи:

1 Экспериментально определить параметры ЭВП алюминия ( $C, U_0, L_k, l, d$ ), обеспечивающие критический режим взрыва в атмосфере гелия и при давлении от 1 атм до 4 атм. При изменении давления газовой среды установить закономерности изменения энергетических параметров ( $e/e_c, \eta, t_{\text{ЭВП}}, j$ ) критического режима взрыва.

2 В режимах, отличных от критического исследовать закономерности протекания ЭВП. Установить характер изменения энергетических параметров ЭВП при переходе от ЭВП в аргоне к ЭВП в гелии. Установить количественные зависимости  $\lambda_k = f(\varepsilon, \nu)$ ,  $\eta_k = f(\varepsilon)$ , необходимые для расчета параметров критического взрыва в атмосфере гелия при заданном давлении.

3 Исследовать влияние гелия на физико-химические свойства получаемых нанопорошков - средний размер частиц и их структурные характеристики, химический состав.

4 Сравнить свойства порошков, полученных при одинаковых условиях в гелии и в аргоне.

## **Глава 1. Методы получения наннопорошков**

Методы получения наннопорошков разделяют по признаку изменения размеров частиц: методы, базирующиеся на измельчении исходного сырья и методы, в которых порошки образуются путем укрупнения частиц [5]. К первой группе относят методы распыления расплавов и дробление твердых тел. Ко второй группе относятся: испарение с последующей конденсацией, плазмохимический синтез, химическое диспергирование, электроосаждение.

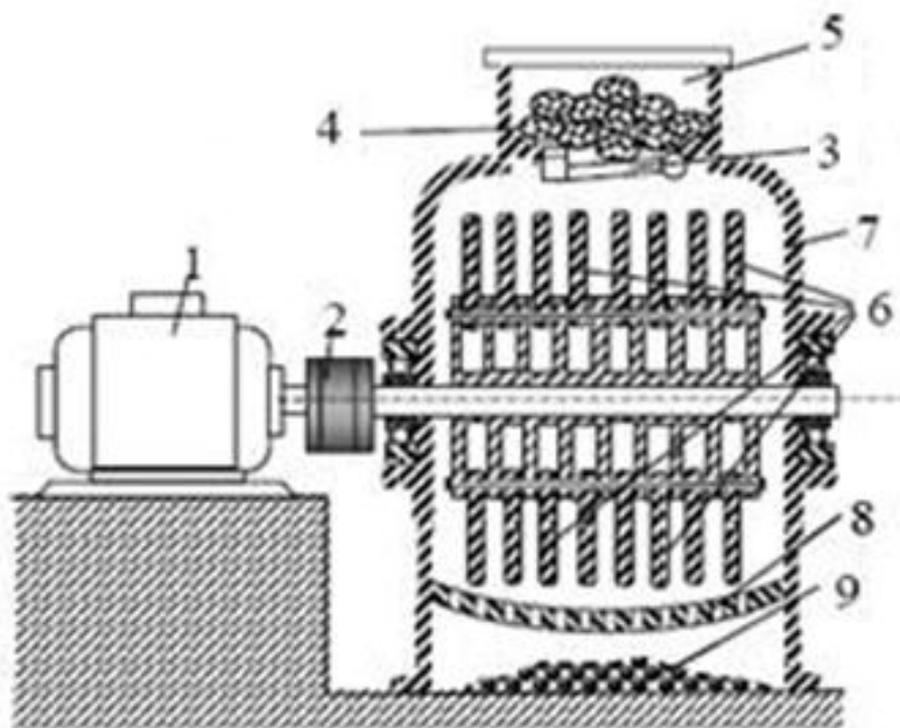
Наиболее объективной представляется классификация методов получения наннопорошков, в основе которых лежит природа процесса синтеза. При таком подходе методы получения ультрадисперсных материалов разделяют на механические, физические, химические и биологические [5]. В основу механических методов можно отнести воздействие больших деформирующих нагрузок, таких как прессования, давления, вибрации, трения и различные кавитационные процессы. Физические методы получения порошков основываются на физических превращениях: конденсации, возгонке, испарении, резком нагреве или охлаждении. К химическим относятся методы, основным диспергирующим этапом которых являются электролиз, термическое разложение или восстановление. Биологические методы получения ультрадисперсных материалов основываются на применении биохимических процессов, происходящих в белковых телах.

### **1.1 Механические методы получения наннопорошков**

*Измельчение.* Одним из типичных примеров технологий «сверху – вниз» является измельчение в дезинтеграторах, мельницах, атриторах, а также в других диспергирующих установках. Происходит это за счет раскалывания, раздавливания, истирания, распиливания, разрезания, удара или в совокупности комбинации этих действий [5]. Способ, обеспечивающий приемлемую производительность (порядка нескольких килограммов в час) измельчение, впрочем, не приводит к получению очень мелких порошков, так как существует

некоторые пределы измельчения, отвечающий достижению своеобразного равновесия между процессом агломерацией частиц и их разрушения. В том числе и при измельчении достаточно хрупких материалов размер частиц, которых при измельчении обычно не ниже 100 нм; частицы состоят из кристаллитов размером не менее (10 – 20) нм [6].

Ниже на рисунке 1.1 приведена работа молотковой мельницы.



1 – двигатель; 2 – муфта; 3 – бункер для загрузки; 4 – загрузочный люк с защелкой; 5 – губка; 6 – била; 7 – корпус мельницы; 8 – металлическая решетка с ситовым полотном; 9 – готовый порошок

Рисунок 1.1 – Работа молотковой мельницы

*Распыление жидких металлов.* Различают два основных способа распыления жидких металлов – распыление с помощью форсунки и центробежное распыление.

*Распыление с помощью форсунки.* Первоначально расплавленный металл пропускается через форсунку и в зависимости от скорости струи происходит ее сохранение, распад или распыление в форсунке или вблизи нее.

При прочих равных условиях степень распыления зависит от вязкости жидкости [7]. Хотя в принципе распыление жидких металлов является экономичным методом, практически производство порошков распылением испытывает осложнения экономического характера в связи с широким разбросом готового продукта по величине частиц. На рисунке 1.2 можно увидеть процесс распыления жидкого металла с помощью форсунки.



Рисунок 1.2 – Процесс распыления жидкого металла

Во избежание застывания первая порция жидкого металла должна пройти по кварцевому каналу с большой скоростью, которая обеспечивается ударным наддувом герметичной камеры с плавильного агрегата.

*Центробежное распыление.* Данный метод основан на центробежном растекании жидкости при попадании ее в центр вращающейся чаши. При достижении края чаши происходит отрыв слоя жидкости в виде пленки. При достаточно высоких скоростях вращения чаши полученная пленка жидкого металла может быть весьма тонкой. Исследования этого метода показали, что центробежное распыление характеризуется большой однородностью частиц порошка по размерам. Диаметр образующейся таким путем капли жидкого металла определяется скоростью вращения диска, например для получения

порошка меди с частицами 1 мкм диск должен вращаться с частотой 24000 об/мин [6]. Производительность при вышеуказанных условиях составляет несколько килограмм в час. Ниже на рисунке 1.3 приведена схема установки для центробежного распыления жидкого металла.

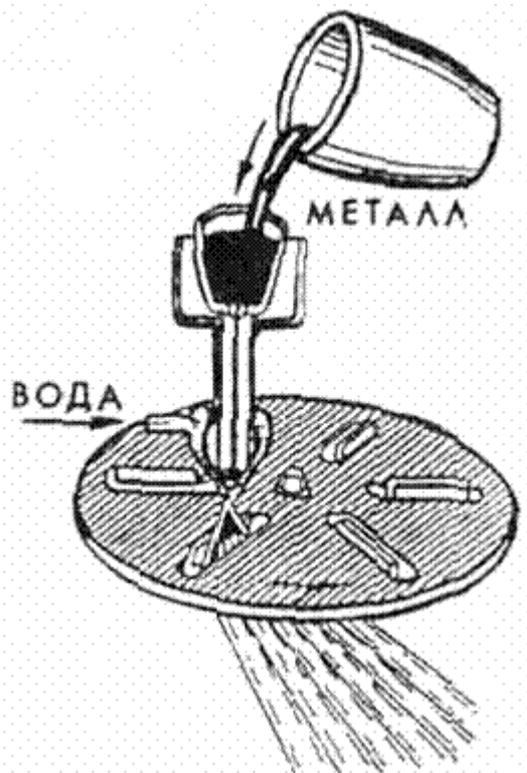


Рисунок 1.3 – Схема установки для центробежного распыления жидкого металла

Технологии центробежной атомизации предполагает распыление расплава при попадании его на быстро вращающийся диск, либо с быстровращающейся цилиндрической заготовки, торец которой оплавляют посредством плазменной струи.

Отмеченные недостатки центробежного распыления – это большие энергозатраты, высокая стоимость оборудования, сложность в эксплуатации, их применение становится рентабельно при изготовлении сложных, например, жаропрочных порошков.

## 1.2 Химические методы получения нанопорошков

*Механохимический синтез.* В практике получения наноматериалов установки по получению нанопорошков механическим методом, нередко применяются для операций механохимического синтеза, когда высокоэнергетическое диспергирование в совокупности с образованием сплавов и различных соединений в результате химических реакций. Последние протекают либо за счет взаимодействий исходных порошков, либо в результате насыщения из газовой фазы, а также при различных смешанных вариантах. Методом механохимического синтеза получены ультрадисперсные порошки “тугоплавких соединений ( $TiN, TiC, TiB_2, ZrN, NbC, TiN$  и др.)” и композиционных составов на подобии  $Al_2O_3 + Fe \cdot (Ni, Cr)$ , упоминается также о получении перенасыщенных твердых смесей в системах  $Fe - Cu, Fe - Ni, Fe - Ti, Fe - Al, W - Cu, Ni - Al$  и др.

*Электрохимическое окисление металлов.* Электрохимический способ в настоящее время является многообещающим направлением синтеза нанопорошков оксидов металлов получивших развитие. Возможность получения довольно чистых оксидов и гидроксидов является основным преимуществом данного способа. Регулировка электрических параметров процесса электролиза позволяет формировать порошки с заданной дисперсностью. Собственно, что еще больше увеличивает его практическое значение.

Получить металл или же оксид в виде порошка или же измельченной губки удастся, как правило, при надлежащих критериях пропускания электрического тока на катоде электролитной ванны [8].

Управлять характеристиками пористой структуры продуктов и синтезировать нанодисперсные материалы с заданными свойствами (удельной площадью поверхности, суммарным объемом пор, а также дисперсностью) можно изменяя условия: температуру обработки и электролиза.

Оксиды металлов с относительно условным диаметром первичных частиц в нанометровом диапазоне на переменном токе позволяет получать электрохимический синтез оксидов металлов. Продукты электролиза никеля, титана и алюминия имеют гидратированный характер, относительно условный диаметр частиц составляет около (5 – 9) нм. Первичные частички образуют скопления, не имеющих конкретно определенной формы, количество частиц в агрегатах достигает (2000–3200). Высушенные продукты электрохимического окисления никеля, титана, алюминия, а также молибдена представляют собой аморфные порошки, а продукты цинка и кадмия кристаллические соединения гидратированного характера. Смесь оксидов различной степени окисления являются продуктами окисления олова, меди, свинца и железа. Высокой удельной площадью поверхности (для  $\gamma$ - $Al_2O_3$  более 500 м<sup>2</sup>/г) и преимущественным размером пор в диапазоне от 7 до 22 нм (мезо поры) обладают синтезированные оксиды металлов. Для продуктов электролиза цинка, титана и алюминия наблюдается довольно незначительное уменьшение удельной площади поверхности при прогреве температуры в промежутке (110 – 800) °С. Все продукты представляют собой оксиды при температуре свыше 500 °С.

*Химический синтез.* Фотохимические и термические разложение соединений металлов и восстановление в растворе в присутствии стабилизаторов являются ведущими химическими способами получения нанопорошков металлов. Форму и размер (от нескольких ангстрем до нескольких микрон) частиц можно регулировать в широких пределах, варьируя только условия процесса, методы стабилизации и природу восстановителя, то есть, следовательно, и целенаправленно изменять их свойства. Частицы округленной формы для меди (100 – 200) нм получают при разложении солей металлов, а порошки в виде губки с размерами частиц (50 – 100) и (35 – 80) нм соответственно для никеля и кобальта [8].

В большинстве случаев термическое разложение металлоорганических соединений не дает возможность получения чистых нанопорошков металлов (в

них присутствуют карбиды, оксиды, а также в ряде случаев еще и углерод в виде сажи).

*Плазмохимический синтез.* Одним из хорошо освоенных методов получения нанопорошков является переконденсация металлов и их соединений или же синтез с использованием плазмы высокой или низкой температуры. Относительно процесс подразделяется на соответствующие стадии: подготовка начального сырья с частицами размером несколько микрометров, равномерная подача начального сырья, генерацией плазменной струи, плазмохимическим синтезом, а также улавливанием полезного продукта. К настоящему времени изобретены методы получения нанопорошков многочисленных керамических соединений (силицидов, карбидов, оксидов, а также нитридов), и их взаимных сложных соединений и растворов (ферритов, шпинелей и карбонитридов) композиций различных соединений, в том числе и тугоплавких металлов кобальта, молибдена, тантала и вольфрама. Производительность данного способа достигает примерно (3 – 5) кг/час [8]. Порошки, полученные, данным методом характеризуются размерами (50 – 100) нм, высокой дефектностью кристаллической решетки и высокой активностью.

### **1.3 Физические методы получения нанопорошков**

В настоящее время обширно распространены физические способы получения нанопорошков и используются гораздо чаще, чем механические, несмотря на значительную сложность в аппаратном оформлении.

К физическим методам в основном относят разнообразные методы испарения - конденсации, которые базируются на получении нанопорошков с использованием нагрева и испарении исходного вещества с последующей быстрой конденсацией. При этом конденсация происходит настолько быстро, что образовавшиеся частицы не успевают “вырасти” до крупных размеров [7]. Нагревание испаряемого сырья может реализовываться различными методами: резистивными, лазерными, плазменными, индукционными, ионными, электрической дугой и др. Процесс испарения-конденсации, возможно

осуществлять в вакуумной среде, а также в восстановительной и нейтральной средах. От давления системы, скорости испарения и конденсации, а также от вида атмосферы, в которой происходит процесс, существенно зависят свойства конечного продукта.

*Установки и печи электродугового нагрева.* Для получения нанопорошка токопроводящих материалов используются установки и печи электродугового нагрева, при помощи электрической дуги в высоком вакууме, а также в разных реакционных средах. Предлагается два вида дуговых испарителей: импульсный сильноточный дуговой испаритель с «холодным» катодом для получения порошка тугоплавких металлов и дуговой испаритель постоянного тока с «горячим» катодом и анодом для получения порошка легкоплавких металлов [7]. Для получения нанопорошка химических соединений с неметаллами предусмотрена система напуска газа, позволяющая проводить плазмохимические реакции и варьировать размеры частиц получаемого порошка, кроме того его «стехиометрический состав». Для улавливания нанопорошка применена традиционная схема осаждения испаряемого материала на охлаждаемую поверхность с последующим съемом конденсата с помощью металлической щетки. Данная установка позволяет получать высокочистые нанопорошки регулируемого гранулометрического состава производительностью в зависимости от размера и вида порошка от 0,1 до 30 кг в час и со средним размером частиц примерно от 0,1 до 1 мкм [8].

*Применение электронного пучка для производства нанопорошков.* Различают два метода получения нанопорошков с использованием электронного пучка. В первом случае пучком воздействуют на испаряемое исходное вещество с последующей конденсацией образовавшихся паров. Во втором происходит воздействие пучка на газофазные среды.

*Испарение твердого вещества пучком электронов.* В данном методе, для испарения исходного твердого вещества, с последующей конденсацией паров в виде нанопорошка используется мощный концентрированный пучок электронов. Причем испарение происходит при атмосферном давлении. Пучок

генерируется ускорителем электронов энергией электронов 1.4 МэВ и мощностью до 100 кВт. Плотность мощности на поверхности материала может достигать 100 кВт/см [9].

Ускоренный пучок электронов через систему дифференциальной вакуумной откачки, состоящей из трех ступеней, выводится из высокого вакуума в среду с атмосферным давлением. В теплоту превращается основная доля кинетической энергии пучка бомбардирующих электронов, разогревая вещество в области падения на него “пучка на глубине проникновения”. Вид установки показан на рисунке 1.4.

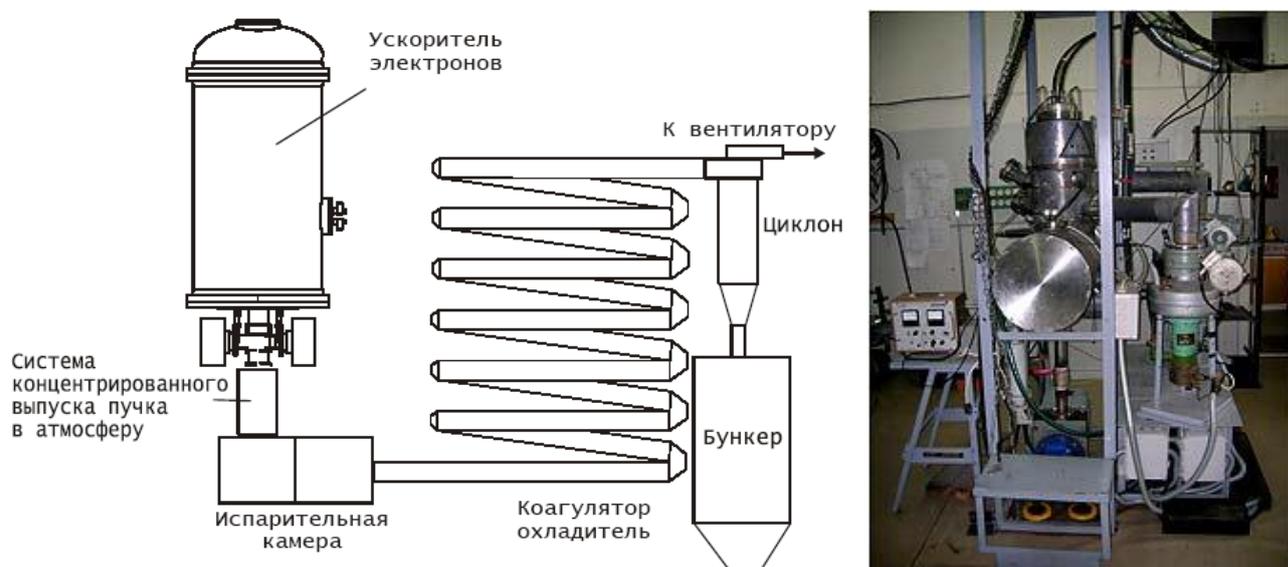


Рисунок 1.4 – Схема и вид установки

Производительность при номинальной мощности ускорителя 100 кВт достигает 20 кг/ч и зависит от рода материала.

Порошки, полученные электроннолучевым способом, имеют сферическую форму со средним размером образующихся частиц от 30 до 200 нм, зависящие от природы исходного сырья. Порошки имеют рентгено-аморфную структуру.

### **Вывод по главе**

Как показано – существует множество способов получения порошков с размером частиц нанометрового диапазона, каждый способ имеет свои

достоинства и недостатки. Так механические методы характеризуется производительностью, но получаемый порошок загрязняется материалом измельчения, существует и ограничения в определенных размерах получаемых порошков.

Одним из главных достоинств химического метода возможность получения довольно чистых оксидов и гидроксидов, также регулировка электрических параметров процесса электролиза позволяет формировать порошки с заданной дисперсностью, и достаточна высокой производительностью. Недостатком метода в большинстве случаев можно отнести термическое разложение металлоорганических соединений не дает возможность получения чистых нанопорошков металлов (в них присутствуют карбиды, оксиды, а также в ряде случаев еще и углерод в виде сажи).

К достоинствам физических методов можно отнести широкий спектр наноразмерных материалов, а также обширное распространение физических методов получения порошков. Но значительная сложность в аппаратном оформлении и достаточно высокие энергозатраты по сравнению с другими являются недостатками метода.

## Глава 2. Электрический взрыв проводника как метод получения металлических порошков

В настоящее время одним из многообещающих методов получения широкой гаммы нанопорошков неорганических материалов является технология, основанная на процессе электрического взрыва проводника (метод разработан в НИИ высоких напряжений). Электрическим взрывом проводника называется явление связанное с взрывообразным разрушением металлического проводника при прохождении сквозь него импульсного тока с большой плотностью (более  $10^6$  А/см<sup>2</sup>). Продуктами после взрыва проводника являются мельчайшие частицы металла и его пары, которые в зависимости от рода газа, окружающего проводник образуют порошки металлов, различных сплавов, химических соединений или порошки композиционного состава [10].

### 2.1 Процесс электрического взрыва проводника

Наиболее просто ЭВП осуществить в -контуре по схеме показанной на рисунке 2.1 а. В котором емкостной накопитель энергии  $C$  заряжается от источника энергии до напряжения  $U_0$  и с помощью разрядника  $P$  коммутируется на взрываемый проводник. Основную данные дающие информацию о процессе взрыва получают из осциллограмм тока и напряжения (рисунок 2.1 б).

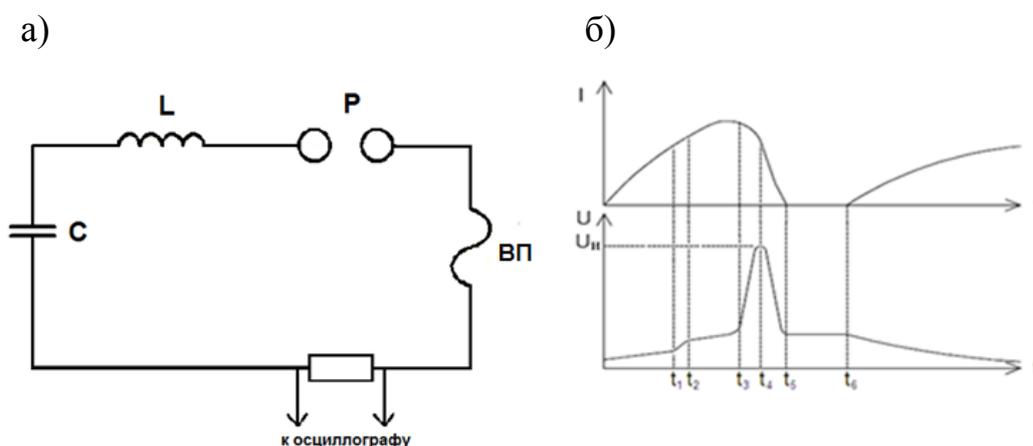
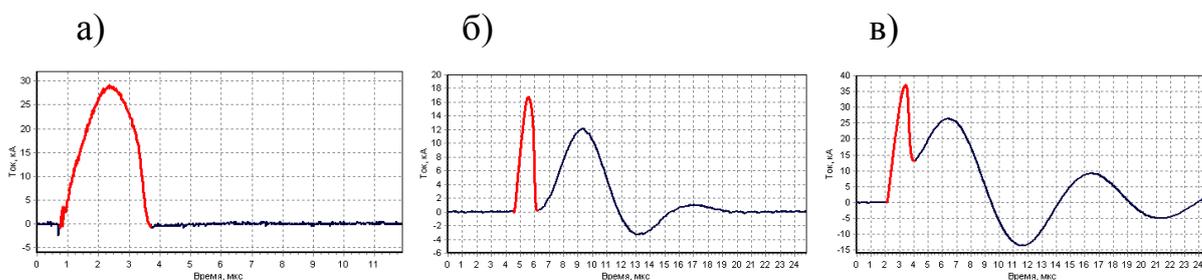


Рисунок 2.1 – LC-контур для осуществления ЭВП (а), осциллограмма тока и напряжения ЭВП в режиме с паузой тока (б)

Анализ осциллограмм позволяет выявить отдельные стадии развития ЭВП [1]. Во время замыкания цепи разрядником Р волновым сопротивлением контура определяется ток в начальном моменте, так как сопротивление проводника незначительное. После разрядки конденсатора, сквозь проволочку протекает импульсный ток с большой плотностью, из-за чего проводник нагревается вплоть до температуры плавления (момент времени соответствующему –  $t_1$ ). На осциллограмме напряжения в промежутке времени  $t_1-t_2$  можно заметить скачок напряжения вызванного ростом удельного сопротивления проволоки, за счет плавления металла. После чего металл нагревается в жидком состоянии. Процессы разрушения начинаются в момент времени  $t_3$ , у проводника теряется сплошность, за счет стремительного нарастания сопротивления ток в цепи начинает, снижаться, на разрядном промежутке формируется импульс перенапряжения ( $U_{п}$ ), амплитуда которого может превышать зарядное напряжение накопителя ( $U_0$ ) в несколько раз. Авторами многих работ момент времени  $t_4$ , соответствующий максимуму пика перенапряжения, принимается за момент непосредственно взрыва проводника. После  $t_4$  ток уменьшается до нуля и в момент времени  $t_5$  начинается пауза тока, которая связана с низкой электрической проводимостью продуктов взрыва, обладающие свойствами газа с высокой электрической прочностью. Впоследствии расширения продуктов взрыва электрическая прочность промежутка снижается и в момент времени  $t_6$  остаточным напряжением на конденсаторе происходит пробой продуктов, после возникает дуговая стадия ЭВП.

Взрыв можно осуществлять в “согласованном” (рисунок 2.2, а), в “критическом” (рисунок 2.2, б), и в режиме “без паузы тока” (рисунок 2.2, в) [11], в зависимости от условий проводимого эксперимента.



а) в согласованном режиме; б) в критическом режиме;  
в) в режиме без паузы тока

Рисунок 2.2 – Осциллограммы тока ЭВП

В согласованном режиме проводник потребляет всю энергию, запасенную в накопителе, дуговая стадия отсутствует. Сохраняя остальные условия эксперимента, лишь уменьшение длины проводника, приводит к снижению уровня энергии, потребляемой проводником при взрыве, но появляется остаточная энергия в накопителе, увеличивая при этом удельную энергию в целом. Данная энергия выделяется в дуговой стадии при пробое расширяющихся продуктов взрыва – ЭВП в режиме с паузой тока. От скорости уменьшения электрической прочности продуктов ЭВП, длины разрядного промежутка, а также уровнем остаточного напряжения накопителя после ЭВП зависит величина промежутка времени, при котором наблюдается пауза тока.

Последующее уменьшение длины взрываемой проволоочки приводит к уменьшению длительности времени паузы тока вплотную до нуля и к переходу в критический режим ЭВП. Далее уменьшая длину проводника, переходим в режим без паузы тока, при этом дуговая стадия разряда возникает до отключения тока.

## 2.2 Методы расчета начальных условий ЭВП

В настоящее для определения параметров, обеспечивающих необходимые режимы взрыва проводника с целью получения порошков металлов с заданными свойствами, используют следующие методы: магнитогидродинамический расчет (МГД) [12 – 14]; а также подход, основанный на теории подобия [15 – 17].

### **2.2.1 Магнитогидродинамический расчет**

Методика МГД позволяет в каждый момент времени определить в зависимости от координат плотность тока, напряженность электрических и магнитных полей, плотность, температуру, давление и массовую скорость вещества путем численного решения одномерных МГД-уравнений в однотемпературном приближении с учетом электронной теплопроводности взрываемого металла. Система уравнений в лагранжевых координатах для случая цилиндрической симметрии [12,13].

Модель проверена авторами [12] путем сравнения с результатами большого числа экспериментов электрического взрыва медных и алюминиевых проводников в воздухе, воде, масле.

Во всех случаях разница между экспериментально определенными и рассчитанными значениями амплитуд токов и напряжения не превышала 10 %. Зависимости тока и напряжения от времени и от характеристик проволоочки соответствовали экспериментально полученным данным.

Развитие метода дополняется уравнениями динамики упругопластических деформаций металла проводников и окружающей среды, переходу к решению двумерных МГД уравнений [14], что позволяет более точно рассмотреть процесс разрушения проводника, но и затрудняет расчеты.

Кроме электрических характеристик, данный расчет дает возможность получить временные зависимости давления и плотности продуктов взрыва. Это позволяет использовать полученные результаты для анализа процессов, происходящих после взрыва проводника. Однако эти расчеты громоздки и требуют привлечения больших мощностей вычислительной техники, тем более на стадии поиска параметров ЭВП для проведения эксперимента.

### **2.2.2 Теория подобия**

Для описания электрического взрыва проводника и расчета начальных условий взрыва для заданного эксперимента многие авторы [1, 15, 16] используют подход, основанный на теории подобия [17]. При преобразовании

дифференциального уравнения разрядной цепи в газовой среде, в котором активное сопротивление контура не учитывается, были получены критерии подобия:

$$\Pi_1 = \frac{CU_0^2 \rho_M}{e_M n^2 d^4 Z}; \quad \Pi_2 = \frac{\rho_M l}{nd^2 Z}; \quad \Pi_3 = \frac{v_M \sqrt{LC}}{d}, \quad (1)$$

где  $\rho_M, e_M$  - значения удельного сопротивления и удельной энергии металла;

$v_M$  - скорость потери металла проводимости;

$C$  - емкость конденсаторной батареи [Ф];

$U_0$  – зарядное напряжение [В];

$Z$  – индуктивность контура [Гн];

$d, l$  - диаметр и длина взрываваемой проволоочки [м];

$n$  – число взрываваемых проводников.

Комплекс  $\Pi_1$  – учитывает плотность введенной энергии,  $\Pi_2$  – согласование контура и нагрузки,  $\Pi_3$  - время разрушения проводника (временные изменения при взрыве).

Первые два комплекса определяют взрыв на стадии нагрева до начала разрушения проводника, так как до начала разрушения удельное сопротивление проводника зависит от величины удельной введенной энергии. На стадии разрушения проводника его сопротивление, вследствие изменения сечения, возрастает, поэтому для описания взрыва на данной стадии был введен третий комплекс –  $\Pi_3$ . При одинаковом значении комплексов  $\Pi_1 = \Pi_1', \Pi_2 = \Pi_2', \Pi_3 = \Pi_3'$ , для проводников, взорванных в одинаковых газовых средах при заданном давлении, взрывы будут подобными независимо от начальных параметров проводника и разрядного контура.

С комплексами  $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3$  работать затруднительно, поэтому при исследовании ЭВП одного металла постоянные  $\rho_M, e_M, v_M$  “отпускают” и переходят к обобщенным переманенным [4]:

$$\varepsilon = \frac{CU_0^2 \cdot 10^{-18}}{n^2 d^4 Z}, \left[ \frac{\text{Дж}}{\text{м}^4 \text{Ом}} \right]; \quad \lambda = \frac{l \cdot 10^{-6}}{nd^2 Z}, \left[ \frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{м}} \right]; \quad \vartheta = \frac{10^3 \cdot \sqrt{LC}}{d}, \left[ \frac{\text{с}}{\text{м}} \right] \quad (2)$$

Данными переменными, возможно, описать функциональные зависимости энергии, вводимой в проводник в момент взрыва и энергии, выделяемой в дуговой стадии разряда, коэффициента передачи энергии от накопителя к проводнику и др. Однако с функциональными зависимостями от трех переменных ( $\epsilon$ ,  $\lambda$ ,  $\nu$ ) работать сложно, поэтому авторами работ [1, 2], было предложено принять ЭВП в критическом режиме за базовый (рисунок 2.3), а расчет остальных режимов выполнять относительно него при изменении только длины проводника.

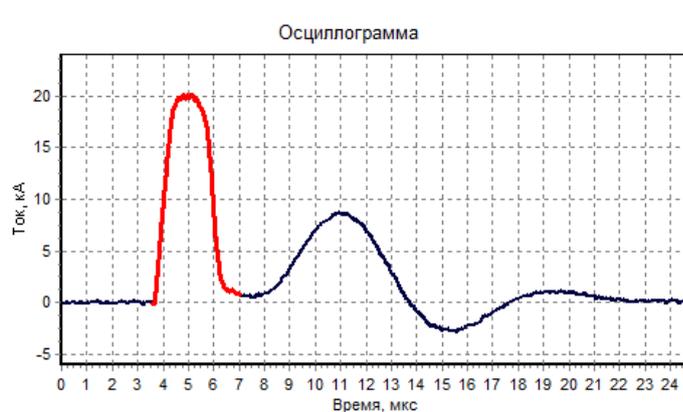


Рисунок 2.3 – “Критический” режим ЭВП  $\lambda = \lambda_k$

Функции для расчета критического режима взрыва алюминиевых проводников в атмосфере воздуха имеют вид:

$$\begin{cases} \lambda_k = 2,5(\epsilon \cdot \nu)^{0,53} \\ \eta_k = 36\epsilon^{-0,5} \end{cases}, \quad (3)$$

При исследовании режимов отличных от критического строят графики зависимости энергии, вводимой в проводник, а также коэффициента передачи энергии от накопителя к проводнику относительно базового 4 “критического” режима (рисунок 2.5) по которым находят эмпирические уравнения.

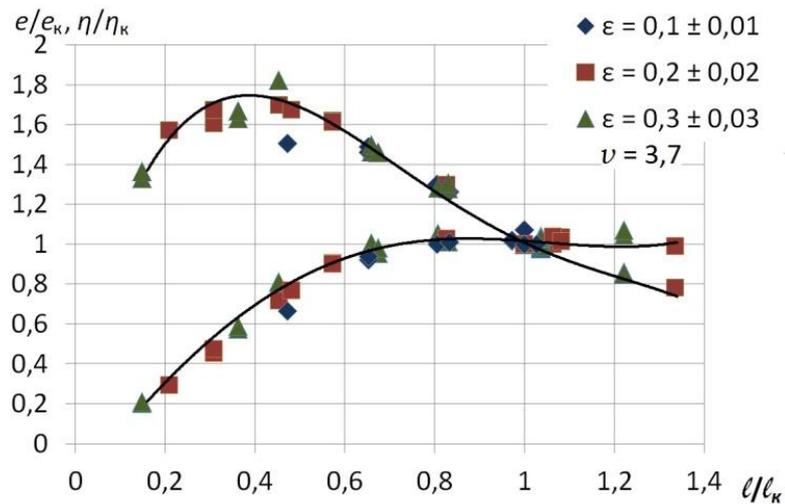


Рисунок 2.4 – Зависимости параметров ЭВП в воздухе от длины взрывающегося AI проводника при н.у.

Данная методика позволяет рассчитать начальные условия взрыва для выбранного металла в воздухе.

### 2.3 Влияния газа на протекание процесса ЭВП

Продукты электрического взрыва проводника (аэрозоль) имеют свойства газа с довольно высокой электрической прочностью. В случае осуществления ЭВП в режиме с паузой тока пробой расширяющихся продуктов осуществляется напряжением, оставшемся на конденсаторе после ЭВП. При этом дуговой разряд протекает в расширяющихся продуктах взрыва. Увеличение давления среды приводит к увеличению ее плотности, что, в свою очередь, замедляет расширение продуктов ЭВП и приводит к задержке развития дугового разряда и увеличению времени паузы тока. При осуществлении ЭВП в режиме без паузы тока дуговой разряд развивается в среде, окружающей плотные продукты взрыва. В некоторых условиях пробивное напряжение среды оказывается настолько малым, что из-за его раннего пробоя проводник остается целым, наблюдается шунтирование проводника средой [18].

Большинство уравнений позволяющих произвести расчет ЭВП справедливы, для опытов проводимы в воздухе [19] и аргоне [20].

В работе [21] исследовано влияние давления воздуха, водорода, аргона и гелия на критическую длину взрывающегося медного проводника при постоянных параметрах ЭВП. Давление газов изменяли от  $1,7 \cdot 10^{-4}$  атм. до 25 атм. и этим имитировали одинаковую плотность рабочей газовой среды при различных электрических прочностях газов, и наоборот. Результаты эксперимента (рисунок 2.5) показали:

1) в области плотности газа более  $10^{-3}$  г/см<sup>3</sup> зависимость критической длины проводника от плотности окружающей среды имеет следующий вид:

$$\frac{l_c}{l_B} = 0,65\gamma^{-0,08}, \quad (4)$$

где  $l_c$  – критическая длина проводника в выбранной среде;

$l_B$  – критическая длина проводника в воздухе при нормальных условиях;

$\gamma$  – плотность среды, г/см<sup>3</sup>;

2) в области  $\gamma < 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup> зависимость нарушается, критическая длина проводника определяется электрической прочностью окружающей среды.

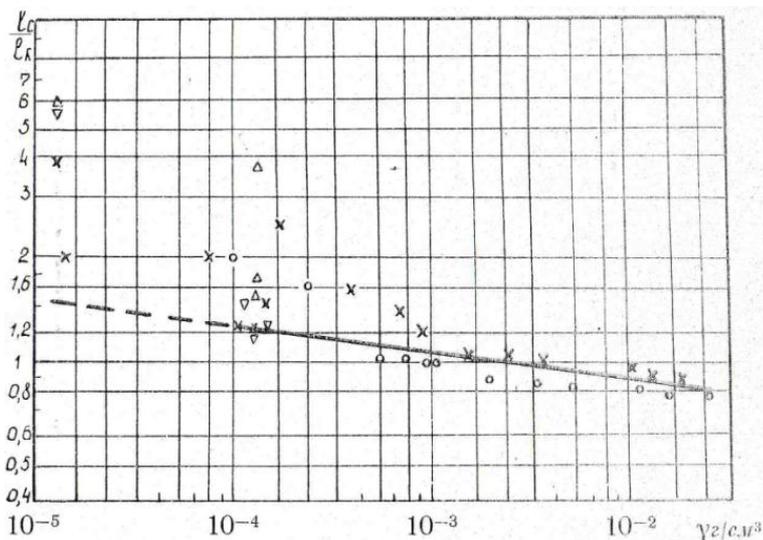
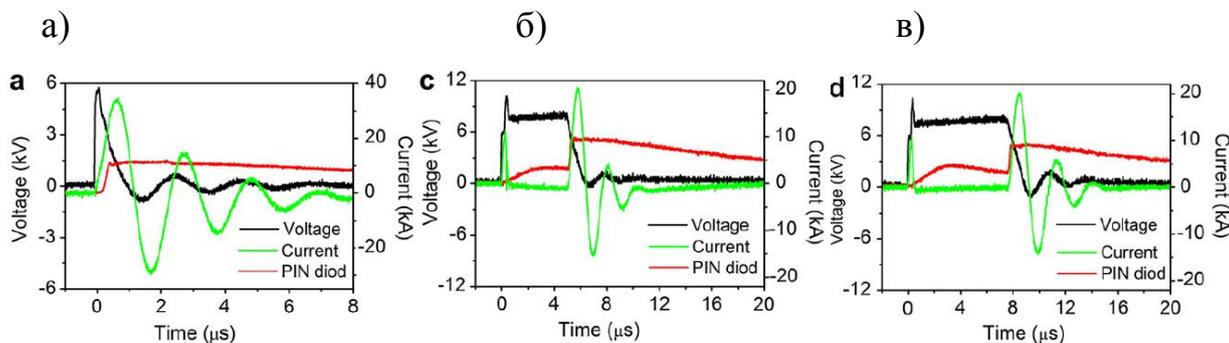


Рисунок 2.5 – Зависимость критической длины взрывающегося проводника от плотности окружающего газа: Δ - аргон; x – водород; o – азот; + - воздух; ∇ - гелий [22]

В свою очередь, авторами работы [23] показано, что энергия, вводимая в проводник при взрыве, а также режим ЭВП определяется не плотностью

окружающего газа, а его электрической прочностью. Увеличение электрической прочности газовой среды приводит к отсрочке момента зажигания дуговой стадии разряда и росту энергии, вводимой в проводник (рисунок 2.6).



А) 100% - Ar, ( $e/e_c = 0,6$ ); б) 50% - Ar и 50% - N<sub>2</sub>, ( $e/e_c = 1,0$ );

в) 25% - Ar и 75% - N<sub>2</sub>, ( $e/e_c = 1,2$ )

$P = 0,5$  атм.;  $C = 1,85$  мкФ;  $U_0 = 10$  кВ;  $l = 61$  мм;  $d = 0,125$  мм

Рисунок 2.6 – Осциллограммы ЭВП Cu в различных средах

Более детальное изучение ЭВП Al автором [24] позволили получить эмпирические уравнения для расчета длины проводника обеспечивающей критический режим ЭВП в аргоне при выбранном давлении:

$$l_k^{Ar} = 1,55 \cdot P^{-0,25} \cdot l_k^B, \quad (5)$$

где  $l_k^{Ar}$  – длина проводника в аргоне;

$l_k^B$  – критическая длина проводника в воздухе при н.у. (расчет по уравнению – 4);

$P$  – давление аргона, атм.

Дополнительно предложены уравнения расчета начальных условий взрыва для ЭВП Al в режиме максимального уровня энергии:

$$\text{Воздух н.у.} \left\{ \begin{array}{l} \lambda_{min} = 0,4\lambda_k \\ \eta_{min} = 0,7\eta_k \\ \left(\frac{e}{e_c}\right)_{max} = 5,03\varepsilon^{0,14}\nu^{-0,36} \end{array} \right., \quad (6); \quad \left\{ \begin{array}{l} \lambda_{min}^{Ar} = 2,15P^{-0,42} \cdot \lambda_{min}^{возд.} \\ \eta_{min}^{Ar} = 1,25P^{-0,11} \cdot \eta_{min}^{возд.} \\ \left(\frac{e}{e_c}\right)_{max}^{Ar} = 0,58P^{0,31} \left(\frac{e}{e_c}\right)_{max}^{возд.} \end{array} \right., \quad (7)$$

Таким образом, используя критерии подобия и эмпирические выражения, полученные на их основе, можно рассчитать параметры эксперимента, обеспечивающие необходимый режим взрыва в воздухе и аргоне.

## 2.4 Влияние газовой среды на продукты ЭВП

Газовая среда, в которой производится получения металлических порошков, оказывает существенное влияние не только на сам процесс взрыва, но и на свойства получаемых порошков. В таблице 2.1 приведены зависимости фазового состава порошков от типа среды в которой их получали [25].

Таблица 2.1 – Фазовый состав нанопорошков, получаемых методом ЭВП

Материал взрываемого проводника	Окружающая среда	Конечные продукты ЭВП
Al	Ar	Al
Al	Ar	<i>Cu</i>
Al	O <sub>2</sub> +Ar	$\gamma - Al_2O_3, \alpha - Al_2O_3, Al$
Cu	пар H <sub>2</sub> O	$Al, Al(OH)_3, \gamma - Al_2O_3$
W	Ar, H <sub>2</sub>	$\alpha-W, \beta-W$
W	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> +Ar, CH <sub>4</sub> +Ar	$\alpha-W, \beta-W, W_2C, WC_{1-x}$
W	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> , C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	WC <sub>1-x</sub>
Ti	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	$\alpha-Ti, \beta-Ti$
Fe	Ar	$\alpha-Fe, \beta-Fe$

Изучение фазового состава НП алюминия показали [25], что с увеличением молекулярной массы газовой среды, содержание металлического алюминия в порошках снижалось, однако при этом возрастала их дисперсность. Таким образом, в данных образцах содержание *Al* составило при использовании в качестве газовой среды водорода – 94 %, аргона – 87 %, ксенона – 80 %. При одинаковой дисперсности образцы НП алюминия,

полученные электровзрывом в водороде, содержали на (2 – 5) мас. %. Наблюдается и увеличение параметров кристаллической решетки  $a_0$  по сравнению с компактным алюминием (таблица 2.2), при этом данное повышение зависит от природы газовой среды.

Таблица 2.2 – Параметр решетки образцов НП алюминия

№ образца	Порошок	Среда	$a_0$ , нм	Относительно компактного Al, %
1	Al НП	H <sub>2</sub>	0,40515 – 0,40519	+(0,047 – 0,056)
2	Al НП	Ar	0,40507 – 0,40518	+(0,027 – 0,054)
3	Al НП	He	0,40523	+0,07
5	Компактный Al	-	0,40496	100%

При увеличении давления газа средний размер частиц увеличивается, а распределение частиц по размерам становится шире. Зависимости среднего диаметра частиц Al порошков, от плотности среды [26] показаны на рисунке 2.7.

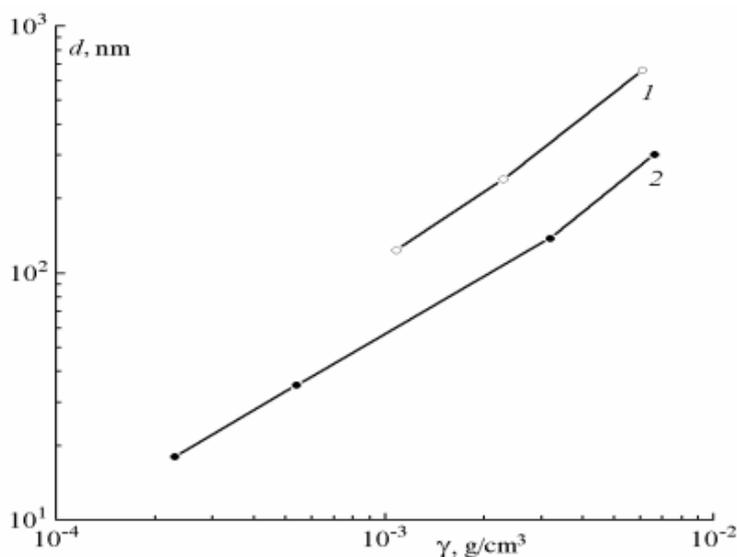


Рисунок 2.7 – Экспериментальные зависимости введенной энергии между размером частиц Al порошка и плотностью окружающей среды при  $w/w_S=0.7-0.75(1)$  и при  $w/w_S=1-1.1(2)$

Из рисунка 2.7 можно увидеть что, с увеличением плотности газа увеличивается и средний размер частиц, а чем больше уровень введенной энергии, при одинаковой плотности газа, тем меньше размер частиц.

Данные для порошков меди, полученных в N<sub>2</sub>, Ar, и смесях Ar+He, Xe+He при одинаковых уровнях энергии вводимой в проводник приведены в таблице 2.3 [26].

Таблица 2.3 – Влияние газа на медные порошки

№	$w/w_s$	газ	Плотность н.у., кг/м <sup>3</sup>	$S$ , м <sup>2</sup> /г
1	0,8	N <sub>2</sub>	1,25	7,8
2	0,8	Ar	1,78	6,2
3	0,8	Xe+He	3,11*	5,8
4	1	N <sub>2</sub>	1,25	8,9
5	1	Ar+He	3,82*	6,3
6	1	Xe+He	3,11*	6

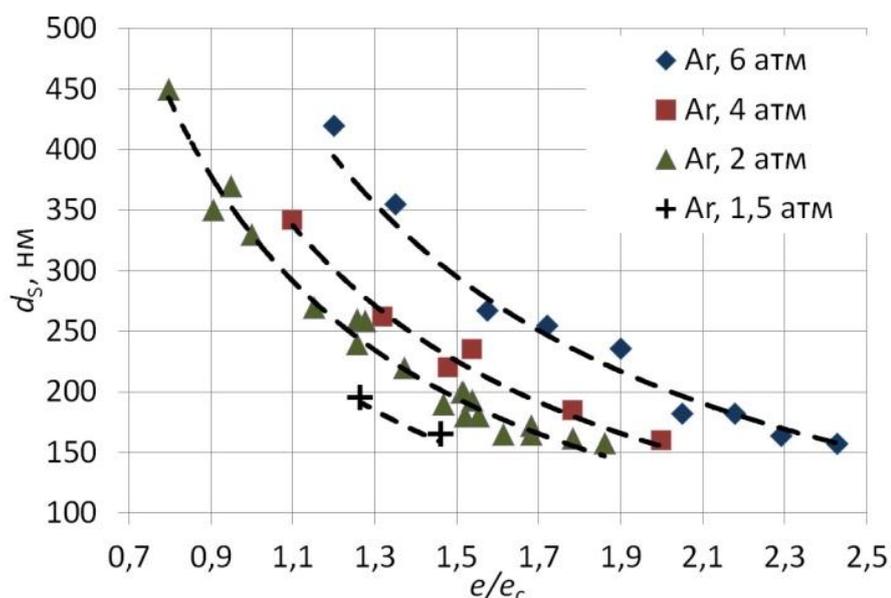
\* - расчет из соотношения газа 1:1

На первый взгляд:

1 Площадь удельной поверхности медных порошков полученных в одинаковых газах определяется уровнем энергии вводимой в проводник (см № 1,4 и 3,6).

2 При уменьшении плотности газа увеличивается площадь удельной поверхности порошка.

На рисунке 2.8 представлена зависимость среднеповерхностного диаметра частиц алюминия и удельной энергии, введенной в проводник при взрыве при изменении давления аргона от 1,5 до 6 атм. [24].



ЭВП Al,  $d = 0,35$ ,  $0,1 \leq \varepsilon \leq 0,35$ ;  $1,3 \leq \lambda \leq 2,6$ ;  $\nu = 3,6$

Рисунок 2.8 – Зависимость среднеповерхностного диаметра частиц Al от давления аргона и удельной энергии, введенной в проводник при взрыве

Анализ результатов позволил установить, что при равном уровне энергии, вводимой в проводник, с ростом давления аргона средний размер частиц увеличивается, что согласуется с литературными данными [27, 28, 29]. Увеличение давления аргона дает возможность увеличить соотношение  $e/e_c$ . Это способствует дальнейшему росту площади удельной поверхности получаемых порошков или уменьшению среднеповерхностного диаметра частиц до 150 нм.

## 2.5 Заключение – формулировка целей и задач

Таким образом, не смотря на большое количество литературных данных о ЭВП в различных газах и свойств продуктов взрыва, к настоящему моменту существует возможность расчета ЭВП только в атмосфере воздуха и аргона. Данных по протеканию ЭВП в гелии не достаточно. К тому же исследование влияния газа на свойства продуктов взрыва так же носит поверхностный характер, не установлены структурные и дисперсные характеристики порошков полученных при одинаковых условиях ЭВП, но в различных газовых средах.

Целью настоящей работы является исследовать электрический взрыв проводника в атмосфере гелия и установить его влияние на энергетические характеристики взрыва, а так же дисперсность, фазовый состав получаемых нанопорошков. В качестве объекта исследования был взят ЭВП алюминия и порошки алюминия, т.к. они находят достаточно широкое применение.

Задачи:

1 Экспериментально определить параметры ЭВП алюминия ( $C, U_0, L_k, l, d$ ), обеспечивающие критический режим взрыва в атмосфере гелия и при давлении от 1 атм до 4 атм. При изменении давления газовой среды установить закономерности изменения энергетических параметров ( $e/e_c, \eta, t_{\text{ЭВП}}, j$ ) критического режима взрыва.

2 В режимах, отличных от критического исследовать закономерности протекания ЭВП. Установить характер изменения энергетических параметров ЭВП при переходе от ЭВП в аргоне к ЭВП в гелии. Установить количественные зависимости  $\lambda_k = f(\varepsilon, \nu)$ ,  $\eta_k = f(\varepsilon)$ , необходимые для расчета параметров критического взрыва в атмосфере гелия при заданном давлении.

3 Исследовать влияние гелия на физико-химические свойства получаемых нанопорошков - средний размер частиц и их структурные характеристики, химический состав.

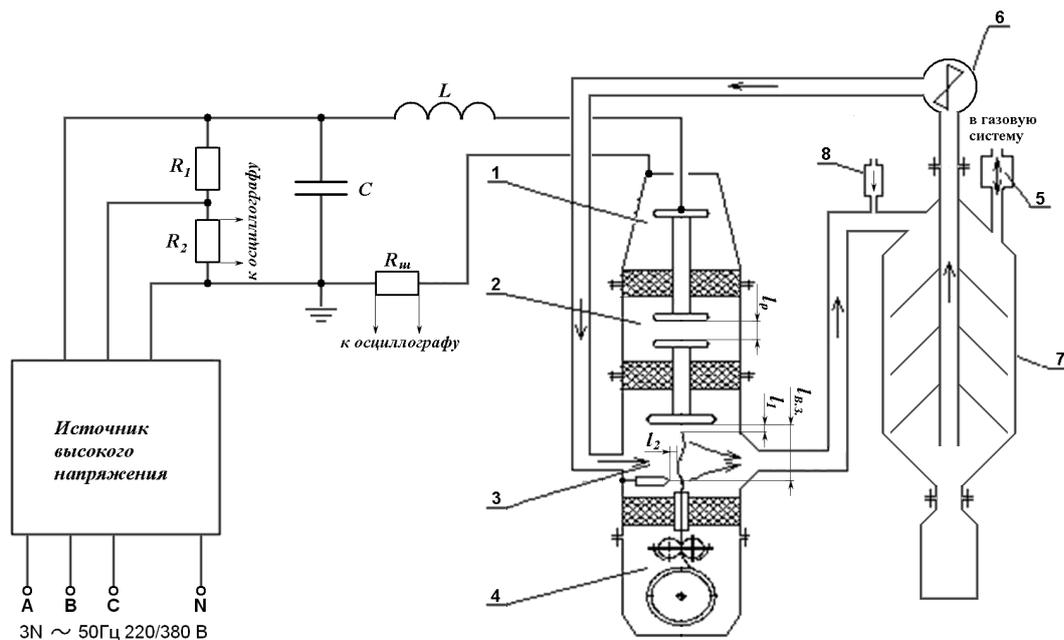
4 Сравнить свойства порошков, полученных при одинаковых условиях в гелии и в аргоне.

## Глава 3 Методика эксперимента

### 3.1 Получение порошков

#### 3.1.1 Установка для получения нанопорошков методом ЭВП

Электрический взрыв проводников осуществляется на установке УДП [30], разработанной в НИ ТПУ. На рисунке 3.1 представлена схема установки.



1 – высоковольтный ввод, 2 – коммутатор, 3 – реактор, 4 – устройство подачи проволоки, 5 – фильтр напуска и забора газа, 6 – вентилятор, 7 – улавливатель порошка, 8 – ротаметр

Рисунок 3.1 – Схема установки по производству нанопорошков

Установка состоит из генератора импульсных токов, соединительных кабелей и технологического модуля.

Генератор импульсных токов состоит из источника высокого напряжения, делителя ( $R_1R_2$ ) и конденсаторной батареи  $C$ . Источник высокого напряжения позволяет заряжать конденсаторную батарею от 15 до 35 кВ. Уровень зарядного напряжения измеряется с помощью делителя напряжения, который градуировали с использованием киловольтметра С 196. Суммарная

емкость батареи конденсаторов измерялось с помощью измерителя иммитанса E7-8.

Технологический модуль состоит из высоковольтного ввода (1) коммутатора (2) реактора (3) механизма подачи проволоки (4), системы напуска рабочего газа (5), ротаметра (8) для подачи дополнительных газов, устройства циркуляции газа (6) и сбора порошка (7).

Работу установка можно описать следующим образом. В реакторе устанавливается необходимое для ЭВП расстояние между заземленным и высоковольтным электродами. Объем установки вакуумируется до остаточного давления 10 Па и заполняется рабочим газом до требуемого давления (от 1 до 7 атм.). Давление рабочего газа контролировали моновакууметром – МВТПСд-100-ОМ2. После этого включается источник высокого напряжения, система циркуляции газа, затем устройство подачи проволоки.

Высоковольтный источник заряжает емкость до заданного уровня напряжения. По мере приближения проводника к высоковольтному электроду создаются условия для срабатывания коммутатора. Емкость разряжается и вследствие протекания тока большой плотности проводник взрывается с образованием продуктов взрыва. Продукты ЭВП циркулирующим газом перемещаются в устройство улавливания порошка и собираются в стакане. Конденсаторные батареи повторно заряжаются, а механизм подачи проволоки обеспечивает подвод следующего участка проводника к высоковольтному электроду, таким образом, обеспечивая непрерывность работы установки по получению порошков методом ЭВП.

### **3.1.2 Расчет энергии вводимой в проводник и параметров контура**

В процессе работы установки, с помощью токового шунта и осциллографа Tektronix TDS2014B, регистрировали осциллограммы тока ЭВП.

Для определения энергии, вводимой в проводник при взрыве, использовали уравнение [31]:

$$W_{\text{ВП}} = \frac{cU_0^2}{2} - \frac{c\left(u_0 - \frac{1}{c} \int_0^t j(t) dt\right)^2}{2} - \frac{L_k \cdot j(t)^2}{2} - R_k \int_0^t j(t)^2 dt, \quad (8)$$

где  $t$  – длительность импульса тока ЭВП;

$j$  – плотность протекаемого тока.

Значения интегралов, входящих в уравнение (9) рассчитывали из осциллограммы тока с помощью интегральных сумм по формуле трапеции. Диапазон длительности импульса тока ЭВП (от 0 до  $t$ ), по которому проводилось интегрирование, определялся по осциллограмме тока от момента начала протекания тока до точки А, соответствующей минимальному значению величины тока, до которой происходило его падение при ЭВП (рисунок 3.2) [1, 32].

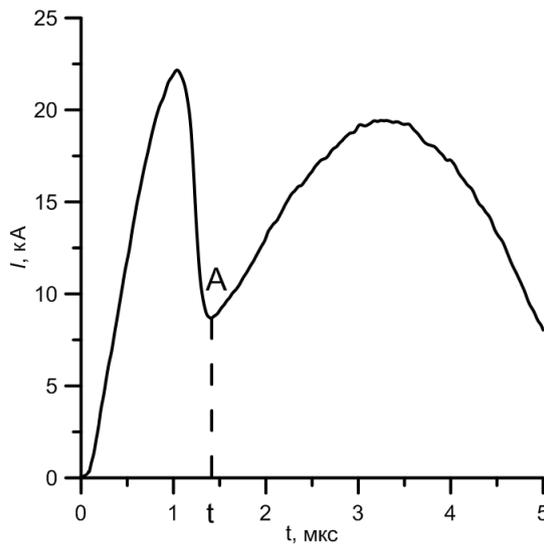


Рисунок 3.2 – Осциллограмма тока ЭВП

Параметры разрядного контура ( $L_k$ ,  $R_k$ ) входящие в уравнения (9), а также масштаб тока токового шунта рассчитывали по уравнениям:

$$L = \frac{T^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot C}; \quad Z_k = \sqrt{\frac{L}{C}}; \quad R_k = \frac{4 \cdot L \cdot \ln \Delta_{12}}{T}; \quad \Delta_{12} = \frac{A_1}{A_2}; \quad I_{\text{MAX}} = \frac{U_0}{Z_k}; \quad m = \frac{I_{\text{MAX}}}{A_1}, \quad (9)$$

где  $T$  – период колебаний тока [с];

$R_k$  – активное сопротивление контура [Ом];

$\Delta_{12}$  – декремент затухания;

$A_1$  и  $A_2$  амплитуды первого максимума и первого минимума осциллограммы [В];

$I_{\max}$  – максимальный ток [А];

$m$  – масштаб тока [А/В].

Значение  $T$ ,  $A_1$  и  $A_2$  определяли из осциллограмм тока короткого замыкания.

Энергию, вводимую в проводник при взрыве, преобразовывали в безразмерную величину –  $e/e_c$ , где  $e$  – удельная энергия, вводимая в проводник ( $e = \frac{W_{\text{вп}}}{V_{\text{вп}}}$ ),  $e_c$  – удельная энергия сублимации металла [31].

Соотношение между энергией, вводимой в проводник, и энергией, запасенной в конденсаторе, выражали через коэффициент передачи энергии и вычисляли по уравнению:

$$\eta = \frac{W_{\text{вп}}}{W_0} \cdot 100\%, \quad (10)$$

где  $W_0 = \frac{CU_0^2}{2}$  – энергия запасенная в батарее конденсаторов.

Энергию, выделяемую в дуговой стадии разряда, рассчитывали по уравнению:

$$W_d = W_0 - W_{\text{вп}} - R_k \int_0^{t_{\text{ок}}} i(t)^2 dt, \quad (11)$$

где  $t_{\text{ок}}$  – время протекания процесса.

Энергию, выделяемую в дуговой стадии, также преобразовывали в безразмерную величину –  $e_d/e_c$ , где  $e_d$  – удельная энергия, выделяемая в дуговой стадии ( $e_d = \frac{W_d}{V_{\text{вп}}}$ ).

### 3.2 Анализ свойств порошков

Свойства получаемых порошков исследуем по:

– содержанию металла метод волюмометрического анализа и метод рентгенофазового анализа;

- величине площади удельной поверхности  $S_{уд}$ , измеренной методом низкотемпературной адсорбции азота (метод ВЕТ);
- морфологии частиц, наблюдаемой с помощью просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ);
- методу гранулометрии, методом лазерной дифракции.

### 3.2.1 Методика определения металлического алюминия

С целью установления металлического алюминия использовали волюмометрический анализ [32]. Схема волюмометрической установки показана на рисунке 3.2. Навеску порошка (около 20 мг) помещали в стеклянную кювету 2 с одномолярным раствором NaOH присоединенную к градуированной бюретке 3, с заполненной водой. Выделение водорода обеспечивает взаимодействие свободного алюминия с гидроксидом натрия, объем которого устанавливается согласно по изменению уровня воды в бюретке 3.

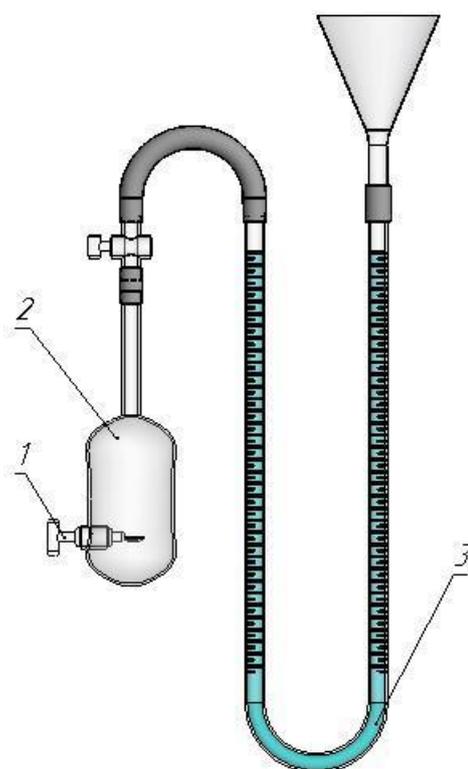


Рисунок 3.2 – Схема волюмометрической установки

По уравнению Менделеева-Клапейрона вычислялась молярная масса водорода:

$$\nu = \frac{p \cdot V}{R \cdot T}, \quad (12)$$

где  $\nu$  – молярная масса выделившегося водорода;

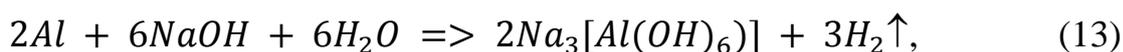
$p$  – атмосферное давление;

$V$  – объем выделившегося водорода;

$T$  – температура;

$R$  – газовая постоянная,  $R = 62400$  мм. рт. ст./ (моль · К).

После по уравнению реакции (13) рассчитывается содержание металлического алюминия в навеске:



где  $x$  – масса алюминия вступившего в реакцию (мг);

$\nu$  – молярная масса выделившегося водорода рассчитанного по уравнению (12).

### 3.2.2 Электронная микроскопия

Для определения морфологии образцов использовался электронный микроскоп JEM-100CXII. Образцы приготавливались следующим образом. Навеска порошка массой около 10 мг растворяется в 100 мл этиловом спирте, затем суспензия обрабатывалась в ультразвуковом поле частотой 23 кГц и мощностью 400 Вт. После чего образцы фиксировались на подложке, закрепленной на медной сетке.

Для каждого исследуемого образца делалось около 20 снимков. Дальнейшую обработку фотоснимков осуществляли в программе “Adobe Photoshop CS3”.

### 3.2.3 Измерение удельной поверхности

С помощью анализатора «Сорбтометр-М» измеряли удельную поверхность методом БЭТ (низкотемпературной адсорбции азото-гелиевой смеси). Для этого навеску образца с массой 50 – 100 мг предварительно тренировали (обезвоживали) при температуре 30 °С в течении 30 минут. Затем образец помещали в реактор установки. Измерение велось по пяти различным концентрациям компонент газовой смеси. На основании полученных результатов вычисляли среднеповерхностный диаметр ( $d_s$ ) частиц порошка по уравнению:

$$d_s = \frac{6}{S_{уд}\rho}, \quad (14)$$

где  $S_{уд}$  – площадь удельной поверхности м<sup>2</sup>/г;

$\rho$  – плотность металла для Al – 2,7 г/см<sup>3</sup>.

### 3.2.4 Рентгенофазный анализ

С помощью дифрактометра Shimadzu XRD-7000 проводился рентгенофазный анализ. В диапазоне углов сканирования: от 0° до 100° с шагом 0,5° и скоростью сканирования 1 град/мин. Образец тщательно измельчается – растирается в агатовой ступке агатовым пестиком (чтобы исключить загрязнения пробы) для получения достаточно хороших рентгенограмм. Размер кристаллитов исследуемых образцов, рассчитывается по формуле Дебая-Шеррера:

$$d = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta}, \text{ нм} \quad (15)$$

### 3.2.5 Гранулометрический анализ

С помощью лазерного дифракционного анализатора размеров частиц Shimadzu SALD-7101 проводился гранулометрический анализ, принцип работы которого основан на статическом рассеянии лазерного света с длиной волны

375 нм. Образец массой (5 – 10) мг разбавлялся в этиловом спирте и диспергировался в ультразвуковой ванне (35кГц, 50Вт). Затем суспензия помещалась в проточную измерительную ячейку.

### **3.3 Начальные условия экспериментов**

Начальные условия экспериментов, при которых осуществляли ЭВП следующие:

- длина взрываемых проводников  $d = 0,25 \div 0,35$  мм;
- емкость конденсаторных батареи  $C = 1 \div 3$  мкФ;
- зарядное напряжение  $U = 15 \div 30$  кВ;
- индуктивность разрядного контура  $L \approx 0,6$  мкГн;
- давление газа внутри установки  $P = 0,5 \div 5$  Ат;
- газовая среда: Ar и He.

Нанопорошки получали в непрерывном режиме. Масса каждого наработанного образца в одном проводимом опыте составляла около 100 г. Пассивирование порошков осуществляли в течение 2 суток путем диффундирования кислорода воздуха через слой порошка и рабочего газа в данном случае аргона.

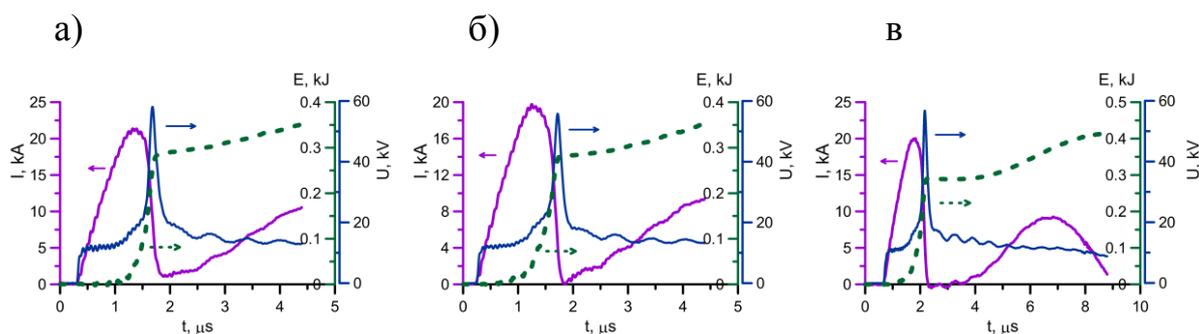
## Глава 4. ЭВП Al в среде Ar и He

Исследования ЭВП Al в среде He проводилось в два этапа. На первом исследовали базовый – критический режим взрыва, определяли начальные условия, обеспечивающие данный режим, функциональные зависимости  $\lambda_k = f(\varepsilon \cdot \nu)$ , а так же его энергетические характеристики.

На втором этапе исследовали режимы отличные от критического, в экспериментах изменялась только длина проводника остальные параметры оставались постоянными. Полученные осциллограммы сверяли с данными по ЭВП в воздухе и аргоне полученные ранее.

### 4.1 Критический режим ЭВП

На рисунке 4.4 приведены осциллограммы тока, напряжения и зависимости вводимой энергии от времени.



$$C = 2,24 \text{ мкФ}, U_0 = 20 \text{ кВ}, L = 0,76 \text{ мкГн}, d = 0,25 \text{ мм}$$

а) SF<sub>6</sub>, 1 атм,  $l = 85$  мм; б) воздух, 1 атм,  $l = 110$  мм;

в) He, 2 атм,  $l = 140$  мм

Рисунок 4.4 – Осциллограммы тока, напряжения и зависимости вводимой энергии от времени (“критический” режим ЭВП)

Дополнительно, из ранее полученных данных, на рисунке приведена зависимости для ЭВП Al в среде SF<sub>6</sub>. Для сохранения критического режима взрыва при изменении среды с SF<sub>6</sub> на воздух и гелий, длину проводника необходимо постоянно увеличивать. Критическая длина взрываемого проводника в среде гелия составила  $l = 140$  мм, в воздухе составила  $l = 110$  мм,

в SF<sub>6</sub> составила  $l = 85$  мм. Это объясняется тем, что электрическая прочность гелия гораздо меньше электрической прочности воздуха и SF<sub>6</sub> (таблица 4.1). Из осциллограмм тока и напряжения ЭВП видно, что величины пиков перенапряжения и уровни энергии вводимой в проводник, для ЭВП осуществленных в критическом режиме, не зависят от длины взрывающегося проводника. Для экспериментов, выполненных при одинаковых значениях  $U_0 = 20$  кВ,  $C = 2,24$  мкФ,  $d = 0,25$  мм ( $\varepsilon = 0,39 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^4 \cdot \text{Ом}}$ ;  $\lambda = 3,86 \frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{м}}$ ;  $\vartheta = 5,2 \frac{\text{с}}{\text{м}}$ ), в среде воздуха, гелия и SF<sub>6</sub>, величина пика перенапряжения составляет  $U_{\text{пик}} \approx 58 - 60$  кВ, а энергия 300 Дж.

Таблица 4.1 – Свойства газов

Наименование	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Электрическая прочность, кВ/см	Теплопроводность при 0 °С, 10 <sup>-4</sup> Вт/(м·К)
Воздух	1,29	30	257
Аргона (Ar)	1,78	5,6	187
Гелий (He)	0,18	4,7	1558
SF <sub>6</sub>	6,17	89	136

Уменьшение длины с сохранением уровня энергии (0,3 кДж) способствует пропорциональному увеличению удельной энергии вводимой в проводник при взрыве (с  $e/e_c = 1,32$  для He до  $e/e_c = 1,68$  для воздуха и  $e/e_c = 2,18$  для SF<sub>6</sub>, энергия сублимации алюминия  $e_c = 33$  Дж/мм<sup>3</sup>).

На рисунке 4.5 приведен график зависимости переменной  $\lambda_k$  от произведения  $\varepsilon \cdot \nu$  полученный для гелия при давлении 1 и 2 атм, а так же данные полученные ранее в аргоне и воздухе.

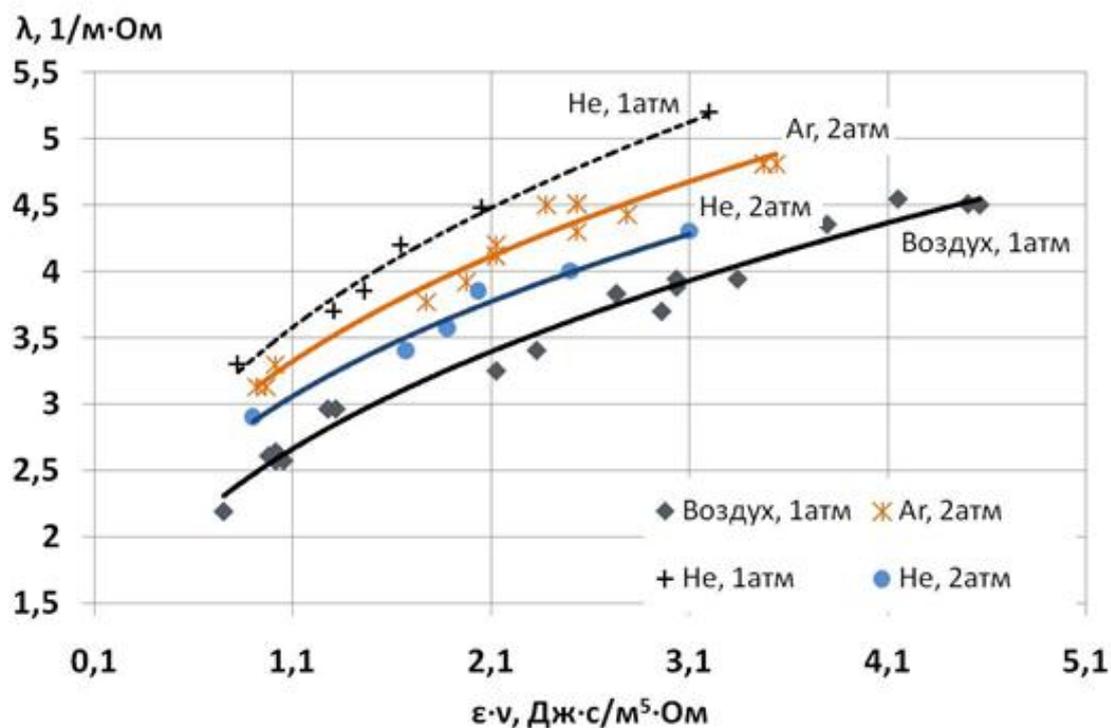


Рисунок 4.5 – Зависимости величины  $\lambda_k$  от произведения  $\epsilon \cdot \nu$  для ЭВП Al в критическом режиме

Анализ результатов показал, что все зависимости, возможно, описать одинаковыми функциями:

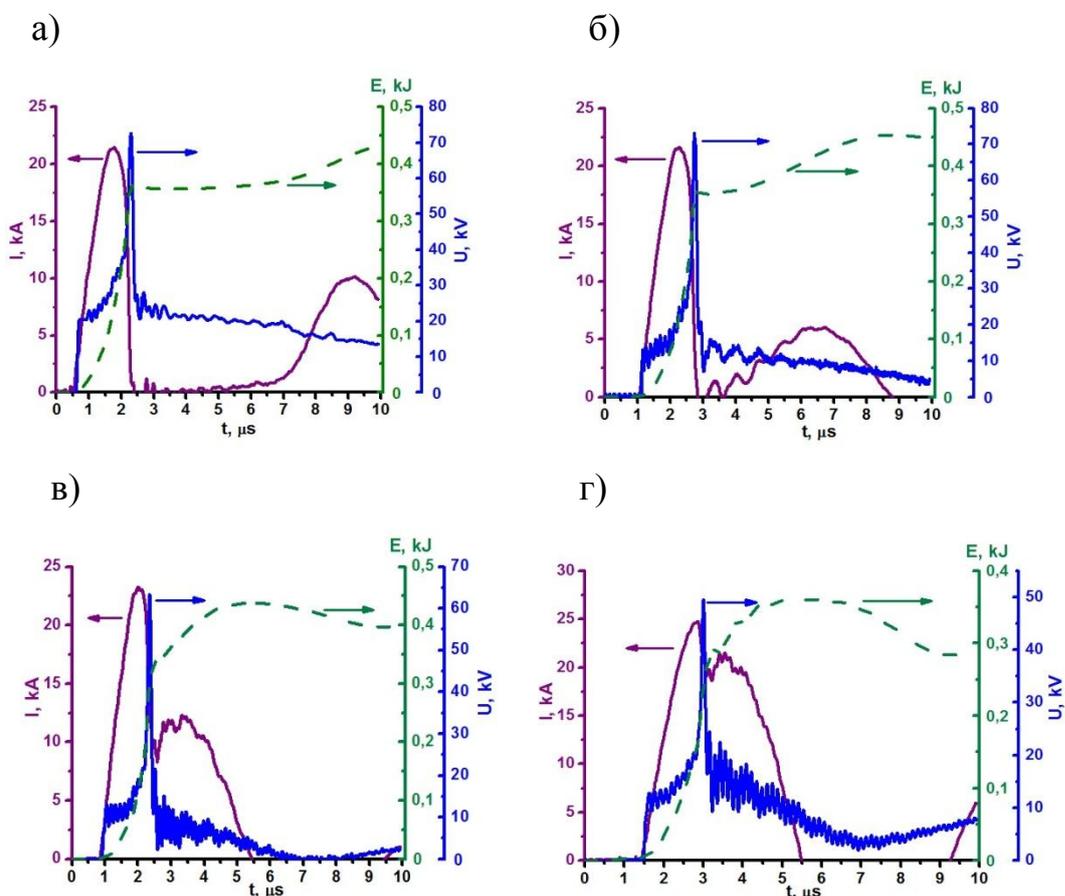
$$\lambda_{kAl} = a P^{0,25} (\epsilon \cdot \nu)^{0,36} \quad (16)$$

где  $a$  – коэффициент, зависящий от рода газа в котором осуществляется взрыв. В воздухе  $a = 2,5$  [17], в Ar - 3,88 [16], в He - 3,5.

Коэффициент передачи энергии от накопителя к проводнику не зависит от химического состава атмосферы и определяется по уравнениям, описывающим ЭВП в воздухе (выше приведенное уравнение 3).

## 4.2 Режимы ЭВП относительно критического взрыва

На рисунке 4.6 приведены осциллограммы тока, напряжения и зависимости вводимой энергии от времени для ЭВП в гелии при различных длинах взрываемого проводника.



He, давление – 2 атм,  $C = 2,24$  мкФ,  $U_0 = 22$  кВ,

$$L = 0,75 \text{ мкГн}, d = 0,25 \text{ мм}$$

а)  $l = 165$  мм, взрыв “с паузой тока”; б)  $l = 150$  мм, “критический”;

в)  $l = 130$  мм, “без паузы тока”; д)  $l = 90$  мм, “без паузы тока”

Рисунок 4.6 – Осциллограммы тока и напряжения и зависимости вводимой энергии от времени

Длина 165 мм обеспечивает режим взрыва с паузой тока. Уменьшение длины противника с сохранением остальных условий взрыва приводит к переходу в критический режим взрыва, дальнейшее уменьшение в режим без паузы тока. При уменьшении длины взрываемого проводника величина пика

перенапряжения уменьшается с 75 кВ до 50 кВ, это, скорее всего, вызвано пробоем смеси продуктов ЭВП пиком перенапряжения. Пробой приводит к более раннему формированию дуговой стадии разряда, которая шунтирует дальнейший ввод энергии в продукты взрыва. Помимо изменения режимов взрыва изменяется уровень энергии вводимой в проводник с 0,35 кДж в режиме взрыва с паузой тока до 0,28 кДж в режиме без паузы тока. Уровень удельной энергии введённой в проводник увеличивается с  $e/e_c = 1,12$  до  $e/e_c = 2$ .

На рисунке 4.7 приведены зависимости уровня удельной энергии вводимой в проводник ( $e$ ) и коэффициента передачи энергии от накопителя к проводнику ( $\eta$ ) относительно базового критического режима ЭВП ( $e_c, \eta_c$ ).

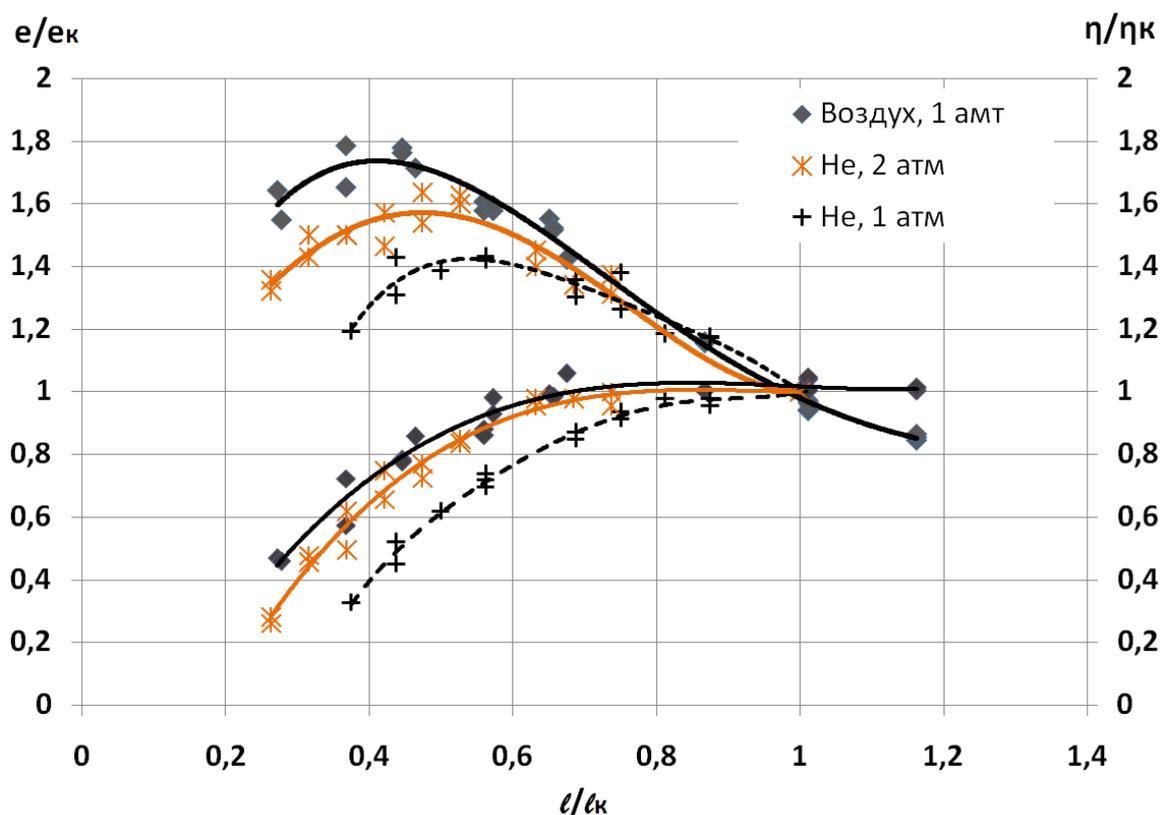
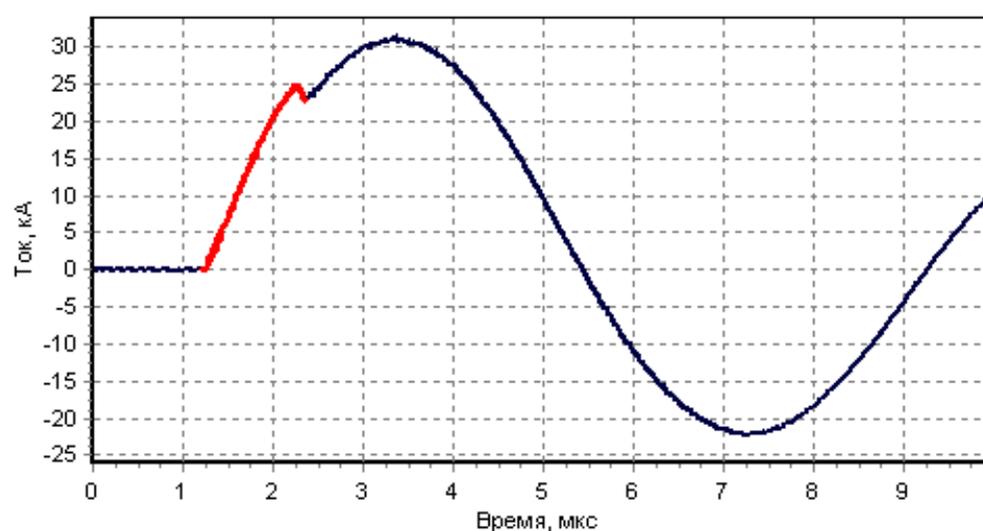


Рисунок 4.7 – Зависимости уровня удельной энергии вводимой в проводник, и коэффициента передачи энергии от длины взрываемого проводника, относительно критического режима взрыва

При увеличении длины взрываемого проводника с сохранением остальных параметров ЭВП наблюдается линейное уменьшение уровня

удельной энергии вводимой в проводник при взрыве,  $\eta$  при этом не изменятся (см. рисунок 4.7 при  $l/l_k > 1$ ). Уменьшение длины взрываемого проводника приводит к росту удельно энергии вводимой в проводник, причем рост наблюдается не на всем участке, а лишь до определенного максимума, который зависит от электрической прочности газа. Дальнейшее уменьшение длины проводника приводит к уменьшению  $e$ , связанным с ранним развитием дуговой стадии ЭВП (характерная осциллограмма тока данного режима взрыва приведена на рисунке 4.8).



$C = 2,24 \text{ мкФ}$ ,  $U_0 = 22 \text{ кВ}$ ,  $L = 0,76 \text{ мкГ}$ ,  $d = 0,25 \text{ м}$ ,  $l = 50 \text{ мм}$ ,  $e/e_c = 1,8$

Рисунок 4.8 – Осциллограммы тока ЭВП в среде Ne

Так как при получении порошков металлов в основном ЭВП осуществляют при давлении около 2 атм, то для ЭВП в гелии длину проводника обеспечивающую оптимальный режим (с максимальным уровнем удельной энергии вводимой в проводник) следует рассчитывать из графика на рисунке 4.7, эта длина составляет –  $(0,4 - 0,5l_k)$ .

### Выводы к главе

По результатам, полученным в ходе проделанных исследований, были сделаны следующие выводы:

1 Критический режим ЭВП определяется не только начальными условиями, но и прочностью газовой среды. Увеличение прочности газа путем

использование газа с большим напряжением пробоя или повышением его давления приводит к “отсрочке” возникновения дуговой стадии разряда и увеличению удельной энергии вводимой в проводник. Получены эмпирические уравнения позволяющие рассчитать начальные условия критического режима взрыва в среде гелия при выбранном давлении.

2 Впервые установлено, что величина пика перенапряжения в критическом режиме одинакова, для различных газовых сред и для ЭВП выполненных при равных значениях  $\epsilon$  и  $v$ .

3 Так как при уменьшении длины проводника, пик перенапряжения уменьшается, наблюдается более раннее развитие дуговой стадии разряда, следовательно, продукты взрыва, пробиваются именно этим пиком.

4 В среде гелия как в воздухе и аргоне, существуют режимы взрыва с максимальным уровнем удельной энергии, для ЭВП в He при давлении 2 атм, длина проводника обеспечивающая эти режимы взрыва составляет (0,4 – 0,5  $l_k$ ).

## Глава 5. Исследование свойств порошков полученных в гелии

### 5.1 Сравнение зависимостей среднего размера частиц от рода газа

Для исследования влияния состава газа на свойства порошков, ЭВП осуществляли в He при давлении 1, 2 и 4 атм, Ar при давлении 1 атм, а так же использовали данные полученные ранее (Ar при давлении 2 и 4 атм). ЭВП осуществляли с использованием алюминиевой проволоки диаметром 0,35 мм, суммарная емкость конденсаторной батареи составляла 3,35 мкФ.

Дополнительно на рисунке 5.1 приведены графики среднего размера частиц, для ЭВП в аргоне при давлении 2 и 4 атм, рассчитанные по уравнению (17) [16].

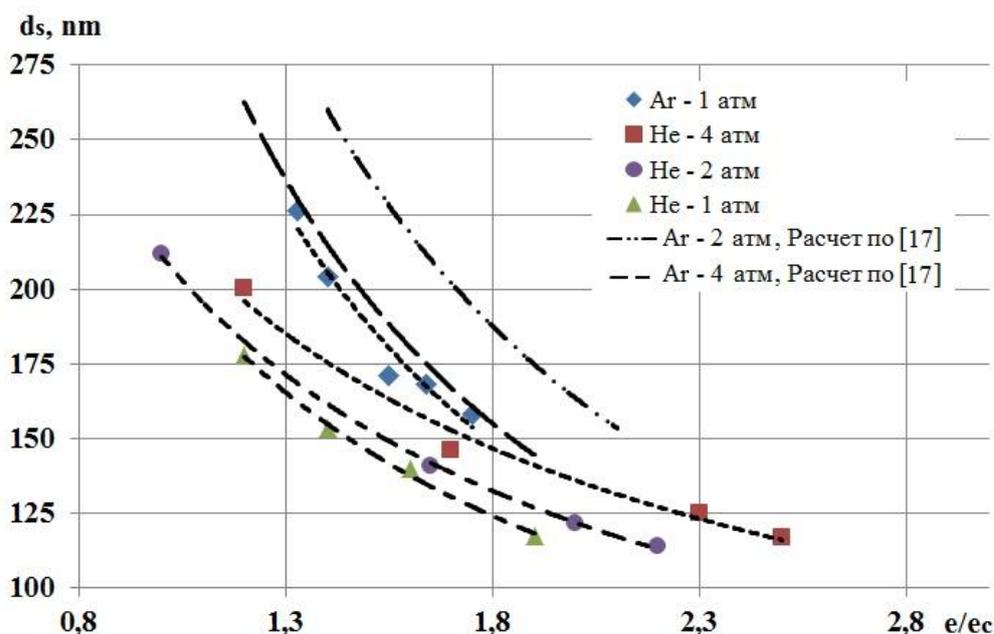


Рисунок 5.1 – Зависимость среднеповерхностного диаметра частиц от удельной энергии, введенной в проводник в среде Ar и He

Расчетные кривые, приведенные на рисунке 5.1, зависимость среднего размера частиц от уровня вводимой энергии в проводник и деления аргона [16]:

$$d_s = 250 \exp^{0,12P} (e/e_c)^{-1,3}, \quad (17)$$

где  $P$  – давление аргона [атм].

Анализ результатов позволил установить, что при равном уровне энергии  $e/e_c = 1,7$ , с увеличением давления гелия с 1 атм до 4 атм, среднеповерхностный диаметр частиц увеличивается с 130 нм до 160 нм. Но увеличение давления гелия способствует росту максимального уровня энергии, вводимой в проводник, что способствует, дальнейшему уменьшению среднеповерхностного диаметра получаемых частиц. Это позволяет получать частицы с минимальным размером в 110 нм при давлении гелия от 1 до 4 атм.

При равном давлении газов в 1 атм и  $e/e_c = 1,5$  средний размер частиц полученных в *He* – 130 нм, а в *Ar* – 170 нм, таким образом уменьшение плотности газа при переходе от ЭВП в *Ar* в *He* позволяет существенно уменьшить размер частиц.

Дополнительно были получены образцы при приблизительно равных плотностях газа (гелий 4 атм, аргон 1 атм) и удельной энергии  $e/e_c = 1,7$ . Результаты показали, что средний размер частиц порошков полученных в гелии приблизительно на 20 нм меньше, чем в аргоне. Следовательно, увеличение теплопроводности (таблица 4.1) газа при изменении среды с *Ar* на *He* оказывает не высокое влияние на средний размер частиц получаемого порошка. Таким образом, увеличение теплопроводности газа позволяет снизить размер частиц получаемого порошка на 20 нм, а уменьшение плотности газа в 10 раз (при ЭВП в аргоне и гелии 1 атм), приводит к уменьшению среднего размера частиц на 40 нм. К тому же ЭВП в гелии позволяет увеличить максимальный уровень вводимой энергии, и это способствует добиться еще большему снижению размера частиц.

## **5.2 Свойства нанопорошков алюминия полученных в гелии и аргоне**

В таблице 5.1. приведены энергетические характеристики и некоторые свойства порошков полученных в гелии и аргоне при одинаковых условиях взрыва.

Таблица 5.1 – Энергетические характеристики и параметры полученных нанопорошков

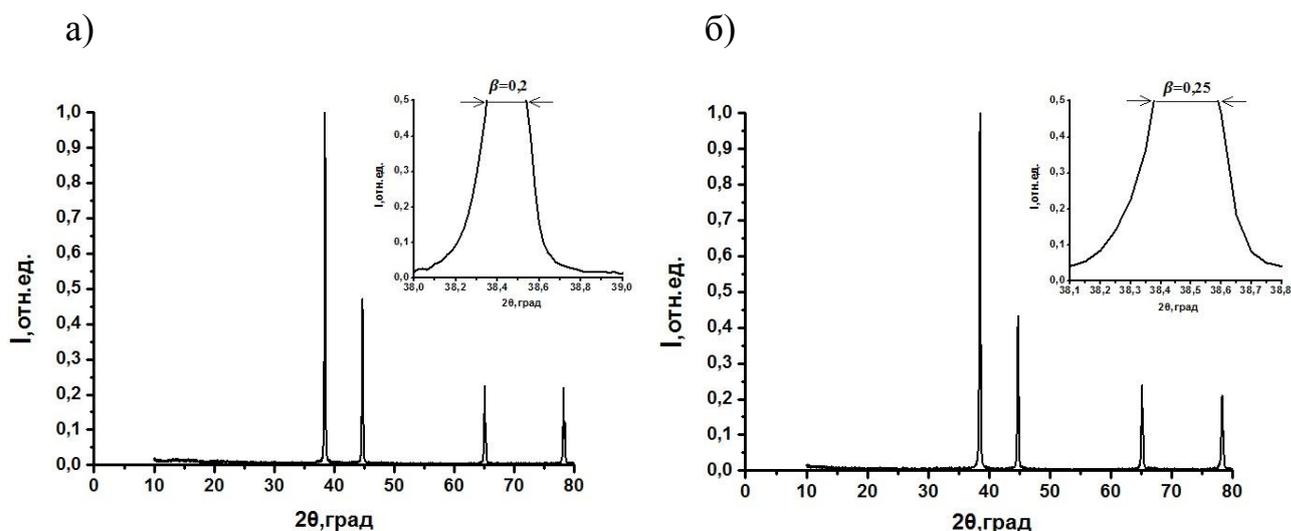
Образец	$e/e_c$	$e/e_d$	$\eta, \%$	$P, \text{Ат}$	$S_{уд}, \text{м}^2/\text{Г}$	$d_s, \text{нм}$	$\text{Al}^0, \text{мас. \%}$	РФА $d_{\text{ОКР}}, \text{нм}$
$\text{Al}_{\text{Ar}}$	1,9	1	52	2	14	150	89	72
$\text{Al}_{\text{He}}$	2	1	57	2	20	110	86	63

$$C = 3,35 \text{ мкФ}, L = 0,75 \text{ мкГн}, d = 0,35 \text{ мм}, U = 26 \text{ кВ}, l = 90 \text{ мм}$$

ЭВП в среде гелия по сравнению с аргоном позволяет ввести в проводник чуть больше энергии (в Ar  $e/e_c = 1,9$ , в He  $e/e_c = 2$ ). Площадь удельной поверхности порошка, полученного в гелии составил  $20 \text{ м}^2/\text{Г}$ , в аргоне –  $14 \text{ м}^2/\text{Г}$ , диаметр частиц, рассчитанный из площади удельной поверхности уменьшается соответственно с  $150 \text{ нм}$  в до  $110 \text{ нм}$ .

Волюмометрический анализ образца  $\text{Al}_{\text{Ar}}$  показал, содержание металлического алюминия –  $89 \text{ мас. \%}$ , а в  $\text{Al}_{\text{He}}$  –  $86 \text{ мас. \%}$ . Остальное вероятнее всего оксидные фазы алюминия, образующихся в период пассивации порошков на воздухе, а также сорбированные газы [33]. Уменьшение содержания алюминия на  $3 \%$  объясняется тем, что порошки  $\text{Al}_{\text{He}}$  более дисперсны, химически активны, вследствие чего активнее взаимодействуют с кислородом воздуха.

На рисунке 5.2 приведены рентгенограммы образцов.



а) ЭВП в Ar; б) ЭВП в He

Рисунок 5.2 – РФА электровзрывных порошков Al

Исследуемые образцы состоят из кристаллического алюминия, оксидные фазы не фиксируются, что скорее всего связано с их поликристалличностью. У образца  $Al_{He}$  наблюдается расширение основных пиков интенсивности и соответственно снижение областей когерентного рассеяния рассчитанного по уравнению Дебая-Шерара (15) с  $d_{OKP} = 72$  нм в Ar до  $d_{OKP} = 63$  нм в He.

На рисунке 5.3 приведены фотографии и гистограмма распределения частиц порошков полученных в среде аргона. Частицы имеют сферическую форму, 96 % частиц имеют размеры в интервале от 10 до 300 нм, а максимум их распределения приходится на 110 нм, а так же присутствуют крупные частицы размером до 1,5 мкм.

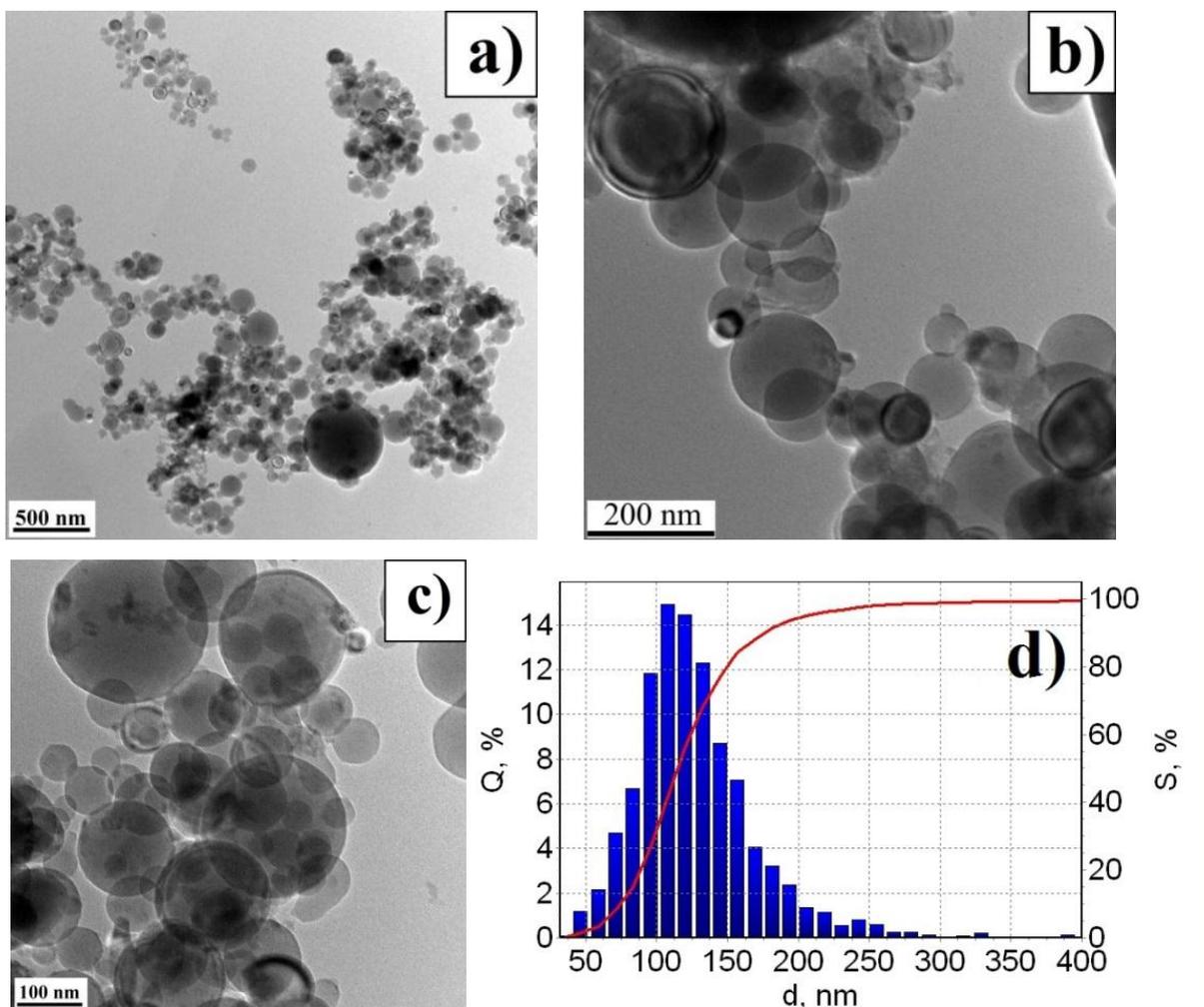


Рисунок 5.3 – ПЭМ фотографии и гистограмма распределения частиц по размерам в среде Ar

ПЭМ фотографии и гистограмма распределения частиц порошков полученных в среде гелия приведена на рисунке 5.4. Частицы, также сферической формы, нанометровая фракция имеет размеры от 10 до 300 нм с максимумом пика распределения частиц по размерам 80 нм, что на 30% мельче, чем частицы, полученные в аргоне. Размер частицы микронной фракции практически не изменяется – 1,5 мкм.

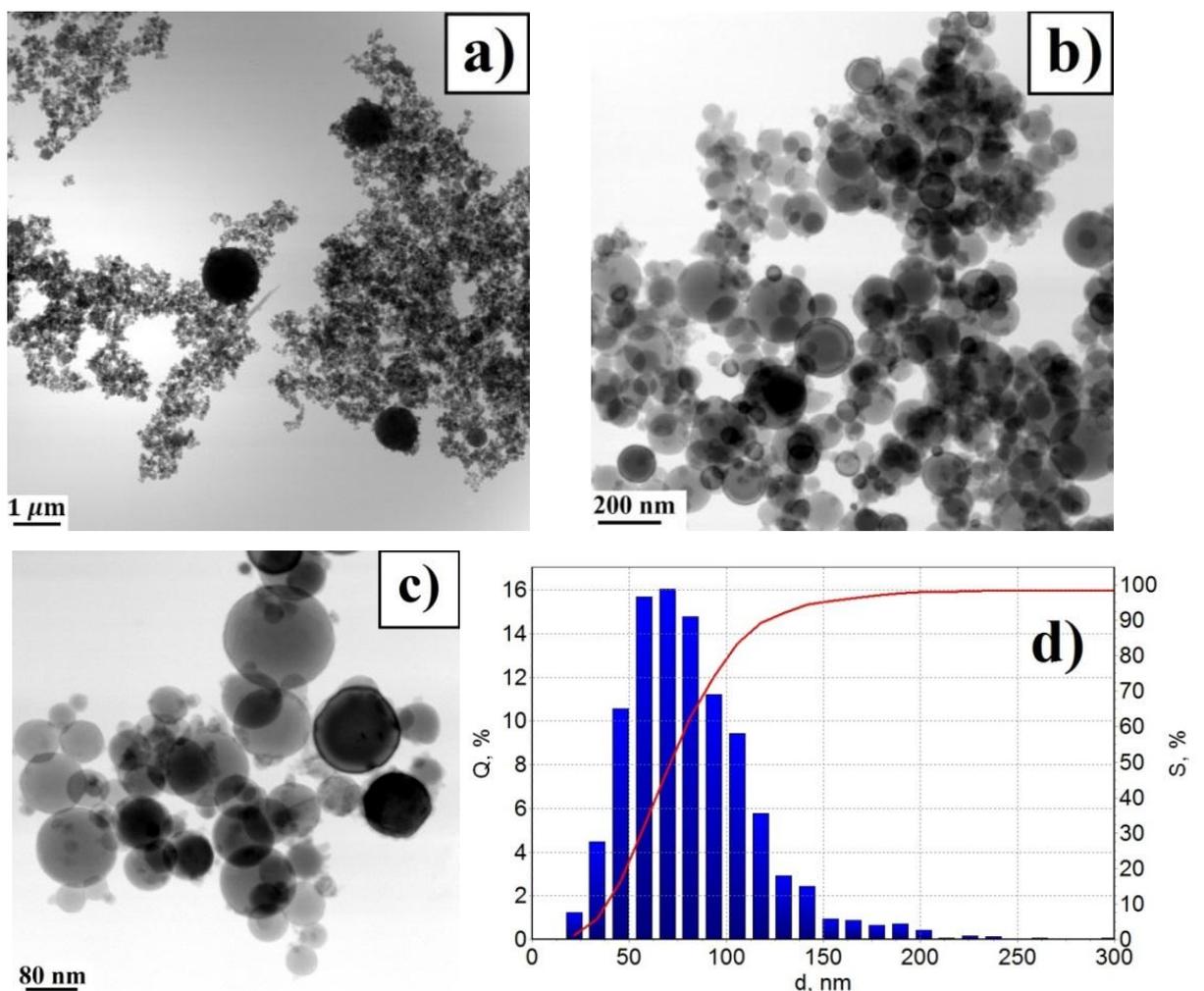
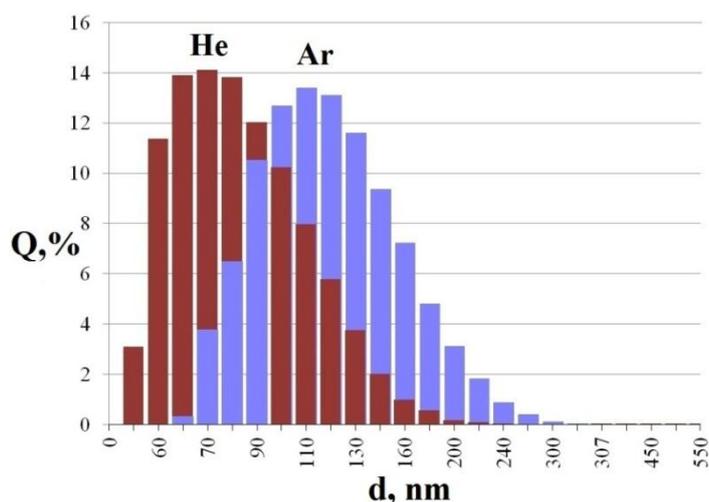


Рисунок 5.4 – Микрофотографии и гистограмма распределения частиц по размерам в среде He

На рисунке 5.5 приведены данные полученные с помощью гранулометрического анализа статического рассеяния лазерного света.



Рисунке 5.5 – Гистограмма полученных образцов

Гистограмма гранулометрического анализа схожа с гистограммой распределения частиц построенная по фотграфиям ПЭМ. Средний размер частиц алюминиевых порошков полученных в среде гелия около (65 – 80) нм, порошки полученных в среде аргона имеют средний размер – (110 – 120) нм.

#### **Вывод к главе**

По результатам, полученным в ходе проделанных исследований, были сделаны следующие выводы:

1 Средний размер частиц порошка полученного в гелии определяется не только энергией вводимой в проводник, но и давлением газа. С увеличением давления гелия наблюдается увеличение среднего размера частиц при условии сохранения уровня энергии вводимой в проводник. Но увеличение давления газовой среды способствует росту максимального уровня энергии, вводимой в проводник, вследствие чего наблюдается продолжение снижения среднего размера частиц. Минимальный размер частиц, получаемый в гелии, достигает 110 нм.

2 Увеличение теплопроводности газа позволяет снизить размер частиц получаемого порошка на 20 нм, а уменьшение плотности газа в 10 раз, приводит к уменьшению среднего размера частиц на 40 нм.

3 Нанометровые частицы, полученные в среде гелия, благодаря его низкой плотности и высокой теплопроводности на 30% мельче, чем в аргоне полученные при тех же условиях взрыва.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4ТМ61	Джуманазарову Ильясу Искендербековичу

<b>Институт</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Кафедра</b>	Отделение материаловедения
<b>Уровень образования</b>	Магистр техники и технологии	<b>Направление/специальность</b>	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

**Исходные данные к разделу «Ресурсоэффективность и финансовый менеджмент»:**

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Потенциальные потребители результатов НИИ</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизации установки 10% Норма амортизации ПК 33,3</i>
<i>3. Использование систем налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные страховые фонды, которые составляют 30 %.</i>

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

<i>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИИ</i>	<i>SWOT-анализ НИИ, разработка иерархической структуры проекта</i>
<i>2. Разработка устава научно-технического проекта</i>	<i>Проект выполняет в рамках магистерской диссертации, устав не требуется.</i>
<i>3. Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Разработка календарного плана и бюджета научного исследования.</i>
<i>4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Определение целесообразности и эффективности НИИ: оценка рисков и научно-технического уровня исследования, оценка ресурсоэффективности проекта</i>

**Перечень графического материала:**

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Карта сегментирования рынка</li> <li>2. Иерархическая структура работ</li> <li>3. SWOT-анализа проекта</li> <li>4. Диаграмма Ганта</li> <li>5. Смета затрат на научно-исследовательскую работу</li> </ol>
---

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Старикова Екатерина Васильевна	кандидат философских наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ТМ61	Джуманазаров Ильяс Искендербекович		

## Глава 6. Ресурсоэффективность и финансовый менеджмент

Темой магистерской выпускной квалификационной работы является получение  $Al$  нанопорошков методом электрического взрыва проводника в среде  $He$ .

Целью раздела «Ресурсоэффективность и финансовый менеджмент» является оценка эффективности и возможности проведения данного исследования, оценки рисков и затрат, а также решение задач [1].

Поставим задачи для данного раздела:

- оценить перспективность исследования;
- составить план выполнения исследования;
- рассчитать необходимые затраты для исследования.

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

Перспективность исследований определяется не столько важностью и глобальностью открытия, которые тяжело оценить на начальных этапах проекта, а именно коммерческой оценкой. Оценка коммерческой ценности – обязательно условие, необходимое для поиска источников финансирования и, следовательно, для успешного проведения научного исследования [34].

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что недостаточная оценка рынков сбыта производимой продукции является одной из главных причин несостоятельности многих проектов. Необходим глубокий анализ спроса на продукцию, которую предполагается выпускать, определить, в каких объемах и по какой цене его купят. Определив спрос, устанавливают максимальный объем производства, который предприниматель сможет осуществить с учетом своих потенциальных возможностей.

Потенциальными потребителями данного научно технического исследования являются промышленные заводы, которые выпускают различные

электрические аппараты, компании, занимающиеся различными аддитивными технологиями.

Таблица 6.1 – Карта сегментирования рынка

		Отрасли, занимающиеся нанопорошками			
		Научные институты	Внедренческие организации	Заводы-изготовители	Компании, занимающиеся 3D печатью металлами
Сфера деятельности по нанопорошкам	Производство нанопорошков	x		x	
	Освоение новых методов получения нанопорошков	x	x		
	Изучение свойств нанопорошков	x		x	x
	Анализ характеристик нанопорошков	x	x		x
	Продажа нанопорошков	x	x	x	
	Продажа результатов исследований и анализов нанопорошков	x			
	Использование нанопорошков в промышленных целях			x	x

Как видно из карты сегментирования, научные институты выполняют почти весь цикл работ, связанных с нанопорошками.

Основным сегментом данного рынка являются научные институты, производящие и изучающие нанопорошки.

Сегментом, на который ориентирована цель магистерской диссертации, является изучение свойств нанопорошков и их анализ.

В будущем предполагается применение полученных результатов во многих институтах и компаний, занимающихся разработкой композиционных материалов.

## 6.2 Иерархическая структура работ

Иерархическая структура работ – инструмент, позволяющий разбить проект на составные части. Она устанавливает иерархически структурированное распределение работ по реализации проекта, описывает все работы, которые должны быть выполнены в проекте.

Содержание работ данного проекта определено и структурировано в виде иерархии, которая приведена на рисунке 6.1.



Рисунок 6.1 – Иерархическая структура работ

## 6.3 SWOT – анализ НТИ

Для того чтобы оценить факторы и явления, способствующие или препятствующие продвижению проекта, был произведен SWOT – анализ проекта.

Описание сильных и слабых сторон проекта, выявление возможностей и угроз для реализации проекта приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Матрица SWOT

<b>Сильные стороны</b>	<b>Возможности во внешней среде</b>
С1. Уникальность исследования С2. Возможность участвовать в конференциях С3. Наличие опытного научного руководителя С4. Актуальность проводимого исследования С5. Обширная сфера применения С6. ТПУ – один из ведущих вузов в области разработки нанотехнологий С7. Возможность создания партнерских отношений с рядом исследовательских институтов	В1. Освоение новых направлений и разработка новых методик и технологий для нужд потребителей рынка наноиндустрии В2. Развитие производства и рост объемов продукции В3. Применение наночастиц в новых инновационных направлениях В4. Реализация стратегии импортозамещения на российские рынки В5. Развитие отношений с зарубежными производителями и потребителями В5. Получения государственной поддержки в рамках программ поддержки наукоемкого бизнеса на городском, областном и федеральном уровнях
<b>Слабые стороны</b>	<b>Угрозы внешней среды</b>
Сл1. Требуется тщательного сбора исходных данных Сл2. Многостадийность методики Сл3. Недостаточно собственных средств для реализации проекта, что не позволяет производить продукцию в нужном объеме Сл4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования	У1. Развитие конкуренции в сфере анализа исследований нанопорошков У2. Конкуренты обладают более развитыми технологиями и низкими издержками У3. Продукция маловостребована

Следующий 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. Результаты анализа SWOT – матрицы проекта представлены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Анализ интерактивной SWOT – матрицы проекта

<b>Результаты SWOT-анализа. Сильные стороны/возможности</b>	<b>Результаты SWOT-анализа. Слабые стороны/возможности</b>
- Проект реализуется в условиях развитой производственной, научной, энергетической, социальной инфраструктуры; - Для реализации основной части проекта доступны оборудование и расходные материалы высокого качества	- Недостаточное финансирование проекта
<b>Результаты SWOT-анализа. Сильные стороны/угрозы</b>	<b>Результаты SWOT-анализа. Слабые стороны/угрозы</b>
- Методика и продукция проекта имеют сравнительно низкие издержки производства по сравнению с предложенными аналогами.	- Недостаточные инвестиционные вливания могут стать причиной низкой конкурентоспособности проекта

Таким образом, самой большой угрозой для проекта является развитие конкуренции в сфере анализа исследований нанопорошков, что на данном этапе не прогнозируется, поскольку данная методика имеет теоретическую, математическую и экспериментально обоснованную базу, которая является наиболее удобной и целесообразной в использовании. Исследование имеет потенциал, небольшой круг потенциальных потребителей и возможность выхода на внешний рынок.

## **6.4 Планирование этапов и выполнения работ проводимого научного исследования**

### **6.4.1 Структура работ в рамках научного исследования**

Планирование работ выполняется поэтапно:

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

Для выполнения научного исследования собирается группа, в состав которой входят научный руководитель и магистрант. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном пункте составлен перечень работ в рамках проведения научного исследования и распределены исполнители по видам работ. Порядок приведен в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание исследовательской части работ	Содержание технической части работ	Должность исполнителя
Структурирование исследования	1	Составление и утверждение технического задания	Обзор литературы, сбор необходимых данных, технических параметров оборудования, изучения технологического процесса.	Руководитель
	2	Планирование эксперимента	Подготовка установки ЭВП.	Инженер
	3	Календарное планирование работ по теме	Составление графика выполнения работ на всех этапах.	Инженер
Проведение метода ЭВП	4	Оценка качества выполнения ЭВП	Наработка нанопорошков с помощью установки ЭВП.	Инженер
	5	Определение объема исследования	Пассивирование нанопорошков.	Инженер
Сбор данных	6	Рентгенофазовый анализ	Получение дифрактограмм с помощью дифрактометра.	Инженер
	7	Расчет энергии, введенной в проводник	Снятие осциллограммы тока.	Инженер
	8	Термический анализ	Получение данных с помощью термоанализатора.	Инженер
Анализ НП	9	Сравнение полученных результатов	Анализ данных.	Инженер
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Составление отчета о проделанной работе, с указанием проблематики проводимого исследования, результатов.	Инженер
	11	Архивация полученных выводов	Написание выводов о проделанной работе.	Руководитель, инженер

Линейный график проекта представлен в виде календарного плана.

Таблица 6.5 – Календарный план

№ работ	Вид работ	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление и утверждение технического задания	21	10.09.17	1.10.17	Руководитель
2	Планирование эксперимента	20	2.09.17	22.10.17	Магистрант
3	Календарное планирование работ по теме	5	23.10.17	28.10.17	Магистрант
4	Оценка качества выполнения ЭВП	10	30.10.17	8.11.17	Магистрант
5	Определение объема исследования	3	8.11.17	11.11.17	Магистрант
6	Рентгенофазовый анализ	25	13.11.17	8.12.17	Магистрант
7	Расчет энергии, введенной в проводник	35	9.01.18	21.01.18	Магистрант
8	Термический анализ	25	21.02.18	14.03.18	Магистрант
9	Сравнение полученных результатов	60	14.03.18	14.05.18	Магистрант
10	Составление пояснительной записки	7	15.05.18	22.05.18	Магистрант
11	Архивация полученных выводов	7	23.05.18	30.05.18	Руководитель, Магистрант
	Итого		218		

Таблица 6.6 – Диаграмма Ганта

№ ра бо т	Вид работ	Исполнители	Дни	Продолжительность выполнения работ											
				Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май			
1	Составление и утверждение технического задания	руководитель	21	■											
2	Планирование эксперимента	магистрант	20		■										
3	Календарное планирование работ по теме	магистрант	5			■									
4	Оценка качества выполнения ЭВП	магистрант	10			■									
5	Определение объема исследования	магистрант	3			■									
6	Рентгенофазовый анализ	магистрант	25			■	■	■							
7	Расчет энергии, введенной в проводник	магистрант	35						■	■					
8	Термический анализ	магистрант	25							■	■				
9	Сравнение полученных результатов	магистрант	60								■	■	■		
10	Составление пояснительной записки	магистрант	7											■	
11	Архивация полученных выводов	руководитель, магистрант	7											■	

■ - научный руководитель

■ - магистрант

По анализу диаграммы Ганта общее число работ составило 11. Ожидаемая трудоемкость работ для научного руководителя составила 28 чел/дней, для студента-исполнителя составила 197 чел/дней. Общая максимальная длительность выполнения работы составила 218 календарных дней. При этом стоит учитывать вероятностную составляющую оценки трудоемкости, то есть продолжительность работ по этапам может увеличиваться или сокращаться.

## **6.5 Расчет бюджета для научно-технического исследования**

В процессе формирования бюджета НТИ используется группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных исследований;
- основная заработная плата;
- дополнительная заработная плата;
- отчисления во внебюджетные фонды;
- накладные расходы.

Так же для оценки расходов, затраченных на проведение данного научно технического исследования, составим смету расходов и амортизацию используемой техники.

Рассчитываем смету расходов, включающую затраты на приобретение необходимого оборудования для разработки проекта и текущие расходы. Затраты, образующие себестоимость продукции (работ, услуг), группируются в соответствии с их экономическим содержанием по следующим элементам:

### **6.5.1 Специальное оборудование для научных работ**

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования

производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. Наименование оборудование и его цены указаны в таблице 6.6.

Таблица 6.6 – Спецоборудование для научных работ

№ п/п	Наименование	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб
1	ПК	1	45000	45000
2	Установка ЭВП (УДП-1)	1	3000000	3000000
3	Al проволока	5 (кг)	170	850
4	Болон газа (He)	2	7800	15600
5	Асциллограф	1	80000	80000

### 6.5.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном пункте рассчитывается основная заработная плата руководителя и магистранта. Заработная плата определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок ТПУ. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы.

Пункт включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (1)$$

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (2)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

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

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

Таблица 6.7 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Магистрант
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	104
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	24
- невыходы по болезни	10	10
Действительный годовой фонд рабочего времени	242	214
Рабочие дни	28	206

Таблица 6.8 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	З <sub>гс</sub> , руб.	З <sub>дн</sub> , руб.	Т <sub>р</sub> , раб.дн.	З <sub>осн</sub> , руб.
Научный руководитель	31434	1350	23	31050
Магистрант	14584	763	140	106820
Итого				137870

Тарифные ставки были приняты на основании регламентирующих документов планово-финансового отдела ТПУ [2].

### 6.5.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (3)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15). Расчет дополнительной заработной платы приведен в таблице 6.9.

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

В данном пункте рассчитываются обязательные отчисления органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС).

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (4)$$

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

На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2017 году водится пониженная ставка – 30 %.

Отчисления во внебюджетные фонды представлено в таблице 6.9.

Таблица 6.9 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Итого
Научный руководитель	31050	4658	35708
Магистрант	106820	16023	122843
<b>Итого</b>	137870	20681	158551
<b>Отчисления, руб (30 %)</b>			
Научный руководитель	10712		47565
Магистрант	36853		

#### 6.5.5 Накладные расходы

Накладные расходы – то все прочие затраты, не вошедшие в предыдущие пункты (ксерокопии, электроэнергия, отопление, услуги связи и др.). Вычисляются по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (5)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%, тогда размер накладных расходов составит 25368,16 рублей.

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведено в таблице 6.10.

Таблица 6.10 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Итого	%
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	137870	56,45
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	20681	8,45
Отчисления во внебюджетные фонды	47565	19,5
Накладные расходы	38082	15,6
	244198	

Таким образом, основная заработная плата 137870 рублей, дополнительная заработная плата 20681 рублей, отчисления во внебюджетные фонды 47565 рублей, накладные расходы 38082. Суммарный бюджет затрат научного исследования составил – 244198 рублей. Учитывая перспективность исследования и бюджет НИ ТПУ, было бы целесообразно провести данное научное исследование, т.к. затраты сравнительно небольшие для исследования такого уровня, если предположить что такие исследования будут проводиться каждый год.

### **6.6. Оценка рисков НИИ**

При оценке рисков НИИ 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. Оценка важности риска оценивается весовым коэффициентом ( $w_i$ ). Важность оценивается по 10- балльной шкале  $b_i$ . Сумма весовых коэффициентов должна равняться единице. Оценка важности рисков приведена в таблице 6.11.

Таблица 6.11 – Экономические риски

№	Риски	$P_i$	$b_i$	$w_i$	$P_i * w_i$
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	10,294
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	46,568

Таблица 6.12 – Технологические риски

№	Риски	$P_i$	$b_i$	$w_i$	$P_i * w_i$
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 6.13 – Научно-технические риски

№	Риски	$P_i$	$b_i$	$w_i$	$P_i * w_i$
1	Развитие конкурентных технологий	75	7	0,145	10,937
2	Создание новых методов синтеза	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 в производство	25	10	0,208	5,208
6	Несвоевременное патентование	25	9	0,187	4,687
	Сумма		48	1	47,395

Далее производится расчет общих рисков:

Таблица 6.14 – Общая оценка риска проекта

Виды рисков в группе	$P_i$	$b_i$	$W_i$	$P_i * W_i$
Экономические	46,57	10	0,25	11,64
Технологические	32,14	9	0,5	16,07
Научно-технические	47,4	6	0,25	11,85
Итого		25	1	39,56

Итоговая оценка составила около 40%, что является весьма неплохим показателем для научного исследования.

### 6.7 Анализ и оценка научно-технического уровня исследования

Необходимо рассчитать коэффициент научно-технического уровня. Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок, в котором каждому из признаков НТУ присваивается определенное число баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем показателям с учетом весовых характеристик. Общая оценка рассчитывается по формуле:

$$HTU = \sum_{i=1}^n k_i \cdot P_i, \quad (6)$$

где  $k_i$  – весовой коэффициент  $i$  – го признака;  
 $P_i$  – количественная оценка  $i$  – го признака.

Таблица 6.15 – Весовые коэффициенты НТУ

Признаки НТУ	Весовой коэффициент
Уровень новизны	0.4
Теоретический уровень	0.2
Возможность и масштабы реализации	0.4

Таблица 6.16 – Шкала оценки новизны

Баллы	Уровень
1-4	Низкий НТУ
5-7	Средний НТУ
8-10	Сравнительно высокий НТУ
11-14	Высокий НТУ

Таблица 6.17 – Значимость теоретических уровней

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
Установка законов, разработка новой теории	10
<u>Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ, взаимозависимость между факторами</u>	<u>8</u>
Разработка алгоритма	6
Элементарный анализ связей между факторами (наличие гипотезы, объяснение версий, практические рекомендации)	2
Описание отдельных факторов (вещества, свойств, опыта, результатов)	0.5

Таблица 6.18 – Возможность реализации по времени и масштабам

Время реализации	Баллы
<u>В течение первых лет</u>	<u>10</u>
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2
Масштабы реализации	Баллы
Одно или несколько предприятий	2
<u>Отрасль</u>	<u>4</u>
Народное хозяйство	10

$$k_1 = 0.4, P_1 = 10, k_2 = 0.2, P_2 = 8,$$

$$k_3 = 0.2, P_3 = 10, k_4 = 0.2, P_4 = 4.$$

$$HTU = 0.4 \cdot 10 + 0.2 \cdot 8 + 0.2 \cdot 10 + 0.2 \cdot 4 = 8.4$$

По полученным результатам расчета коэффициента научно-технического уровня можно сделать вывод, что данный проект имеет высокую значимость теоретического и практического уровня, и при этом используется в широком спектре отраслей.

Таким образом, анализируя результаты оценки, можно заключить, что проводимое исследование имеет высокую значимость теоретического и практического уровня, а также приемлемый уровень рисков. Это подтверждает целесообразность проводимого научного исследования.

## 6.8 Оценка ресурсоэффективности проекта

Ресурсоэффективность производства нанопорошков методом ЭВП определяется при помощи интегрального критерия ресурсоэффективности, который имеет следующий вид:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

где:  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент проекта;

$b_i$  – бальная оценка проекта, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 6.19.

Таблица 6.19 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки
Качество нанопорошков	0,25	4
Рентабельность	0,25	5
Производительность	0,20	5
Экономичность	0,20	4
Экологичность	0,10	5
Итого:	1,00	

Интегральный показатель ресурсоэффективности для разрабатываемого проекта:

$$I_{pi} = 0,25 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,20 \cdot 5 + 0,20 \cdot 4 + 0,10 \cdot 5 = 4,55$$

Проведенная оценка ресурсоэффективности проекта дает достаточно неплохой результат (4,55 из 5), что свидетельствует об эффективности реализации технического проекта.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проекта имеет важное значение при выполнении раздела «Ресурсоэффективность и финансовый менеджмент». Его высокое значение говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы безопасности и надежности, удобства в эксплуатации и предполагаемый срок эксплуатации позволяют судить о корректно выполненной разработке системы.

### **Заключение**

В ходе выполнения раздела «Ресурсоэффективность и финансовый менеджмент» были решены следующие задачи:

1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности. Потенциальными потребителями данного научно технического исследования являются промышленные заводы, которые выпускают различные электрические аппараты, компании, занимающиеся различными аддитивными технологиями. Как видно из карты сегментирования, научные институты выполняют почти весь цикл работ, связанных с нанопорошками. Основным сегментом данного рынка являются научные институты, производящие и изучающие нанопорошки.

2 Проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования на примере SWOT-анализа, результат которого показал большой потенциал проводимого исследования, а также возможность быстрого выхода на внешний рынок обеспечены принципиально новым подходом к решению поставленной задачи.

3 Определен полный перечень работ, проводимых при исследовании нанопорошков. Общее число работ составило 11. Определена трудоемкость проведения работ. Ожидаемая трудоемкость работ для научного руководителя составила 28 чел/дней, для магистранта составила 197 чел/дней. Общая максимальная длительность выполнения работы составила 218 календарных дней.

4 Суммарный бюджет затрат НИИ составил – 244198 рублей. Расчет бюджета осуществлялся на основе следующих пунктов:

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

5 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.

6 Проведена оценка ресурсоэффективности проекта (4,55 по 5- бальной шкале), что говорит об эффективности реализации данного научно-технического проекта.

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

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4ТМ61	Джуманазарову Ильясу Искендербековичу

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение</b>	<b>Материаловедения</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	15.04.01"Электроэнергетика и электротехника/Техника и физика высоких напряжений"

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

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения..</p>	<p><b>1. Объектом исследования</b> - нанопорошки Al получаемые методом электрического взрыва проводника в среде гелия.</p> <p><b>2. Рабочее место</b> - № 12 лаборатория ИШНПТ, ТПУ.</p> <p><b>3. Метод исследования</b> - исследования влияния состава среды на протекание ЭВП и на физико-химические свойства порошков, работа с установкой по получению нанопорошков.</p> <p><b>3. Область применения</b> - исходное сырье при производстве керамических и композиционных материалов, солнечных батарей, радиопоглощающих покрытий, фильтров, присадок к смазочным маслам, красящих и магнитных пигментов, компонентов низкотемпературных высокопрочных припоев, катализатор в различных химических процессах.</p>
---	---

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

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1 Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>- действие фактора на организм человека;</li> <li>- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>- предлагаемые средства защиты;</li> <li>- (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2 Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>- термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты)</li> </ul>	<p>1.1 Вредные факторы производственной среды.</p> <p>1.1.1 Неблагоприятные условия микроклимата. Согласно СанПиН 2.2.4.548-96 требуемая температура воздуха в помещении в холодный период – 21-23 градуса, в теплый период 22-24 градуса, относительная влажность воздуха – 40-60 %, скорость движения воздуха не менее 0,1 м/сек. Температура воздуха – 22 градуса, относительная влажность – 55%, скорость движения воздуха не превышает 0,1 м/сек. Используемое в проекте помещение лаборатории, соответствует приведенным нормам. В холодный период года помещение отапливается, скорость движения воздуха обеспечивается вентиляционной системой, влажность контролируется.</p> <p>1.1.2 Электромагнитное излучение. Нормами СанПиН 2.2.4.1191–03 установлены предельно допустимые уровни электромагнитного поля промышленной частоты (50Гц). Защита от электромагнитного излучения осуществляется с применением</p>
---	--

	<p>поглощающих или отражающих экранов.</p> <p>1.1.3 Недостаточная освещенность. Согласно нормативным показателям освещенности в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 и СНиП 23–05–95 освещение в научно-технических лабораториях должно соответствовать параметрам: освещенность – 400 лк, коэффициент пульсации - не более 10%. Норма освещённости в лаборатории достигается с помощью искусственного освещения.</p> <p>1.1.4 Повышенный уровень шума при работе установки по получению нанопорошков. Уровень шума при работе установки составляет около 75 дБА. Согласно нормативным документам уровень шума и звукового давления не должен превышать 65 дБА. Установка по получению нанопорошкой находится в экранированном боксе, сделанной из сэндвич панелей. Индивидуальным средством защиты являются наушники.</p> <p>1.1.5 Вредные вещества и работа с нанопорошками. Согласно ГН 2.2.5.1313-03 нанопорошки алюминия относятся к 4 классу опасности. 4 класс – малоопасные; а – аэрозоль; Ф - аэрозоли, преимущественно фиброгенного действия.</p> <p>1.2 Опасные факторы производственной среды.</p> <p>1.2.1 Высокое напряжение и ток Помещение лаборатории относится к особо опасным, так как установка для получения нанопорошков методом электрического взрыва проводника работает в интервале напряжений от 14000 В до 30000 В, при токах до 60 кА. Для обеспечения безопасности и полного исключения возможности поражения электрическим током, установка находится в полностью изолированном боксе и также имеет защитное заземление, систему защитных проводов, заземляющие штанги, средства индивидуальной защиты. Допуск к работе на данной установке имеют сотрудники прошедшие специальную подготовку и имеющие IV категорию по электробезопасности.</p> <p>- Источники механических опасностей, какие-либо движущиеся механизмы отсутствуют.</p> <p>- Источники термических опасностей отсутствуют, все токоведущие части установки, которые могут нагреваться, изолированы.</p>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- защита селитебной зоны</li> <li>- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> </ul>	<p>2.1 Селитебная зона установки по получению нанопорошков находится на территории лаборатории №12 ТПУ, 11 Г корпус.</p> <p>2.2 Защита атмосферы. Для предотвращения попадания наночастиц в атмосферу используется вентиляция с встроенными системами фильтрации, требованиям ПДК по</p>

	<p>ГН 2.1.6.1338-03.</p> <p>2.3 Защита гидросферы. Согласно ГОСТ 17.1.3.13–86 и ГОСТ 17.1.3.06–82, наночастицы не признаны потенциально опасными, следовательно, дополнительная очистка вод лабораторных стоков не требуется при соблюдении норм ПДК по ГН 2.1.5.2280-07.</p> <p>2.4 Защита литосферы. Наночастицы попадают в почву путем осаждения, адсорбции или адгезии из атмосферы, растворением и осаждением из гидросферы. Так как в лаборатории предусмотрена система фильтрации воздуха попадание наночастиц в почву отсутствует. Предельно допустимая концентрация частиц в почве указана в ГН 2.1.7.2041-06</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></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>3.1 Перечень возможных ЧС: возгорание оборудования, короткое замыкание электрической цепи связанное с неисправностью оборудования.</p> <p>3.2 Наиболее типичный ЧС: в качестве наиболее типичной ситуации рассматривается пожар. Пожар может возникнуть в следующих случаях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- короткое замыкание в цепи;</li> <li>- перегрев оборудования, причиной которого является неправильная эксплуатация.</li> </ul> <p>3.3 Превентивные меры по предупреждению возгораний: соблюдать требования безопасности при работе в помещении, проводить проверки состояния узлов установки, а также электрической цепи установки, не реже одного раза в полугодие проводить практические тренировки всех задействованных для эвакуации работников, обучение лиц мерам пожарной безопасности путем проведения инструктажа по пожарной безопасности (вводный, первичный, повторный - два раз в год).</p> <p>3.4 Действия при возникновении ЧС: при возгорании в срочном порядке необходимо сообщить о пожаре по телефону 01, дать сигнал тревоги, принять меры по эвакуации людей. В срочном порядке покинуть помещение. При возможности приступить к устранению пожара с помощью имеющихся средств пожаротушения.</p>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></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>Правовые и организационные вопросы отражены в документах: ПБ 11-555–03 «Правила безопасности при производстве порошков и пудр из алюминия, магния и сплавов на их основе»;</p> <p>Персонал лаборатории должен удовлетворять следующим требованиям: возраст не менее 18 лет; прохождение мед. освидетельствования, инструктажа по ТБ и ПБ; знание и соблюдение правил внутреннего распорядка.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения контроля и диагностики	Ахмеджанов Рафик Равильевич	доктор биологических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ТМ61	Джуманазаров Ильяс Искендербекович		

## Глава 7. Социальная ответственность

### 7.1 Производственная безопасность

Для выбора опасных и вредных факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [36].

Таблица 7.1 – Опасные и вредные факторы при получении нанопорошков алюминия методом электрического взрыва проводника

Источник фактора, наименование работ	Факторы по «ГОСТ 12.0.003-74		Нормативные документы
	Опасные	Вредные	
1. Работа с установкой по получению нанопорошков 2. Нарботка образцов нанопорошков Al 3. Анализ свойств наработанных нанопорошков 4. Техническое обслуживание установки.	2. Высокое напряжение и ток	1. Неблагоприятные условия микроклимата. 2. Недостаточная освещенность; 3. Электромагнитные излучения 4. Повышенный уровень шума	1. СанПиН 2.2.4.548-96 устанавливает гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. 2. СанПиН 2.2.4.1191-03 устанавливает гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы; 3. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 и СНиП 23-05-95 нормативные показатели освещенности в в научно-технических лабораториях. 4. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 и ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ .приведены значения допустимых уровней звукового давления широкополосного непостоянного шума. 5. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

#### 7.1.1 Анализ вредных факторов производственной среды

##### *Неблагоприятные условия микроклимата*

Микроклимат производственной определяется сочетанием температуры среды, интенсивности теплового излучения и относительной влажности воздуха. Эти параметры оказывают большое влияние на самочувствие и здоровье человека, а, следовательно, и на его функциональную деятельность и надежность работы.

Согласно классификации работ по категории тяжести, основанной на подсчете общих энергозатрат организма, работа, относящаяся к инженерам-разработчикам, принадлежит к категории Ib – легкие работы.

Для данной категории подобраны оптимальные значения микроклимата по нормативам СанПиН 2.2.4.548-96 [37] (таблица 7.2).

Таблица 7.2 – Требования к микроклимату производственной среды для категории Ib

Период	Категория	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный период года	Ib – легкая	21 – 23	40 – 60	не менее 0,1
Теплый период года	Ib – легкая	22 – 24	40 – 60	не менее 0,1

Используемое в проекте помещение лаборатории, соответствует приведенным нормам. В холодный период года помещение отапливается, скорость движения воздуха обеспечивается вентиляционной системой, влажность контролируется.

Рабочее пространство помещения лаборатории, его размеры и планировка определяются количеством рабочих мест, а также размещенным в нем оборудованием.

Согласно установленным нормам СанПиН 2.2.1/2.1.1.1031-01 [38] для обеспечения нормальных условий труда необходимо, чтобы на одного рабочего должно приходиться не менее 4,5 м<sup>2</sup> площади помещения, 20 м<sup>3</sup> объема.

Выбранное для работы над проектом помещение имеет параметры:

- ширина – 5 м;
- длина – 8 м;
- высота – 4 м.

Расчетная площадь помещения составляет 10 м<sup>2</sup>, расчетный объем составляет 36 м<sup>3</sup>. В экспериментальной части проекта задействованы 2 человека. Следовательно, на каждого сотрудника приходится: 20 м<sup>2</sup> площади; 80 м<sup>3</sup> объема воздуха, что более чем удовлетворяет нормам СанПиН.

### *Электромагнитное излучение*

Последующий анализ и обработка данных, полученных за время эксперимента, предполагает использование ПЭВМ. Это значит, что оператор сталкивается с влиянием электромагнитных полей. Нормами СанПиН 2.2.4.1191–03 [39] установлены предельно допустимые уровни электромагнитного поля промышленной частоты (50Гц). Избыточное воздействие электромагнитного поля может стать причиной неврологических нарушений, бессонницы, привести к сбоям в работе желудочно-кишечного тракта и прочим негативным последствиям. Защита от электромагнитного излучения осуществляется с применением поглощающих или отражающих экранов.

### *Недостаточная освещенность*

Лаборатория проекта оснащена источниками искусственного и естественного (боковое и совмещенное) освещения. Работа над проектом предполагает нагрузку на органы зрения, следовательно, необходимо обеспечить должную освещенность рабочего места.

Недостаточное освещение рабочего пространства может существенно снизить работоспособность, стать причиной ухудшения психоэмоционального состояния, способствует перегрузке ЦНС, неизбежно приводит к возникновению и развитию у работников офтальмологических заболеваний. Согласно нормативным показателям освещенности в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 [40] и СНиП 23–05–95 [41] освещение в научно-технических лабораториях должно соответствовать параметрам, представленным в таблице 7.3.

Таблица 7.3 – Требуемые показатели освещения (естественного, искусственного и совмещенного) помещения лаборатории.

Помещение	Естественное освещение КЕО, %	Совмещенное освещение КЕО, %	Искусственное освещение	
			Освещенность, лк	Коэффициент пульсации, %
Лаборатория	1,2	2,1	400	не более 10%

### *Повышенный уровень шума*

Согласно исследованиям в области здравоохранения, длительное воздействие шума на центральную нервную систему человека может стать причиной подавленного психического состояния, значительно снижает работоспособность, увеличивает риск развития болезней слухового аппарата, например, неврита слухового нерва (тугоухость).

В данной работе этап получения нанопорошков методом электрического взрыва проводников сопровождается ультразвуковыми колебаниями от установки по получению порошков. Данные операции провоцируют возникновение звуковых колебаний в рабочей зоне, которые воздействуют на работников лаборатории.

В таблице 7.4 приведены значения допустимых уровней звукового давления широкополосного непостоянного шума, согласно СН 2.2.4/2.1.8.562–96 [42] и ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ [43].

Таблица 7.4 – Допустимые уровни звукового давления

Трудовая деятельность, рабочее место	Уровень звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука или эквивалентные уровни звука, дБ А	Максимальный уровень звука, дБ А
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
Лабораторные исследования	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60	75

Для снижения воздействия шума, согласно СНиП 23-03-2003 [44], рабочие установки по получению нанопорошков находятся внутри специального бокса сделанного из сэндвич панелей, минимизирующие уровень шума. Индивидуальными средствами защиты от шума при работе установки являются наушники.

### *Вредные вещества и работа с нанопорошками*

Так как, основная часть работы связана с получением и изучение нанопорошков алюминия ниже приведены ГОСТы и нормативы при работе с данными порошками.

Согласно ГН 2.2.5.1313-03 [45] нанопорошки алюминия относятся к 4 классу опасности.

В таблице 7.5 представлены предельно допустимые концентрации (ПДК) нанопорошков алюминия в воздухе рабочей зоны.

Таблица 7.5 – Предельно допустимые концентрации (ПДК) нанопорошков алюминия в воздухе рабочей зоны

Элемент	Величина ПДК (мг/м <sup>3</sup> )	Преимущественное агрегатное состояние в воздухе	Класс опасности	Особенности действия на организм
Алюминий (Al)	–/6	а	4	Ф

Примечание: 4 класс – малоопасные; а – аэрозоль; Ф - аэрозоли, преимущественно фиброгенного действия.

Для каждого работника, связанного с разработкой с нанопорошками, предусмотрены следующие средства индивидуальной защиты:

- 1) костюм хлопчатобумажный, куртка на утепляющей прокладке по ГОСТ 1126;
- 2) брезентовые рукавицы по ГОСТ 12.4.010;
- 3) резиновые перчатки по ГОСТ 20010;
- 4) хлопчатобумажные перчатки по ГОСТ 12.4.183 и ГОСТ 5007;
- 5) ботинки на кожаной подошве по ГОСТ 28507 и ГОСТ 12.4.137;
- 6) противоаэрозольный респиратор по ГОСТ 12.4.004;
- 7) противогаз по ГОСТ 12.4.041;
- 8) защитная маска по ГОСТ 12.4.041 или щиток по ГОСТ 12.4.023.

### **7.1.2 Анализ опасных факторов производственной среды**

*Высокое напряжение и ток*

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статистического электричества.

Электроустановки классифицируют по напряжению: с номинальным напряжением до 1000 В (помещения без повышенной опасности), до 1000 В с присутствием агрессивной среды (помещения с повышенной опасностью) и свыше 1000 В (помещения особо опасные).

В отношении опасности поражения людей электрическим током различают:

1) Помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

2) Помещения с повышенной опасностью, которые характеризуются наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.), высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям, технологическим аппаратам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой.

3) Особо опасные помещения, которые характеризуются наличием оборудования свыше 1000 В и одного из следующих условий, создающих особую опасность: особой сырости, химически активной или органической среды, одновременно двух или более условий повышенной опасности.

Территории размещения наружных электроустановок в отношении опасности поражения людей электрическим током приравниваются к особо опасным помещениям.

Помещение лаборатории относится к особо опасным, так как установка для получения нанопорошков методом электрического взрыва проводника работает в интервале напряжений от 14000 В до 30000 В, при токах до 60 кА.

Для обеспечения безопасности и полного исключения возможности поражения электрическим током, установка находится в полностью изолированном боксе и также имеет заземление. Допуск к работе на данной установке имеют сотрудники прошедшие специальную подготовку и имеющие IV категорию по электробезопасности.

Все помещения лаборатории соответствуют требованиям электробезопасности при работе с электроустановками по ГОСТ 12.1.019-79 [46].

Для отключения электросетей на вводах имеются рубильники. Отключение всей сети, за исключением дежурного освещения, производится общим рубильником.

В целях предотвращения электротравматизма запрещается:

- 1) работать на неисправных электрических приборах и установках;
- 2) перегружать электросеть;
- 3) переносить и оставлять без надзора включенные электроприборы;
- 4) работать вблизи открытых частей электроустановок, прикасаться к ним;
- 5) загромождать подходы к электрическим устройствам.

О всех обнаруженных дефектах в изоляции проводов, неисправности рубильников, штепсельных вилок, розеток, а также заземления и ограждений следует немедленно сообщить электрику.

В случае перерыва в подаче электроэнергии электроприборы должны быть немедленно выключены.

Категорически запрещается прикасаться к корпусу поврежденного прибора или токоведущим частям с нарушенной изоляцией и одновременно к заземленному оборудованию (другой прибор с исправным заземлением, водопроводные трубы, отопительные батареи), либо прикасаться к поврежденному прибору, стоя на влажном полу.

При поражении электрическим током необходимо как можно быстрее освободить пострадавшего от действия электрического тока, отключив

электроприбор, которого касается пострадавший. Отключение производится с помощью рубильника.

При невозможности быстрого отключения электроприбора необходимо освободить пострадавшего от токоведущих частей деревянным или другим не проводящим ток предметом источник поражения.

Во всех случаях поражения электрическим током необходимо вызвать врача.

Все сотрудники лаборатории каждые полгода проходят экзамен по электробезопасности и имеют категорию не ниже второй.

## **7.2 Экологическая безопасность**

В данной работе нанопорошки *Al* получали методом электрического взрыва проводника, который в данный момент является одним из самых экологически безвредных. Получение порошков осуществляется в среде инертных газов или воздухе без добавления различных химических и других добавок, что полностью исключает вредные выбросы в атмосферу. Метод электрического взрыва проводника является не очень энергозатратным, что также положительно сказывается на его экологической значимости.

Работа установки сопровождается минимальным выделением тепла. Практически вся энергия тратится на нагрев непосредственно проводника и его взрыв, что значительно повышает КПД электровзрывного метода по сравнению с другими.

### **7.2.1 Защита атмосферы**

Наночастицы, попадая в воздух, образуют аэрозоли, устойчивые к седиментации. Эти аэрозоли проникают в биологические объекты через дыхательные пути, пищеварительный тракт, кожу и слизистые. Наночастицы из аэрозолей также поглощаются растениями (сорбция) и этим путем активно проникают в растительный мир - источник пищи практически для всех биообъектов. Наночастицы, диспергированные в воздухе, адсорбируются водами различных объектов (озера, реки и т.п.), осажденные в воде

наночастицы попадают в почву, в грунт, в грунтовые воды. Чтобы предотвратить попадание наноматериалов и продуктов на основе наночастиц в атмосферу необходимо использовать вентиляцию с встроенными системами фильтрации. Только тщательная фильтрация способна обеспечивать минимальное содержание наночастиц в воздухе. Эта норма установлена требованиями ПДК по ГН 2.1.6.1338-03 [47]. На предприятиях, включая лаборатории и производства, работающие в условиях высокого запыления, для создания чистого помещения применяются следующие методы: очистка среды (воздушной, водной), использование средств индивидуальной защиты персонала, технический контроль предельно допустимых концентраций веществ в помещениях и вне объекта.

### **7.2.2 Защита гидросферы**

Наночастицы с производства, при неправильной утилизации суспензий металлических нанопорошков могут попадать в воду, используемую для питьевых нужд. Данным путем частицы попадают в пищеварительный тракт человека. В настоящее время исследования, доказывающие данный механизм попадания частиц не проведены, а такая возможность рассматривается только на вероятностном уровне. На сегодняшний день, согласно ГОСТ 17.1.3.13–86 [48] и ГОСТ 17.1.3.06–82 [49], наночастицы не признаны потенциально опасными, следовательно, дополнительная очистка вод лабораторных стоков не требуется при соблюдении норм ПДК по ГН 2.1.5.2280-07 [50].

### **7.2.3 Защита литосферы**

Наночастицы попадают в почву путем осаждения, адсорбции или адгезии из атмосферы, растворением и осаждением из гидросферы, а также из биологических объектов, например, при их разложении. Попадая в почву, наночастицы нарушают ее микробиологический состав, тем самым оказывают значительное влияние на плодородность. Более того, наночастицы из почвы проникают в бентосы, которые перерабатывают ее, получая питательные вещества. Частицы из этих организмов перемещаются далее по пищевой

цепочке в водоросли и к более сложным организмам животного мира. Предельно допустимая концентрация частиц в почве указана в ГН 2.1.7.2041-06 [51].

### **7.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Для лабораторных работ наиболее вероятными ЧС являются пожар.

Данная чрезвычайная ситуация может возникнуть в следующих случаях:

- короткое замыкание в цепи;
- перегрев оборудования, причиной которого является неправильная эксплуатация.
- при не правильном пассивировании нанопорошки могут самовоспламенятся при контакте с воздухом.

Организационные меры, предотвращающие возникновение ЧС - это соблюдение техники безопасности и охрана труда. Помимо этого проводится планирование по предупреждению чрезвычайных ситуаций.

Действия при обнаружении воспламенения в лаборатории:

- 1) голосовой сигнал для привлечения помощи;
- 2) удаление легко воспламеняющихся материалов и жидкостей из зоны горения
- 3) удаление источника, воспламенения, в случае, если это возможно;
- 4) обесточивание электропитания загоревшегося прибора и отключение электроэнергии в помещении;
- 5) применение огнетушителя.
- 6) Очередность действий зависит от конкретной ситуации, определяется здравым смыслом и наличием оборудования.

Для недопущения пожара:

- перед работой необходимо проверять все технологические узлы станочки;
- перед работой необходимо проверять все токоведущие части на предмет повреждения изоляции.

К организационным мероприятиям относятся:

- создание общей и локальных систем оповещения;
- проведение учений и тренировок;
- разработка плана действий при возникновении ЧС;
- прогнозирование возможных ЧС;
- обучение персонала действиям по тушению пожара;
- подготовка эвакуации персонала из опасных зон.

Также на территории Томской области наиболее вероятные источники ЧС природного характера: шквальные ветры и ураганы; лесные пожары; половодье; эрозия почв; обильные осадки, в т.ч. сильный туман и крупный град.

Все помещения лаборатории должны соответствовать требованиям пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004-91 [52] и иметь средства пожаротушения по ГОСТ 12.4.009-83 [53].

Помещение, в котором расположена лаборатория, оснащено пожарными кранами с пожарными рукавами. На видном месте висит план эвакуации из лаборатории. В помещении самой лаборатории имеются средства первичного пожаротушения, такие как песок, огнетушитель, асбестовые покрывала и т.д.

План эвакуации из лаборатории при пожаре представлен на рисунке 7.1.



Рисунок 7.1 – План эвакуации из лаборатории №12

Распоряжением по лаборатории из числа сотрудников назначен человек, который организует все противопожарные мероприятия, получив инструктаж местной пожарной команды.

Все сотрудники лаборатории обучены правилам обращения с огнеопасными и взрывоопасными веществами, газовыми приборами, а также умеют обращаться с противогазом, огнетушителем и другими средствами пожаротушения, имеющимися в лаборатории.

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

Разработка научных основ создания методологии оценки безопасности наноматериалов и комплексного исследования физико-химических и токсических свойств металлических наночастиц в настоящее время связана с их многообразием и с недостатком научных данных, зачастую несопоставимых между собой. Согласно Постановлению гос. сан. врача РФ №54 от 23.07.2007 г. [54] наноматериалы следует относить к опасным, если достоверные данные не доказывают обратного.

Работать в лаборатории могут только совершеннолетние лица. Перед началом работы сотруднику необходимо пройти медицинское освидетельствование. Каждый сотрудник до начала работы должен пройти вводный инструктаж, ознакомиться с техникой безопасности на рабочем месте, пройти обучение безопасным приемам работы под руководством назначенных научных и инженерно-технических работников [55]. Все сотрудники лаборатории обязаны регулярно проходить медицинское освидетельствование [56].

При работе с наночастицами сотрудники лаборатории должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты, с учетом периодичности их замены. К средствам индивидуальной защиты относятся: хлопчатобумажный халат; прорезиненный фартук с нагрудником; резиновые или латексные перчатки; прорезиненные нарукавники; респиратор или противогаз; защитные очки. В случае работы с взрыво - огнеопасными веществами костюм должен быть обработан огнезащитной пропиткой, а защитная маска или шлем должны быть изготовлены из огнезащитного материала.

Контроль над исполнением законодательной базы осуществляется Федеральной инспекцией труда при Министерстве труда и социальной защиты Российской Федерации.

## Выводы

Анализируя проделанную работу можно сделать основной вывод, что для получения алюминиевых порошков среда гелия является более практически выгодной т.к. размер частиц меньше, а себестоимость порошка не на много выше. ЭВП в гелии протекает по тем же закономерностям что и в воздухе, аргоне и других газах.

По результатам проделанной работы были сделаны следующие выводы:

1 Критический режим ЭВП определяется не только начальными условиями, но и прочностью газовой среды. Увеличение прочности газа путем использование газа с большим напряжением пробоя или повышением его давления приводит к “отсрочке” возникновения дуговой стадии разряда и увеличению удельной энергий вводимой в проводник. Получены эмпирические уравнения позволяющие рассчитать начальные условия критического режима взрыва в среде гелия при выбранном давлении.

2 Впервые установлено, что величина пика перенапряжения в критическом режиме одинакова, для различных газовых сред и для ЭВП выполненных при равных значениях  $\epsilon$  и  $v$ .

3 В среде гелия как в воздухе и аргоне, существуют режимы взрыва с максимальным уровнем удельной энергии, для ЭВП в He при давлении 2 атм, длина проводника обеспечивающая эти режимы взрыва составляет  $(0,4 - 0,5)l_k$ .

4 Средний размер частиц порошка полученного в гелии определяется не только энергией вводимой в проводник, но и давлением газа. С увеличением давления гелия наблюдается увеличение среднего размера частиц при условии сохранения уровня энергии вводимой в проводник. Но увеличение давления газовой среды способствует росту максимального уровня энергии, вводимой в проводник вследствие чего наблюдается продолжение снижения среднего размера частиц. Минимальный размер частиц, получаемый в гелии, достигает 110 нм.

5 Нанометровые частицы, полученные в среде гелия, благодаря его низкой плотности и высокой теплопроводности на 30% мельче, чем в аргоне полученные при тех же условиях взрыва.

## **Список публикаций студента**

1 Dzhumanazarov I.I., Pustovalov A.V. Nanopowders production of al by electrical explosion of wires // Interdisciplinary Problems in Additive Technologies: book of abstracts III Russian Scientific Seminar with International Participation, 4-6 December 2017, Tomsk. [Electronic text data]. – Tomsk: Publishing house of Tomsk State University of Architecture and Building, 2017. – 75 p.

## Список использованных источников

- 1 Яворовский Н.А. Электрический взрыв проводников – метод получения ультрадисперсных порошков: дис. канд. техн. наук. Томск, 1986. – 127 с.
- 2 Лернер М.И. Основы технологии получения и некоторые области применения электровзрывных нанопорошков неорганических материалов: дис. д-ра техн. наук. Томск, 2007. – 325 с.
- 3 Бурцев В.А. Электрический взрыв проводников и его применение в электрофизических установках / В.А. Бурцев, Н.В. Калинин, А.В. Лучинский – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 289с.
- 4 Яворовский Н.А. Получение ультрадисперсных порошков методом электрического взрыва / Н.А. Яворовский // Изв. вузов. Физика. – 1996. – №4. – С. 114-136.
- 5 Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы. – М.: Академия, 2005. – 312 с.
- 6 Джонс В.Д. Производство металлических порошков. Перевод с английского Маураха М.А., Лысова Б.С. – М.: Мир, 1964. – 224 с.
- 7 Фришберг И.В., Кватер Л.И., Кузьмин Б.П., Грибовский С.В. Газофазный метод получения порошков. – М.: Наука, 1978. – 226 с.
- 8 Одзава Э. Характеристики, приготовление и применение ультрадисперсных частиц. Журнал «Пластичность и обработка», октябрь 1986г, том 27, №309, стр. 1166 – 1172;
- 9 Корчагин А. И. Электронно-лучевая технология получения нанодисперсных порошков диоксида кремния при атмосферном давлении. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Томск – 2003 г.

10 Яворовский Н.А. Получение ультрадисперсных порошков методом электрического взрыва. Журнал «Физика», 1994г, № 4, Издание Томского госуниверситета. с. 114 – 136.

11 Седой В.С. Исследование электрического взрыва проводников и его применение в электрофизических установках: дис. д-ра техн. наук. Томск, 2003. – 235 с.

12 Бакулин Ю.Д. Магнитогидродинамический расчет взрывающихся проводников / Ю.Д. Бакулин, В.Ф. Куропатенко, А.В. Лучинский // Журнал технической физики. – 1976. – Т.46. – Вып. 9. – С. 1963 – 1969.

13 Kim I. Magnetohydrodynamic behavior of warm dense plasmas created by underwater wire explosion / I. Kim, D. K. Kim, S. H. Baek and S. Y. Song // 33<sup>rd</sup> EPS conference on plasma phys. Rome. – 2006. – Vol. 301. – P. 5.064.

14 Иваненков Г.В. Обзор литературы по моделированию процессов электрического взрыва тонких металлических проволочек. Препринт №10 / Иваненков Г.В., Пикуз С.А., Шелковенко Т.А. и др. – ч. 2 – М.: Физический институт имени П.Н. Лебедева, – 2004. – 30 с.

15 Котов Ю.А., Багазеев А.В. Некоторые характеристики электрического взрыва цинковой проволоки. Институт электрофизики Уро РАН, Екатеринбург 2010 г.

16 Пустовалов А.В. Получение нанопорошков алюминия методом электрического взрыва проводников / А.В. Пустовалов // Современные техника и технологии. Тр. XV междунар. научно-практ. конф. студентов и молодых ученых. – Россия. – Томск. – 4-8 мая 2009. – Т.3. – С. 525 – 527.

17 Азаркевич Е. И. Применение теории подобия к расчету некоторых характеристик электрического взрыва проводников / Е. И. Азаркевич // ЖТФ. – 1973. – Т. 43. – № 1. – С. 141.

18 Котов Ю.А. Влияние характеристик окружающей среды на длину проводника, обеспечивающее отключение тока / Ю.А. Котов, В.С. Седой, В.П. Сергиенко // Техника высоких напряжений и электрическая прочность изоляции. – Томск: ТПИ. – 1978. – С. 74 – 77.

19 Седой В.С. Некоторые закономерности электрического взрыва проводников / В.С. Седой // ЖТФ. – 1976. – № 8. – С. 1707 – 1710.

20 Пустовалов А.В. Электрический взрыв железных проводников в атмосфере воздуха, Ar, CO и CO<sub>2</sub>/ А.В. Пустовалов, С.П. Журавков // Современные техника и технологии. Тр. XVII междунар. научно-практ. конф. студентов и молодых ученых. – Россия. – Томск. – 18-22 апреля 2011. – Т.3. – С. 433 – 434.

21 Седой В. С. Исследование отключающих характеристик электрически взрывааемых проводников: дис. канд. техн. наук. Томск, 1975. – 165 с.

22 Котов Ю.А. Влияние характеристик окружающей среды на длину проводника, обеспечивающее отключение тока / Ю.А. Котов, В.С. Седой, В.П. Сергиенко // Техника высоких напряжений и электрическая прочность изоляции. – Томск: ТПИ. – 1978. – С. 74-77.

23 Qing Zhou. Effect of medium on deposited Energy in microsecond electrical explosion of wires / Qing Zhou, Qiaogen Zhang, Wenyu Yan, Xuandong Liu, Jun Zhang, Junping Zhao and Lie Pang // IEEE Transactions on Plasma Science – 2012. – Vol. 40. – № 9. – P. 2198 – 2204.

24 Pustovalov A.V. Fabrication of silver nanopowders by the method of electrical explosion of wires / N.A. Yavorovski, A.V. Pustovalov, S.P. Zhuravkov // IV Int. Seminar “Nanotechnology, energy, plasma, lasers (NEPL-2010)”. – Russia. – Tomsk. – 25-31 October 2010. – P. 43 – 44.

25 Проскуровская Л.Т. Физико-химические свойства электровзрывных ультрадисперсных порошков: Томск, 1998. – 155с.

26 V.S. Sedoi and N.A. Yavorovsky Controlled Synthesis of Nanopowders via Electrical Explosion of Wires.: Tomsk, Russia-2008.

27 Kotov Yu. A. The Electrical Explosion of Wire: A Method for the Synthesis of Weakly Aggregated Nanopowders/ Yu. A. Kotov // Nanotechnologies in Russia. – 2009. – Vol. 4, – Nos. 7–8. – P. 415–424.

28 Лернер М.И. Управление процессом образования высокодисперсных частиц в условиях электрического взрыва проводников: дис. канд. техн. наук. Томск, 1987. – 161 с.

29 Глазунов Г.П. Некоторые свойства мелкодисперсных порошков, получены электрическим взрывом проводников в газе высокого давления / Г.П. Глазунов, В.П. Канцедал, Л.А. Корниенко и др. // Вопросы атомной науки и техники. – 1978. – Вып. 1(1). – С. 21-24.

30 Патент RU 2048278 C1, 6B 22F9/14. Установка для получения высокодисперсных порошков неорганических материалов электрическим взрывом и реактор для взрыва металлических заготовок. Яворовский Н. А., Давыдович В.И., Биль Б.А. – 5004107/02. Заявлено 18.07.91. Опубл. 20.11.95.

31 Кварцхава И.Ф. Осциллографическое определение энергии электрического взрыва проволочек / Кварцхава И.Ф., Бондаренко В.В. Плюотно А.А. и др. // Ж. эксп. и Теор. Физ. – 1956. – Т.31, – Вып. 5, – С. 745 – 751.

32 Давыдович В.И. Разработка технологического процесса и оборудования для электровзрывного получения порошков металлов с низкой электропроводностью. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. Томск. 1986г. – 254 с.

33 Коршунов А.В. Кинетика окисления электровзрывных нанопорошков алюминия при нагревании в воздухе / А.В. Коршунов, А.П. Ильин, Н.И., Радишевская Т.П. Морозова // Журнал физической химии. – 2010. – Т. 84, № 9. – С. 1728 – 1736.

34 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.

35 Регламентирующие документы планово-финансового отдела ТПУ – [Электронный ресурс <http://portal.tpu.ru>] – Режим доступа:

<http://portal.tpu.ru/departments/otdel/peo/documents> – Заглавие с экрана. – (Дата обращения 1.04.2018).

36 ГОСТ 12.0.003-74 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (с Изменением № 1)

37 СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

38 СанПиН 2.2.1/2.1.1.1031-01 Санитарные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.

39 СанПиН 2.2.4.1191–03. Электромагнитные поля в производственных условиях. – М.: Минздрав России, 2003.

40 СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.

41 СНиП 23–05–95. Нормы проектирования. Естественное и искусственное освещение. – М.: Минстрой России, 1995.

42 ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

43 СНиП 23-03-2003. Защита от шума.

44 СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.

45 ГН 2.2.5.1313-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

46 ГОСТ 12.1.019-79 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты (с Изменением № 1).

47 ГН 2.1.6.1338-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Минздрав России. – 2005.

48 ГОСТ 17.1.3.13–86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.

49 ГОСТ 17.1.3.06–82. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране подземных вод.

50 ГН 2.1.5.2280-07 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

51 ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве Минздрав России. – 2006.

52 ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением № 1).

53 ГОСТ 12.4.009-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание (с Изменением № 1)

54 Постановление гос. сан. врача РФ №54 от 23.07.2007 г. О надзоре за продукцией, полученной с использованием нанотехнологий и содержащей наноматериалы.

55 ГОСТ ИСО 14644-1-2002. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды.

56 ГОСТ 12.4.034-85. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Классификация и маркировка.

## Приложение А

### Research of *Al* conductors electric explosion in the *He* medium

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ТМ61	Джуманазаров И.И.		

Руководитель ВКР:

Должность	Ф.И.О.	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Младший научный сотрудник	Пустовалов А.В.	Кандидат технических наук		

Консультант - лингвист отделения ШБИП:

Должность	Ф.И.О.	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение иностраных языков, старший преподаватель	Квашнина О.С.			

## A 1. Electric explosion of wire as a method for obtaining metallic powders

One of the promising methods for obtaining a wide range of nanopowders of inorganic materials is a technology based on the process of electric explosion of wire (EEW). An electric explosion of wire is the phenomenon of explosive destruction of a metallic conductor when a current pulse of high density passes through it (more than  $10^6/\text{cm}^2$ ). The products of the destruction of conductor are vapor and tiny metal particles which, depending on the kind of gas surrounding the conductor, form nanopowders of metals, alloys, chemical compounds or nanopowders of composite structure [1].

### A 1.1 Electric explosion of wire

The easiest way is to carry out EEW in the LC-circuit as shown in Figure A 1 a. The capacitive energy storage device C is charged from the energy source to the voltage  $U_0$  and by means of a discharger P commutes to the exploded conductor. Basic information about the explosion process is obtained from the current and voltage oscillograms (Fig. A 1 b).

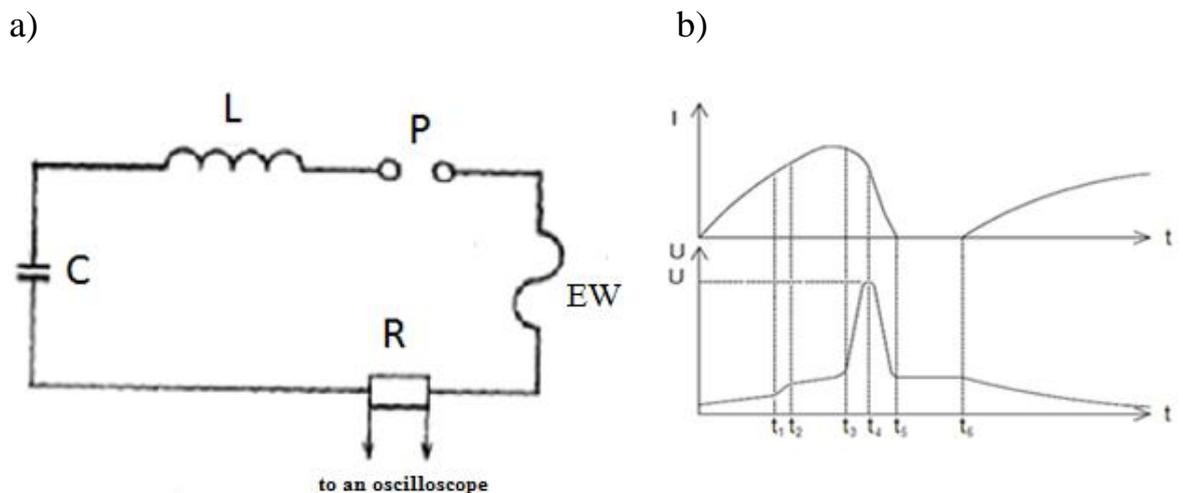
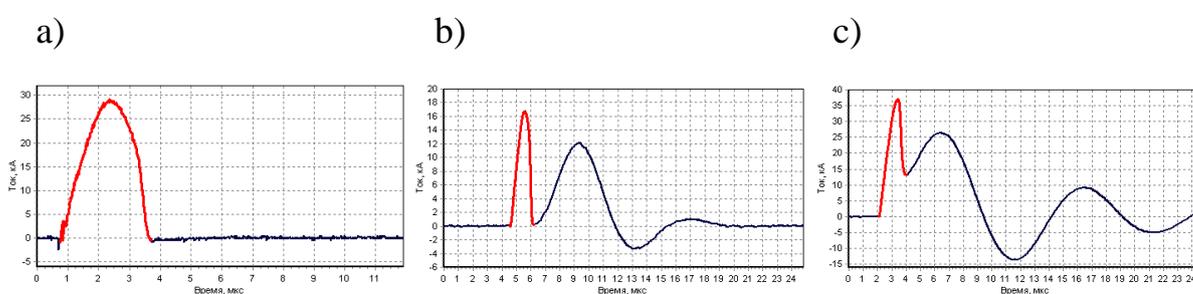


Figure A 1 – LC-circuit for implementation of EEW (a), oscillogram of current and voltage EEW in the mode with a current pause (b)

Their analysis allows us to identify the individual stages of EEW [1]. When the circuit is closed by the discharger P, the current at the beginning is determined by the impedance of the circuit, since the resistance of the conductor is small. When the condenser is discharged, an impulse current flows through the conductor, so that the conductor heats up to the melting temperature (time instant –  $t_1$ ). Melting of metal on the voltage oscillogram manifests itself as a voltage jump in the time interval  $t_1 - t_2$ , caused by an increase in the resistivity of the wire. Then, the metal heats up in the liquid state. At the moment  $t_3$ , the process of destruction begins, the conductor loses its continuity, its resistance begins to grow rapidly, the current in the circuit decreases. As a result of a sudden increase in resistance, an overvoltage impulse (U) is formed on the discharge gap, whose amplitude can several times exceed the charging voltage of the storage ring ( $U_0$ ). The time  $t_4$  corresponding to the peak of the overvoltage peak is taken by the authors of many works for the moment of the actual explosion of the wire. After  $t_4$ , the current decreases to zero and at the instant  $t_5$  a current pause occurs due to the low electrical conductivity of the explosion products having the properties of gas with high electrical strength. With the expansion of the explosion products, the electrical strength of the gap decreases and at the instant  $t_6$  the products breakdown with residual voltage on the capacitor, arises the arc stage of the EEW.

Depending on the experimental conditions, the explosion can be carried out in an "agreed" (Figure A 2 a), in the "critical" (Figure A 2 b), and also in the "without current pause" modes (Figure A 2 c) [11].



a) agreed mode; b) critical mode; c) mode without current pause

Figure A 2 – Oscillograms

In an agreed mode, the conductor consumes all the energy stored in the drive, the arc stage is absent. The decrease in the length of the exploded wire, while maintaining the remaining experimental conditions, leads to a decrease in the energy level consumed by the conductor during the explosion and the appearance of residual energy in the storage ring, however, the specific energy generally increases. This energy is released in the arc stage in the breakdown of expanding explosion products – EEW with a pause of current. The value of the time interval at which the current pause is observed depends on the rate of decrease in the electric strength of the EEW products, the length of the discharge gap, and also the residual voltage level of the storage device after EEW.

A further decrease in the length of the exploded wire leads to a decrease in the duration of the pause time of the current down to zero and to a transition to the critical mode of the EEW. The subsequent reduction in the length of the conductor leads to a transition to a mode without a pause of current, while the arc stage of the discharge occurs before the current is disconnected.

## **A 1.2 Methods for calculation of the EEW initial conditions**

At present, the following methods are used to determine the parameters that provide the necessary modes of explosion of wire in order to obtain powders of metals with specified properties: magneto-hydrodynamic calculation (MHD) [12-14]; and an approach based on the similarity theory [15-17].

### **A 1.2.1 Magneto-hydrodynamic calculation**

The MHD method makes it possible to determine the current density, electric and magnetic field strength, density, temperature, pressure and mass velocity of matter at any instant in time, by numerical solution of one-dimensional MHD equations in the one-temperature approximation, taking into account the electronic thermal conductivity of the metal to be exploded. A system of equations in Lagrange coordinates for the case of cylindrical symmetry [12, 13].

The model was tested by the authors [12] by comparison with the results of a large number of experiments of electric explosion of copper and aluminum wires in air, water, and oil.

In all the cases, the difference between the calculated and experimentally determined values of the current and voltage amplitudes did not exceed 10%. The dependence of the current and voltage on time and on the characteristics of the wires corresponded to the experimentally obtained data.

The development of the method is supplemented by equations of the dynamics of elastoplastic deformations of the metal of conductors and the environment, the transition to the solution of two-dimensional MHD equations [14], which makes it possible to more accurately consider the process of destruction of a wire, but also makes calculations difficult.

In addition to electrical characteristics, this calculation makes it possible to obtain temporal dependences of the pressure and density of the products of the explosion. This allows us to use the obtained results to analyze the processes that occur after the explosion of the wire. However, these calculations are cumbersome and require the use of a large computing power, especially at the stage of searching for the EEW parameters for the experiment.

### **A 1.2.2 Similarity theory**

To describe the electrical explosion of wire and to calculate the initial conditions of an explosion for a given experiment, many authors [1, 15, 16] use an approach based on the similarity theory [17]. When converting the differential equation of the discharge circuit in a gaseous medium in which the active resistance of the circuit is not taken into account, the criteria of similarity were obtained:

$$P_1 = \frac{CU_0^2 \rho_M}{e_M n^2 d^4 Z}; \quad P_2 = \frac{\rho_M \ell}{n d^2 Z}; \quad P_3 = \frac{\nu_M \sqrt{LC}}{d}, \quad (1)$$

where  $\rho_M$ ,  $e_M$  – the values of specific resistivity and specific energy of the meta;

$\nu_M$  – speed of loss of metal conductivity;

$C$  – the capacity of the condenser battery [F];

$U_0$  – charging voltage;

$Z$  – inductance of the circuit [H];

$d, l$  – diameter and length of the exploded conductor [m];

$n$  – is the number of exploding conductors.

Complex  $P_1$  takes into account the density of the introduced energy,  $P_2$  – matching of the contour and load,  $P_3$  – time of destruction of the wire (temporary changes in the explosion).

The first two complexes determine the explosion in the heating stage before the beginning of the destruction of the wire, since before the onset of failure the specific resistance of the conductor depends on the value of the specific energy input. At the stage of wire destruction, its resistance, due to a change in the cross section, increases, therefore, to describe the explosion at this stage, a third complex,  $P_3$ , was introduced. With the same value of the complexes,  $P_1 = P_1'$ ,  $P_2 = P_2'$ ,  $P_3 = P_3'$ , explosives blown in identical gas media at the same pressure, the explosions will be similar regardless of the initial parameters of the conductor and the discharge circuit.

It is difficult to work with complexes  $P_1, P_2, P_3$ , therefore, when studying the EVE of a single metal, the constants  $\rho_M, e_M, \nu_M$ , "are omitted" and we turn to the generalized variables [4]:

$$\varepsilon = \frac{cU_0^2 \cdot 10^{-18}}{n^2 d^4 Z}, \left[ \frac{ДЖ}{M^4 O_M} \right]; \lambda = \frac{l \cdot 10^{-6}}{n d^2 Z}, \left[ \frac{1}{O_M \cdot M} \right]; \vartheta = \frac{10^3 \cdot \sqrt{LC}}{d}, \left[ \frac{c}{M} \right] \quad (2)$$

With these variables it is possible to describe the functional dependences of the energy introduced into the conductor during the explosion and the energy released in the arc discharge stage, the energy transfer coefficient from the accumulator to the conductor, etc. However, it is difficult to work with the functional dependences of the three ( $\varepsilon, \lambda, \nu$ ) variables, therefore it was suggested by the authors of [1, 2] to accept the EEW in critical mode as the base mode (Figure A 3), and calculate the remaining modes with respect to it when only the length of the wire is changed.

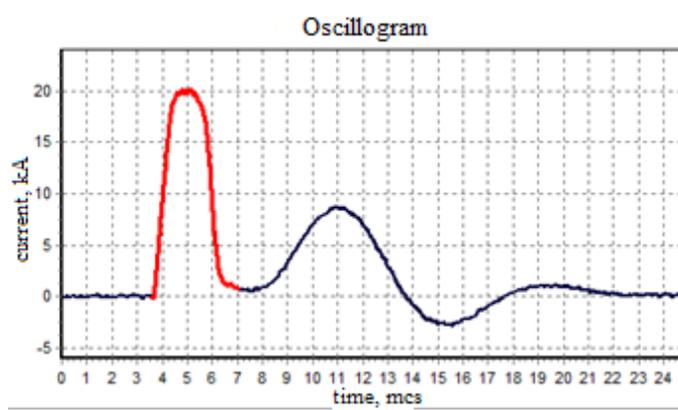


Figure A 3 – “Critical” mode of EEW  $\lambda = \lambda_c$

The functions for calculating the critical mode for the explosion of aluminum wires in air atmosphere have the form:

$$\begin{cases} \lambda_K = 2,5(\varepsilon \cdot v)^{0,53} \\ \eta_K = 36\varepsilon^{-0,5} \end{cases} \quad (3)$$

In the study of modes other than critical, the graphs of the dependence of the energy led to the conductor and the energy transfer coefficient from the storage ring to the conductor relative to the base mode-the critical mode (Figure A 4) are used to find the empirical equations.

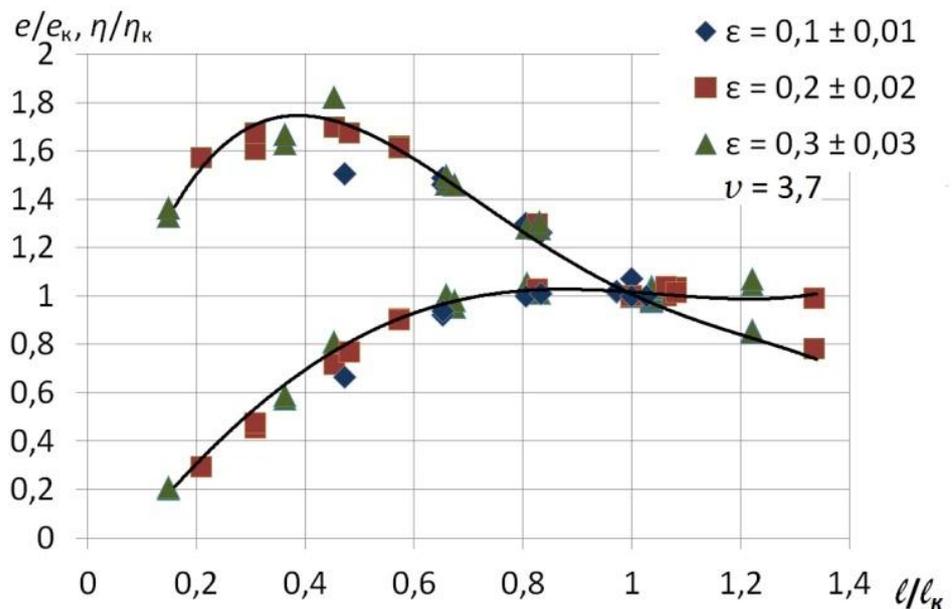


Figure A 4 – Dependence of the parameters of EEW in air at n.c. on the length of the exploded Al conductor

This technique allows you to calculate the initial explosion conditions for the selected metal in the air.

### **A 1.3 Influences of gas on the course of the EEW process**

Products of electric explosion of wire (aerosol) have properties of gas with rather high electrical strength. In the case of EEW in the paused current mode, the breakdown of the expanding products is carried out by the voltage remaining on the capacitor after the EEW. In this case, the arc discharge proceeds in the expanding products of the explosion. An increase in the pressure of the medium leads to an increase in its density, which in turn slows the expansion of the EEW products and leads to a delay in the development of the arc discharge and an increase in the pause time of the current. When carrying out the EEW in the mode without a pause of current, the arc discharge develops in the medium surrounding the dense products of the explosion. In some conditions, the breakdown voltage of the medium is so small that, because of its early breakdown, the conductor remains intact, the conductor is bridged by the medium [18].

Most of the equations that allow EEW calculation are valid for the experiments conducted in air [19] and argon [20].

In work [21], the influence of pressure of air, hydrogen, argon and helium on critical length of the blown-up copper conductor at the EEW constant parameters is investigated. The pressure of the gases was varied from  $1.7 \cdot 10^{-4}$  to 25 atm. and this simulated the same density of the working gas medium at different electrical strengths of gases, and vice versa. The results of the experiment (Figure A 5) revealed that:

1) in the field of gas density more than  $(10 - 3) \text{ g/cm}^3$  the dependence of critical length of the wire on density of the environment has the following appearance:

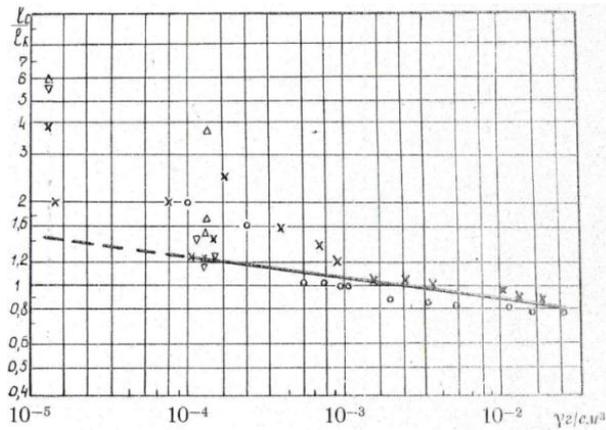
$$\frac{l_c}{l_a} = 0,65\gamma^{-0,08}, \quad (4)$$

where  $l_c$  – the critical length of the conductor in the chosen environment;

$l_a$  – the critical length of the conductor in air under normal conditions;

$\gamma$  – density of the environment, g/cm<sup>3</sup>;

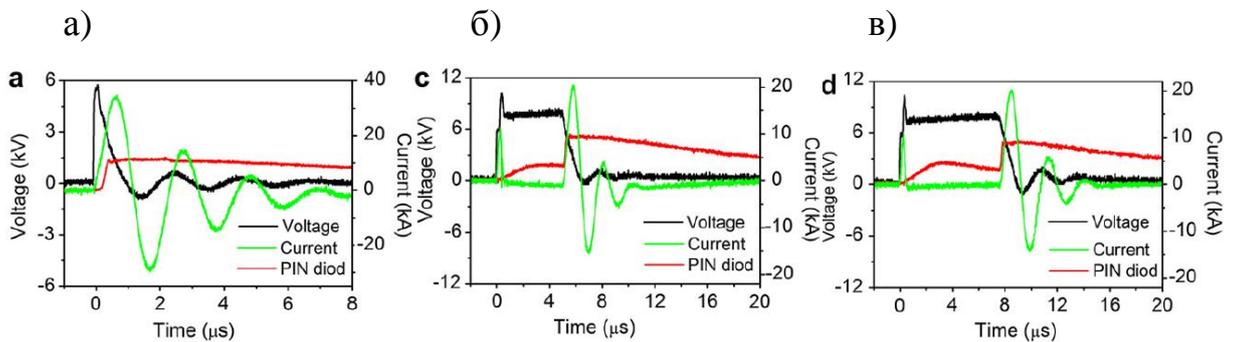
2) in the area  $\gamma < 10^{-3}$  g/cm<sup>3</sup> the dependence is broken; the critical length of the conductor is determined by the electrical strength of the surrounding medium.



$\Delta$  - argon; x –hydrogen; o – nitrogen; + - air;  $\nabla$  - helium [22]

Figure A 5 – Dependence of the critical length of the exploding conductor on the density of the surrounding gas

In turn, the authors of work [23] showed that the energy that is introduced into the conductor at explosion, and also the EEW mode is determined not by the density of the surrounding gas, but by its electric strength. The increase in the electrical strength of the gaseous medium leads to a delay in the ignition of the arc discharge stage and an increase in the energy introduced into the conductor (Figure A 6).



a) 100% – Ar, ( $e/e_c = 0.6$ ); b) 50% – Ar and 50% – N<sub>2</sub>, ( $e/e_c = 1.0$ );

c) 25% – Ar and 75% – N<sub>2</sub>, ( $e/e_c = 1.2$ )

$P = 0.5$  atm.;  $C = 1.85$  mkF;  $U_0 = 10$  kV;  $l = 61$  mm;  $d = 0.125$  mm

Figure A 6 – Osillograms of EEW Cu in various media

The empirical equations for calculation of length of the wire that provides the EEW critical mode in argon at selected pressure allowed more detailed examination of EEW Al by the author [24]:

$$l_c^{Ar} = 1,55 \cdot P^{-0,25} \cdot l_c^{air}, \quad (5)$$

where  $l_c^{Ar}$  – wire length in argon;

$l_c^{air}$  – critical length of the wire in air at n.c. (calculation by the equation – 4);

$P$  – argon pressure, atm.

In addition, equations for calculating the initial explosion conditions for the EEW of Al in the maximum energy level are proposed:

$$\text{Air n.c.} \left\{ \begin{array}{l} \lambda_{min} = 0,4\lambda_c \\ \eta_{min} = 0,7\eta_c \\ \left(\frac{e}{e_c}\right)_{max} = 5,03\varepsilon^{0,14} \nu^{-0,36} \end{array} \right. (6); \left\{ \begin{array}{l} \lambda_{min}^{Ar} = 2,15P^{-0,42} \cdot \lambda_{min}^{air} \\ \eta_{min}^{Ar} = 1,25P^{-0,11} \cdot \eta_{min}^{air} \\ \left(\frac{e}{e_c}\right)_{max}^{Ar} = 0,58P^{0,31} \left(\frac{e}{e_c}\right)_{max}^{air} \end{array} \right. , \quad (7)$$

Thus, using the similarity criteria and the empirical expressions obtained on their basis, it is possible to calculate the experimental parameters that provide the necessary mode of an explosion in air and argon.

#### **A 1.4 Influence of the gaseous medium on the EEW products**

The gas medium in which metal powders are produced has a significant influence not only on the explosion process itself, but also on the properties of the powders obtained. Dependences of phase composition of powders on type of the environment in which they were obtained [25] are given in Table A 1.

Table A 1 – Phase composition of nanopowders obtained by the method of EEW

Material of the exploded conductor	Medium	EEW end products
Al	Ar	Al
Al	Ar	Cu
Al	O <sub>2</sub> +Ar	$\gamma - Al_2O_3, \alpha - Al_2O_3, Al$
Cu	vapor H <sub>2</sub> O	Al, Al(OH) <sub>3</sub> , $\gamma - Al_2O_3$
W	Ar, H <sub>2</sub>	$\alpha$ -W, $\beta$ -W
W	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> +Ar, CH <sub>4</sub> +Ar	$\alpha$ -W, $\beta$ -W, W <sub>2</sub> C, WC <sub>1-x</sub>
W	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> , C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	WC <sub>1-x</sub>
Ti	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	$\alpha$ -Ti, $\beta$ -Ti
Fe	Ar	$\alpha$ -Fe, $\beta$ -Fe

A study of the phase composition of the NP steel showed [25] that with increasing molecular weight of the gas, the content of aluminum metal in powders decreased, but their dispersion increased. Thus, the content of aluminum in the samples was 94% for hydrogen gas, 87% for argon, and 80% for xenon. With the same dispersion, the samples of aluminum NP obtained by electric explosion in hydrogen contained 2-5% by weight. There is also an increase in the parameters of the crystal lattice  $a_0$  in comparison with compact aluminum (Table A 2), and this increase depends on the nature of the gaseous medium.

Table A 2 – The lattice parameter of aluminum NP samples

Sample №	Powder	Medium	$a_0$ , nm	Relatively compact Al, %
1	Al NP	H <sub>2</sub>	0.40515 – 0.40519	+(0.047 – 0.056)
2	Al NP	Ar	0.40507 – 0.40518	+(0.027 – 0.054)
3	Al NP	Xe	0.40523	+0.07
5	Compact Al	-	0.40496	100%

As the gas pressure increases, the average particle size increases, the particle size distribution becomes wider. Figure A 7 shows the dependence of the average particle diameter of Al powders on the density of the medium [26].

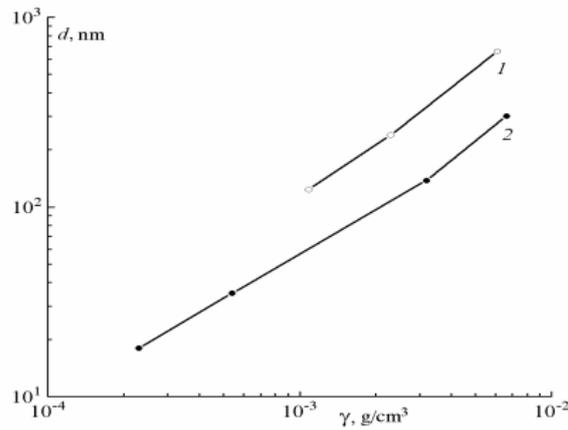


Figure A 7 – The experimental dependences of the introduced energy between the particle size of the Al powder and the density of the surrounding medium for  $w/w_S=0.7 - 0.75(1)$  and for  $w/w_S=1 - 1.1(2)$

It can be seen from Fig. 2.8 that, with increasing gas density, the average particle size also increases, and the larger the energy input level, with the same gas density, the smaller the particle size.

Data for the powders of copper obtained in N<sub>2</sub>, Ar, and the mixes Ar + He, Xe + He at identical levels of the energy introduced into the conductor are given in Table A 3 [26].

Table A 3 – Effect of gas on copper powders

№	$w/w_S$	gas	Density in n.c., kg /m <sup>3</sup>	$S$ , m <sup>2</sup> /g
1	0,8	N <sub>2</sub>	1,25	7,8
2	0,8	Ar	1,78	6,2
3	0,8	Xe + He	3,11*	5,8
4	1	N <sub>2</sub>	1,25	8,9
5	1	Ar + He	3,82*	6,3
6	1	Xe + He	3,11*	6

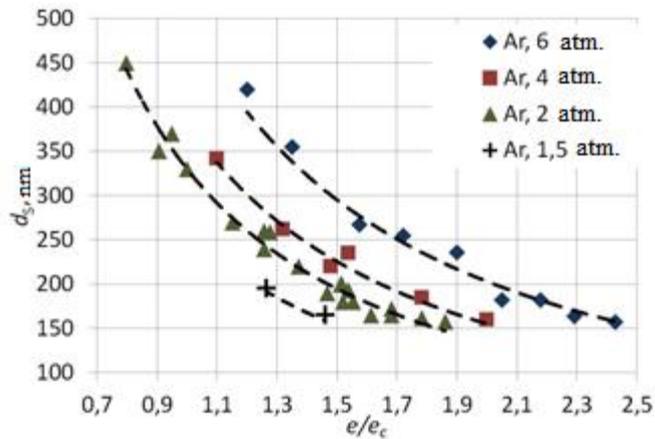
\* - calculation from a gas 1:1 ratio

At first sight:

1 The specific surface area of copper powders obtained in the same gases is determined by the energy level introduced into the conductor (see Sections 1, 4 and 3, 6).

2 As the gas density decreases, the specific surface area of the powder increases.

Figure A 8 shows the dependence of the average surface diameter of aluminum particles on the specific energy introduced into the conductor during the explosion when the argon pressure is changed from 1.5 to 6 atm. [24].



$$\text{EEW Al, } d = 0,35, 0,1 \leq \varepsilon \leq 0,35; 1,3 \leq \lambda \leq 2,6; v = 3,6;$$

Figure A 8 – Dependence of the average surface diameter of Al particles on the argon pressure and specific energy introduced into the wire during the explosion

Analysis of the results made it possible to establish that, with an equal level of energy introduced into the wire, the average particle size increases with increasing argon pressure, which agrees with the literature data [27, 28, 29].

Increasing the argon pressure makes it possible to increase the ratio  $e/e_c$ . This contributes to a further increase in the surface area of the resulting powders or to a decrease in the average surface diameter of the particles to 150 nm.

## 2.5 Conclusion – formulation of the objectives and tasks

Thus, despite the large amount of literature data on EEW in various gases and explosion properties, it is now possible to calculate the EEW only in the atmosphere of air and argon. Data on the course of EEW in helium is not sufficient (in other gases).

In addition, the study of the effect of gas on the properties of explosion products is also of a superficial nature, structural and disperse characteristics of

powders obtained under the same conditions of EEW are not established, but in different gas media.

The objective of this work is to investigate EEW in the helium atmosphere and to establish its influence on the energy characteristics of the explosion and dispersion, the phase composition of the obtained aluminum nanopowders.

Tasks:

1 To experimentally determine the parameters of the EEW of Al ( $C, U_0, L_c, l, d$ ), providing a critical explosion mode in the helium atmosphere and at a pressure of 1 to 4 atm. To establish the regularities of the change in the energy parameters ( $e/e_c, \eta, t_{EEW}, j$ ) of the critical explosion mode with a change in the composition and pressure of the gas.

2 To establish the quantitative dependences  $\lambda_k = f(\varepsilon, \nu), \eta_k = f(\varepsilon)$ , necessary for calculating the critical explosion parameters in the helium atmosphere at a given pressure.

3 To investigate the regularities of the flow of EEW in modes other than critical. Determine the character of the change in the energy parameters of the EEW during the transition from the EEW in argon to the EEW in helium.

4 To investigate the effect of helium on the physico-chemical properties of the nanopowders obtained (average particle size and their structural characteristics, chemical composition and their activity).

5 To compare properties for powders obtained under identical conditions in helium and argon.

## The list of the used sources

1 Yavorovsky N.A. Electrical explosion of the wires – a method for obtaining ultrafine powders: dis. cand. tech. sciences. Tomsk, 1986. – 127 p.

2 Lerner M.I. Fundamentals of production technology and some applications of electrospray nanopowders inorganic materials: dis. Dr. techn. sciences. Tomsk, 2007. – 325 p.

3 Yavorovsky N.A. Production of ultradisperse of powders by method of electric explosion of wire / N.A. Yavorovsky // Izv. universities. Physics. – 1996. – №4. – P. 114 – 136.

4 Yavorovsky N.A. Production of ultrafine of powders by method of electric explosion of wire. Journal of Physics, 1994, No. 4, Publication of the Tomsk State University. 114 – 136 p.

5 Sedoy V.S. Investigation of electrical explosion of conductors and its application in electrophysical installations: dis. Dr. techn. sciences. Tomsk, 2003. – 235 p.

6 Bakulin Yu.D. Magnetohydrodynamic calculation of exploding conductors / Y.D. Bakulin, V.F. Kuropatenko, A.V. Luchinsky // Journal of Technical Physics. – 1976. – T.46. – Issue 9. – Page 1963 – 1969.

7 Kim I. Magnetohydrodynamic behavior of warm dense plasmas created by underwater wire explosion / I. Kim, D. K. Kim, S. H. Baek and S. Y. Song // 33<sup>rd</sup> EPS conference on plasma phys. Rome. – 2006. – Vol. 301. – P. 5.064.

8 Ivanenkov G.V. A review of the literature on modeling the processes of electric explosion of thin metal wires. Preprint №10 / Ivanenkov G.V, Pikuz S.A, Shelkovenko T.A. and others - Part 2 – M.: The PN Lebedev Physical Institute. Lebedev, – 2004. – 30 p.

9 Kotov Yu.A., Bagazeev A.V. Some characteristics of the electrical explosion of zinc wire. Institute of Electrophysics, Ural Branch of RAS, Yekaterinburg, 2010.

10 Pustovalov A.V. Preparation of aluminum nanopowders by the electric explosion of wire / A.V. Pustovalov // Modern techniques and technologies. Tr. XV Intern. scientific and practical work. Conf. students and young scientists. - Russia. - Tomsk. – 4 – 8 May 2009. – P. 525 – 527.

11 Kotov Yu.A. Influence of the characteristics of the environment on the length of the conductor, providing current disconnection / Y.A. Kotov, V.S. Sedoy, V.P. Sergienko // High-voltage engineering and electrical strength of insulation. – Tomsk: TPI. – 1978. – P. 74 – 77.

12 Sedoy V.S. Some regularities of electrical explosion of conductors / V.S. Gray-haired // ZhTF. – 1976. – №. 8. – P. 1707 – 1710.

13 Pustovalov A.V. Electrical explosion of iron of the wires in an air atmosphere, Ar, CO and CO<sub>2</sub> / A.V. Pustovalov, S.P. Zhuravkov // Modern engineering and technology. Tr. XVII Intern. scientific and practical work. Conf. students and young scientists. – Russia. – Tomsk. – April 18 – 22, 2011. P. 433 – 434.

14 Sedoy V.S Investigation of the breaking characteristics of electrically exploding conductors: dis. cand. tech. sciences. Tomsk, 1975. – 165 p.

15 Qing Zhou. Effect of medium on deposited Energy in microsecond electrical explosion of wires / Qing Zhou, Qiaogen Zhang, Wenyu Yan, Xuandong Liu, Jun Zhang, Junping Zhao and Lie Pang // IEEE Transactions on Plasma Science – 2012. – Vol. 40. – № 9. – P. 2198 – 2204.

16 Pustovalov A.V. Fabrication of silver nanopowders by the method of electrical explosion of wires / N.A. Yavorovski, A.V. Pustovalov, S.P. Zhuravkov // IV Int. Seminar “Nanotechnology, energy, plasma, lasers (NEPL-2010)”. – Russia. – Tomsk. – 25-31 October 2010. – P. 43 – 44.

17 Proskurovskaya L.T. Physicochemical properties of electric explosive ultrafine powders: Tomsk, 1998. – 155 p.

18 V.S. Sedoi and N.A. Yavorovsky Controlled Synthesis of Nanopowders via Electrical Explosion of Wires.: Tomsk, Russia – 2008.

19 Kotov Yu. A. The Electrical Explosion of Wire: A Method for the Synthesis of Weakly Aggregated Nanopowders/ Yu. A. Kotov // Nanotechnologies in Russia. – 2009. – Vol. 4, – Nos. 7–8. – P. 415 – 424.

20 Lerner M.I. Control of the process of formation of highly dispersed particles in the conditions of electrical explosion of conductors: dis. cand. tech. sciences. Tomsk, 1987. – 161 p.

21 Glazunov G.P. Some properties of finely dispersed powders are obtained by electric explosion of wire in a high-pressure gas. Glazunov, V.P. Kantsedal, L.A. Kornienko et al. // Questions of Atomic Science and Technology. – 1978. – Vol. 1 (1). - P. 21 – 24.