

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

---

Институт Физико-технический  
Направление подготовки 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»  
Кафедра Техническая физика

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Исследование процесса формирования дисперсной фазы из гетерогенной плазмы в магнитном поле

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3Д	Шикерун Кирилл Тимофеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Мышкин В.Ф.	к.ф.-м.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меньшикова Е.В.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
«Техническая физика»	Шаманин И.В.	д.ф.-м.н.		

Томск – 2017

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП**

<b>Код результата</b>	<b>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</b>
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P1	Способность проводить математическое моделирование процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.
P2	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов.
P3	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок.
P4	Готовность к разработке проектной и рабочей технической документации, оформление законченных проектно-конструкторских работ.
P5	Готовность к проведению предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов.
P6	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем.
P7	Готовность к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.
P8	Готовность разрабатывать способы применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.
P9	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
P10	Способность понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны.

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

---

Институт ФТИ  
Направление подготовки 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»  
Кафедра Техническая физика

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой  
Шаманин И.В.

**ЗАДАНИЕ**  
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А3Д	Шикерун Кирилл Тимофеевич

Тема работы:

Исследование процесса формирования дисперсной фазы из гетерогенной плазмы в магнитном поле

Утверждена приказом ректора (дата, номер)

№ 769/с от 13.02.2017 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

09.06.2017 г.

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Будет сконструирована установка для исследования влияния магнитного поля на процесс нуклеации в дуговом разряде плазмы.
---------------------------------	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p>	<p>При разработке бакалаврской работы должны быть рассмотрены следующие вопросы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Изучить и проанализировать литературу по результатам исследования процесса формирования дисперсных частиц в гетерогенной плазме.</li> <li>2. Провести сопоставительный анализ гранулометрических составов частиц КДФ, образующихся из дуговой плазмы, содержащей пары меди и диоксида кремния, в постоянном магнитном поле и без поля.</li> <li>3. Экономическое обоснование проведения НИР.</li> <li>4. Выводы по работе. Заключение</li> </ol>
--	---

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
Экспериментальная часть	Профессор кафедры «Техническая физика» Мышкин В.Ф.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент кафедры «Менеджмента» Меньшикова Е.В.
Социальная ответственность	Ассистент кафедры «Прикладная физика» Гоголева Т.С.

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>12.05.2017 г.</p>
--	----------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ТФ ФТИ	Мышкин В.Ф.	к.ф-м.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3Д	Шикерун К.Т.		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0А3Д	Шикерун Кирилл Тимофеевич

<b>Институт</b>	<b>ФТИ</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ТФ</b>
<b>Уровень образования</b>	бакалавр	<b>Направление</b>	14.03.02 «Ядерные физика и технологии»

<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>	
1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Иерархическая структура работ
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	SWOT-анализ

<b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</b>	
1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i> 2. <i>Матрица SWOT</i> 3. <i>Альтернативы проведения НИ</i> 4. <i>График проведения и бюджет НИ</i> 5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>	

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
доценткафедры «менеджмента»	Е.В. Меньшикова	к.ф.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0А3Д	Шикерун Кирилл Тимофеевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0А3Д	Шикерун Кирилл Тимофеевич

<b>Институт</b>	<b>ФТИ</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ТФ</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление</b>	14.03.02 «Ядерная физика и технологии»

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:</i>	– вредных факторов производственной среды: повышенный уровень электромагнитных полей, отклонение показателей макроклимата от оптимальных, ионизирующее излучение от ПЭВМ, шум, вибрация; – опасных факторов производственной среды: вероятность возникновения пожара, вероятность поражения электрическим током.
<i>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме:</i>	– электробезопасность; – пожарная безопасность; – требование охраны труда при работе с ПЭВМ и ВЧФ-плазмотрона.
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<i>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i>	– действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).
<i>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i>	– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожар взрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент кафедры ПФ ФТИ	Гоголева Татьяна Сергеевна	к.ф.-м.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0А3Д	Шикерун Кирилл Тимофеевич		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 69 страниц, 7 рис., 13 табл., 35 источников, 37 формул.

Ключевые слова: нуклеация, дисперсная фаза, магнитное поле.

Объектом исследования является процесс образования дисперсной фазы в разряде гетерогенной плазмы в магнитном поле.

Цель работы – провести сопоставительный анализ гранулометрических составов частиц КДФ, образующихся из дуговой плазмы, содержащей пары меди и диоксида кремния, в постоянном магнитном поле и без поля.

В процессе исследования изучались системы углерод + оксид железа, медь + диоксид кремния. Железо и его оксиды являются ферромагнетиками, а медь – диамагнетик.

В результате исследования установлено, что образующиеся без магнитного поля частицы окружены оболочкой с рыхлой структурой. В магнитном поле формируются частицы, содержащие  $\text{Cu} + \text{SiO}_2$ , с резкими очертаниями, диаметр которых в 3-4 раза больше.

Ферромагнитные частицы в магнитном поле формируют частицы в виде пластинок, более 10 раз превышающих размер частиц, образующихся без поля.

Область применения: результаты НИР в рамках выпускной работы могут быть использованы при формировании порошков заданной дисперсности.

## Определения

**Плазма** – частично или полностью ионизированный газ, образованный из нейтральных атомов (или молекул) и заряженных частиц (ионов и электронов). Важнейшей особенностью плазмы является ее квазинейтральность, что означает, что объемные плотности положительных и отрицательных заряженных частиц, из которых она образована, оказываются практически одинаковыми.

**Нуклеация** – это первая по времени наступления стадия фазового перехода. На ней образуется основное число устойчиво растущих зародышей новой, стабильной фазы из исходной метастабильной фазы.

## **Сокращения и обозначения**

КДФ – конденсированная дисперсная фаза

ВГ – верхняя граница

НГ – нижняя граница

## Содержание

Реферат .....	7
Определения .....	8
Сокращения и обозначения.....	9
1. Обзор литературы .....	14
1.1 Теория нуклеации.....	14
1.2 Исследование процессов образования жидко-капельного аэрозоля и дисперсных частиц.....	17
1.3 Исследование нуклеации сопровождающей процесс гетерогенного горения .....	20
1.4 Современные методы исследования аэрозольных частиц .....	22
2. Анализ процесса нуклеации в дуговом разряде плазмы.....	25
2.1 Экспериментальная установка.....	25
2.2 Порядок выполнения исследований .....	26
2.3 Экспериментальные результаты .....	28
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... 32	
3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	32
3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	33
3.1.2. Анализ конкурентных технических решений.....	33
3.1.2 SWOT-анализ.....	35
3.2 Планирование научно-исследовательских работ .....	37
3.2.2 Определение трудоемкости выполнения НИР .....	39
3.2.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	40

3.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	42
3.3.1 Расчет материальных затрат .....	42
3.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ .....	44
3.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы .....	44
3.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	47
3.3.5 Расчет затрат на научные и производственные командировки .....	47
3.3.6 Контрагентные расходы .....	48
3.3.7 Накладные расходы .....	48
3.3.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .....	49
3.4 Определение ресурсоэффективности исследования .....	50
4. Социальная ответственность .....	53
4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов .....	54
4.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ... 55	
4.2.1 Организационные мероприятия .....	55
4.2.2 Технические мероприятия .....	56
4.2 Условия безопасной работы .....	58
4.3 Электробезопасность.....	61
4.4 Пожарная и взрывная безопасность .....	62
Выводы .....	65
Заключение .....	66
Список использованных источников .....	67

## Введение

Низкотемпературная неравновесная плазма позволяет проводить процессы получения новых молекул, сфероидизации порошка, формирование пленок (в том числе алмазоподобных) с высокой эффективностью. Также известны различные методы плазменного разделения изотопов.

Большинство указанных процессов протекают с образованием конденсированной дисперсной фазы (КДФ). При этом параметры процесса формирования частиц КДФ и плазменной системы взаимно влияют друг на друга. Например, при образовании частиц КДФ выделяется теплота фазового перехода – плазма разогревается. Испарение частиц наоборот, обуславливает охлаждение плазмы. Также следует учитывать, что частицы КДФ в низкотемпературной плазме (в особенности неравновесной) приобретает электрический заряд. Скорость накопления заряда зависит как от материала, так и от его диаметра. Захват свободных электронов дисперсными частицами обуславливает изменение подвижности зарядов.

Таким образом, появление или изменение размеров дисперсных частиц напрямую влияет на электрофизические характеристики плазмы (проводимость, диэлектрическая проницаемость). Изменение электрофизических параметров плазмы сопровождается изменением энерговклада и кинетики целевого процесса. Поэтому поиск путей нетеплового управления гранулометрическим составом частиц КДФ является актуальной задачей.

Известно, что магнитное поле может изменить как скорость химической реакции, так и скоростью роста или растворения кристаллов в воде. В связи с этим поставлена следующие цель и задачи.

Цель: Исследование влияния внешнего постоянного магнитного поля на частоту формирования кластеров и образование аэрозольных частиц из низкотемпературной плазмы, содержащей пары диамагнитного металла и диоксида кремния.

Задачи исследования:

1. Изучить и проанализировать литературу по результатам исследования процесса формирования дисперсных частиц в гетерогенной плазме.

2. Провести сопоставительный анализ гранулометрических составов частиц КДФ, образующихся из дуговой плазмы, содержащей пары меди и диоксида кремния, в постоянном магнитном поле и без поля.

## **1. Обзор литературы**

### **1.1 Теория нуклеации**

Нуклеация - это фазовый переход первого рода. Нуклеация происходит в исходной метастабильной фазе в результате флуктуационного образования и роста зародышей (кластеров) новой фазы. Чтобы появился микроскопический зародыш, необходима энергия для формирования поверхности раздела между старой и новой фазами. Необходимость создания избыточной энергии приводит к гистерезисным явлениям: переохлаждению (или перегреву) расплавов и растворов относительно равновесной точки плавления, переохлаждению газов, перенапряжению при электро-осаждении пленок и т.д. [1].

Впервые процесс образования новой фазы теоретически описал в 1878 г. Гиббс. Он дал строгое термодинамическое определение критических зародышей новой фазы и заложил основы формализованного описания скорости нуклеации. Позднее Фольмер количественно описал рост зародышей новой фазы при кристаллизации. Он ввел понятия о трех- и двумерных зародышах новой фазы и связал их флуктуационное возникновение со скоростью зародышеобразования и скоростью кристаллизации[2].

Чтобы метастабильная, по определению Гиббса, система приобрела устойчивость, необходимо накопить энергию, достаточную для создания межфазной поверхности раздела. Свободная энергия образования кластеров, фигурирующая в ряде термодинамических соотношений, является одним из основных параметров в теории зародышеобразования. Макроскопический подход, в котором используют представления термодинамики и статической физики, разработанные применительно к системам, состоящим из большого числа молекул, позволяет количественно описать нуклеацию[3].

Изменения свободной энергии Гиббса ( $\Delta G$ ) при образовании кластера из  $n$  молекул в замкнутой системе, содержащей пар при температуре  $T$  и давлении  $p$ , в капельном приближении может быть записано в виде:

$$\Delta G = n(\mu_1 - \mu_v) + 4\pi r^2 \sigma, \quad (1)$$

где  $\mu_1$  и  $\mu_v$  - удельные объемы молекул в жидкой и паровой фазах соответственно,  $r$  - радиус кластера,  $\sigma$  - поверхностное натяжение. Первое слагаемое в правой части уравнения (1) в изотермических условиях можно оценить из соотношения:

$$d(\mu_1 - \mu_v) = (v_1 - v_v)dp_v, \quad (2)$$

где  $v_1$  и  $v_v$  - удельные объемы молекул в жидкой и паровой фазах соответственной,  $p_v$  - давление пара [4]. Если пар рассматривать как идеальный газ и пренебречь объемом молекулы в конденсированной фазе, то после интегрирования уравнения (2) получим:

$$\mu_1 - \mu_v = -k_B T \ln S, \quad (3)$$

где  $k_B$  - постоянная Больцмана,  $S = \frac{p_v}{p_0}$  - пересыщение, ( $p_0$  - равновесное давление пара над плоской границей раздела при температуре  $T$ ). Полагая, что зародыши новой фазы сохраняют макроскопические физико-химические свойства суммарную работу образования достаточно больших зародышей в капельном приближении можно выразить как сумму поверхностного и объемного изменений свободной энергии Гиббса [5]. Тогда изменение свободной энергии при образовании зародыша:

$$\Delta G = 4\pi r^2 \sigma - nk_B T \ln S, \quad (4)$$

где  $n = \left(\frac{4}{3}\right)\left(\frac{\pi r^3}{v_l}\right)$ . Зародыш жидкости может вырасти в каплю только при достижении им размера, превышающего критический радиус  $r^*$ . Слагаемые в уравнении (4) по-разному зависят от  $r$  при  $S > 1$  имеют противоположные знаки. Поэтому зависимость  $\Delta G$  от  $r$  проходит через максимум. Свободная энергия образования кластера критического размера

$$\Delta G = -\frac{4}{3}\pi(r^*)^3 \frac{k_B T \ln S}{v_1} + 4\pi(r^*)^2 \sigma. \quad (5)$$

В точке максимума  $r = r^*$  и  $\frac{d(\Delta G)}{dr} = 0$ . Отсюда легко найти радиус критического зародыша:

$$r^* = \frac{2\sigma v_1}{k_B T \ln S}. \quad (6)$$

Уравнение (6) позволяет определить равновесное давление насыщенных паров над каплей радиусом  $r^*$  как функцию пересыщения исходного пара и размер кластера. Из уравнений (5) и (6) получаем:

$$\Delta G^* = \frac{4}{3} \pi (r^*)^2 \sigma. \quad (7)$$

В капельном приближении  $\Delta G^*$  равно одной трети поверхностной энергии кластера. Исключив  $r^*$ , получим другую форму того же выражения:

$$\Delta G^* = \frac{16}{3} \frac{\pi \sigma^3 v_1^2}{(k_B T \ln S)^2}. \quad (8)$$

Динамику образования капель при давлениях, близких к равновесному давлению пара над плоской поверхностью, можно представить следующим образом. При  $p < p_0$  свободная энергия образования кластера быстро возрастает с увеличением его размера [6]. В системе в этих условиях могут существовать кластеры любых размеров, однако обычно присутствуют в основном мельчайшие из них. При  $p > p_0$  число ядер размером меньше  $r^*$  подвержено случайным флуктуациям. Когда ядро достигает критического размера, любая благоприятная флуктуация приводит к его бесконечному росту. Далее проблема сводится к оценке скорости (частоты) образования ядер критического размера [7].

Скорость нуклеации  $J$  определяется числом жизнеспособных зародышей, образующихся в единицу объема за единицу времени. В соответствии с классической теорией

$$J = \beta Z s^* c_{n^*} = 2v_1 \zeta_c \sqrt{\sigma} \frac{N^2}{\sqrt{2\pi m}} \exp\left(-\frac{\Delta G^*}{k_B T}\right), \quad (9)$$

где  $\beta$  – поток конденсирующихся мономеров;  $Z$  – неравновесный фактор Зельдовича;  $s^*$  – поверхность критического зародыша;  $c_{n^*}$  – концентрация критических зародышей;  $\zeta_c$  – коэффициент конденсации,

определяемый отношением числа молекул, сконденсировавшихся на поверхности зародыша, к общему числу соударений молекул.

## **1.2 Исследование процессов образования жидко-капельного аэрозоля и дисперсных частиц**

Формирование дисперсных частиц начинается с ядер конденсации, которые являются нестабильными кластерами атомов.

Кластеры как система связанных атомов является физическим объектом, представляющим интерес как в фундаментальном, так и в прикладном отношении. Использование потока кластеров удобно для их генерации и применения. Это обеспечивает высокую скорость генерации кластеров и их доставку в место, где они используются [8].

Кластерный поток используется для образования тонких пленок, для получения новых материалов, особенно, в которых кластеры внедрены в однородную матрицу в виде нанометровых зерен [9].

Большие кластеры могут находиться в твердом и жидком агрегатном состоянии. Твердый кластер более интересен как физический объект, поскольку его параметры зависят от размера кластер (или числа атомов в нем). При оптимальном размере кластер имеет замкнутую структуру. Если число атомов в нем увеличит или уменьшить на единицу, то энергия связи поверхностного атома, потенциала ионизации, а также другие параметры уменьшатся. Это значит, что параметры твердого кластера являются функциями его размера и имеют экстремумы при определенном числе атомов в нем.

Когда кластер плавится, он теряет кристаллическую структуру и вместе с ней теряется экстремум функции параметров кластера. В результате плавления образуется бесформенная частица, которую удобно моделировать

жидкой каплей. Более того, можно считать плотность такого кластера равной плотности макроскопической жидкости [6]. Тогда радиус кластера:

$$r(n) = r_w n^{1/3}, \quad (10)$$

где  $n$  - число атомов в кластере,  $r_w$  - радиус Вигнера-Зейтца:

$$r_w = \left(\frac{3m}{4\pi\rho}\right)^{1/3}, \quad (11)$$

В отличие от твердых кластеров параметры жидких кластеров монотонно зависят от их размеров. Полная энергия связи атомов в кластере определяется формулой:

$$E(n) = \varepsilon_0 - An^{2/3}, \quad (12)$$

где  $\varepsilon_0$  - приходящаяся на один атом энергия сублимации макроскопической системы, второе слагаемое в правой части формулы включает поверхностную энергию, которая может быть выражена через поверхностное натяжение макроскопической системы. Формулу (12) можно рассмотреть как разложение энергии кластера по малому параметру  $\sim n^{1/3}$ . При этом мы считаем, что энергия связи атома  $\varepsilon_0$  велика по сравнению с тепловой энергией атомов [10].

Таким образом можно предположить, что энергии связи атома в кластере при температуре плавления и нулевой температуре одинаковы. В дальнейшем температурной зависимостью параметров  $\varepsilon_0$  и  $A$  в формуле (13) будем пренебрегать.

Энергия связи в жидком кластере:

$$\varepsilon_n = \frac{dE(n)}{dn} = \varepsilon_0 - \frac{\Delta\varepsilon}{n^{1/3}}, \quad \Delta\varepsilon = \frac{2}{3}A \quad (13)$$

Энергия связи атома в кластере при бесконечном увеличении его размера стремится к величине  $\varepsilon_0$ , соответствующей макроскопической частице, однако вклад поверхностной энергии в энергию связи кластера заметен даже для больших кластеров [11]. Причина состоит в развитой поверхности кластера; поскольку заметная часть его атомов находится на этой поверхности или вблизи нее, поверхностные явления играют важную роль

для кластеров. Отсюда следует, что параметры больших кластеров, представленные в виде разложения по малому параметру  $n^{-1/3}$ , зависят от его размера. Кроме того, разложение упрощает анализ свойств кластеров [12].

Модель жидкой капли позволяет анализировать кинетические параметры большого жидкого кластера, находящегося в газе или плазме. В частности, в рамках этой модели сечение прилипания атома к поверхности кластера:

$$\sigma(n) = \pi r^2 \quad (14)$$

В (14) использованы предположения, что каждый контакт налетающего атома с поверхностью кластера приводит к прилипанию атома и радиус действия атомных сил мал по сравнению с радиусом кластера, так что та формула справедлива для больших кластеров [13]. Отсюда для скорости прилипания атомов к поверхности кластера получается:

$$v(n) = Nv\sigma(n) = Nk_0n^{2/3}, \quad (15)$$

где  $N$  - плотность атомов,  $v$  - средняя скорость атомов,  $\sigma(n)$  - сечение прилипания атома к кластеру, состоящему из  $n$  атомов, в соответствии с формулой (15). Приведенная константа скорости прилипания атома к кластеру составляет

$$k_0 = \sqrt{\frac{8T}{\pi m}} \pi r_W^2, \quad (16)$$

В силу простой температурной зависимости этот параметр является универсальной величиной для кластеров данного типа.

Процесс прилипания атома к поверхности кластера противоположен по отношению к процессу испарения атома с поверхности кластера, так что эти процессы описываются уравнением:

$$M_n + M \leftrightarrow M_{n+1}, \quad (17)$$

где  $M$  – атом. Поэтому скорость испарения может быть выражена через константу скорости прилипания атомов (17) на основе принципа детального равновесия.

Таким образом, модель капли позволяет описать свойства больших жидких кластеров и их поведение в собственном атомном паре[14].

### **1.3 Исследование нуклеации сопровождающей процесс гетерогенного горения**

В изотермическом приближении рассмотрены особенности нуклеации ионизированных продуктов горения мелких частиц Al, Mg, Zr, Fe, Ti в условиях ламинарного пылевого пламени при атмосферном давлении. В условиях, близких к экспериментальным, конденсация продуктов газофазного горения этих металлов является «быстрой». Описание «быстрого» режима нуклеации требует нестационарного подхода и знания кинетики образования зародышей конденсированной фазы и не нуждается в детальном анализе влияния параметров среды на свободную энергию образования малых зародышей. Характерное время нуклеации продуктов газофазного горения частиц металлов на несколько порядков меньше времени пребывания продуктов в зоне горения пылевого пламени. Это позволяет рассматривать коагуляцию как основной процесс, определяющий дисперсность первичных частиц продуктов сгорания металлов[15].

Причиной быстрой нуклеации продуктов газофазного горения металлов в пылевых пламенах является влияние размерных и электрических эффектов на свободную энергию образования зародышей. В режиме быстрой нуклеации на первый план выходит задача определения кинетики образования зародышей конденсированной фазы в результате, как правило, тройных столкновений молекул или протекания химических реакций. В исследованных системах в области констант скорости тройных столкновений характерное время нуклеации много меньше времени горения частицы металла, т. е. большую часть времени пребывания микропламени в зоне

горения частицы оксидов металлов растут в результате коагуляции частиц. Причем скорость нуклеации выше скорости образования мономеров, которая ограничивает процесс конденсации. На стадии нуклеации практически «мгновенно» формируется начальная аэрозоль с некоторой концентрацией и размером зародышей. Как известно, при больших временах коагуляции концентрация частиц коагулирующего аэрозоля слабо зависит от их начальной концентрации. Это свойство коагуляции с большой долей уверенности позволяет утверждать, что при выполнении условия  $t \gg \tau$  кинетика процессов, предшествующих коагуляции частиц конденсированной фазы, не влияет заметно на конечную концентрацию частиц продуктов сгорания. Другими словами, механизм нуклеации (при прочих одинаковых условиях) — гомогенная, гетерогенная, химическая — не должен оказывать существенного влияния на дисперсность первичных сферических глобул оксидов металлов, если время нуклеации мало по сравнению с временем коагуляции. Время коагуляции определяется не только временем пребывания частицы в зоне горения пламени, но и некоторыми другими факторами, например, ранней остановкой коагуляции заряженных частиц в результате кулоновского отталкивания [16].

Для выявления закономерностей фазообразования в пылевых пламенах металлов необходимо основные усилия сосредоточить на исследовании коагуляции зародышей, образовавшихся на стадии нуклеации. Учитывая высокие температуры горения металлов, необходимо исследовать роль ионизации двухфазной среды в формировании дисперсных свойств продуктов сгорания и их зависимости от параметров пламени.

## 1.4 Современные методы исследования аэрозольных частиц

Определение параметров капель распыливаемой жидкости или твёрдых частиц является важной задачей современной техники. Эти данные необходимы для выбора режима работы или создания распыливающих устройств. Применяемые в настоящее время методы измерения различных характеристик аэрозолей отличаются большой трудоёмкостью и малой информативностью. Существующие способы определения дисперсности конденсированной фазы в потоке можно условно разделить на две основные группы:

- 1) основанные на определении параметров частиц в пробах, отобранных из потока;
- 2) основанные на определении размеров частиц непосредственно в потоке.

Методы отбора проб применяются достаточно широко, однако при больших скоростях потока и трансформации дисперсного состава во времени использование их весьма затруднительно из-за необходимости обеспечивать представительность отобранных проб. Одним из основных недостатков этих методов является нарушение потока, вызывающее сепарацию капель [17].

Ко второму типу способов исследования аэрозолей относятся оптические методы, основанные на явлениях рассеяния и поглощения света, проходящего в аэрозоле. Они позволяют определять дисперсность двухфазных систем непосредственно в потоке.

Безотборное определение дисперсности частиц грубого аэрозоля в настоящее время основано на использовании лазерных счетчиков частиц. В основе работы таких приборов лежат теории рассеяния света Фраунгофера и Ми. В основу работы анализатора дисперсности положено прямое измерение размеров частиц по их тени, которая образуется при пересечении частицы тонкого светового (лазерного) луча. Основным преимуществом таких

анализаторов является определение параметров неискаженного аэрозоля, быстрота получения результатов по большому числу фракций размеров частиц [18].

Форма частиц КДФ является важной характеристикой аэрозоля. Лазерный анализатор определяет форму частиц среднего размера по отношению максимального к минимальному среднему размеру частицы. Использование же цифровой микроскопии позволяет определять форму частиц пыли.

Для описания аэрозолей используется логарифмически нормальное распределение применимое для большинства систем:

$$f(d) = \frac{1}{\sqrt{2\pi d \ln \beta}} \exp\left[-\frac{(\ln d - \ln d_g)^2}{2 \ln^2 \beta}\right], \quad (18)$$

$$\ln d_g = \overline{\ln d}, \quad (\ln \beta)^2 = (\ln d - \ln d_g)^2,$$

где  $d_g$  – средний геометрический (медианный) размер частицы, представляющий одновременно размер частиц, по которому все количество частиц делится на равные части;  $\beta$  - стандартное геометрическое отклонение.

Зависимость  $f(d)$  есть счетная дифференциальная кривая распределения размеров частиц, показывающая счетную долю числа частиц, размеры которых лежат в пределах  $(d, d + \delta d)$ ,  $m^{-1}$ .

Одним из бесконтактных методов измерений параметров многофазных потоков являются оптические методы, основанные на наблюдении за прошедшим через поток зондирующим излучением. По характеристикам преломленного, ослабленного либо отраженного излучения можно оценивать изменение дисперсности жидкой фазы и ее концентрации [20].

Метод спектральной прозрачности определения дисперсности частиц относится к обратным задачам оптики аэрозолей. Устойчивое решение задачи по определению параметров аэрозоля для метода спектральной прозрачности возможно, если прозрачность определена на всём интервале длин волн. Однако, в известных на сегодняшний день приборах реализовано измерение коэффициента спектральной прозрачности лишь на нескольких

длинах волн, либо на некотором участке длин волн без селекции, что, несомненно, уменьшает точность и возможности метода.

Технология реализации метода спектральной прозрачности связана с использованием тепловых источников зондирующего излучения в сочетании со сканирующими спектральными приборами.

МСП основан на измерении спектрального коэффициента пропускания оптического излучения двухфазным потоком в некотором диапазоне длин волн. Исходным для МСП является уравнение:

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \exp\left[-\frac{\pi C_n l}{4} \int_0^\infty Q\left(\frac{\pi D}{\lambda}, m\right) D^2 f(D) dD\right], \quad (19)$$

где  $I(\lambda)$  - интенсивность прошедшего через аэрозоль излучения;  $I_0(\lambda)$  - интенсивность зондирующего излучения;  $C_n$  - счетная концентрация конденсированной фазы аэрозоля;  $l$  - длина оптического пути;  $Q$  - фактор эффективности ослабления зондирующего излучения;  $D$  - диаметр частиц;  $\lambda$  - длина волны зондирующего излучения;  $m$  - комплексный показатель преломления конденсированной фазы аэрозоля;  $f(D)$  - функция распределения частиц по размерам [21].

Предлагаемая реализация метода спектральной прозрачности предполагает определение коэффициента спектральной прозрачности в широком диапазоне длин волн и решение обратной задачи оптики аэрозолей методом параметризации. Такая модернизация метода позволяет определять параметры субмикронных и микронных аэрозолей (в зависимости от применяемого диапазона частот зондирующего излучения) с приемлемой точностью и надёжностью.

## 2. Анализ процесса нуклеации в дуговом разряде плазмы

### 2.1 Экспериментальная установка

Для изучения влияния внешнего постоянного магнитного поля на условия формирования диамагнитных частиц конденсированной фазы была использована установка, в состав которой входили дроссель и высоковольтный повышающий трансформатор (рисунок 1). Горизонтально ориентированный электрод из меди находился на расстоянии 5 мм от второго медного электрода. Диаметр электродов составлял 3 мм. На одном из электродов располагалась стеклянная трубка с внутренним диаметром 4 мм.

Принципиальная электрическая схема установки приведена на рисунке 2. При переменном (50 Гц) электрическом токе 0,8 А мощность высоковольтной дуги составляла 4 кВт. Постоянное магнитное поле величиной 30 мТл ориентировали вдоль электрической дуги. Трехмерное изображение экспериментальной установки приведено на рисунке 2. Образующиеся дисперсные частицы осаждали на стеклянную пластинку с алюминиевым напылением. Указанная пластина находилась над дугой в течении не более 3 сек.

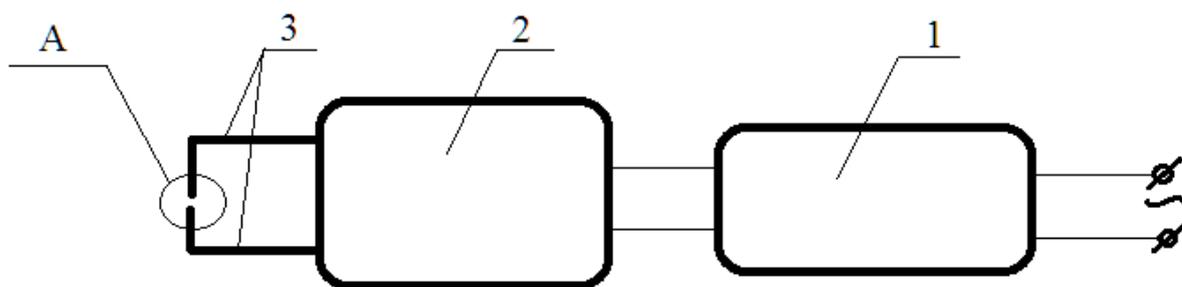


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

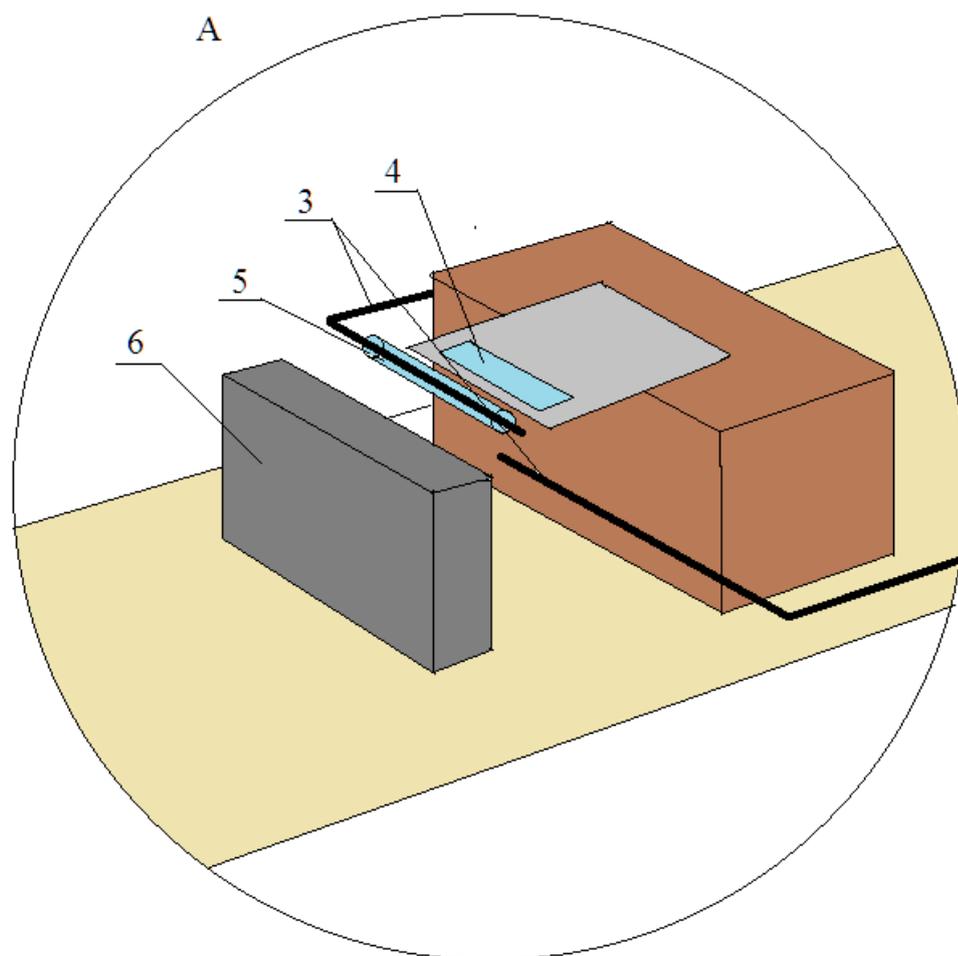


Рисунок 2 – Трехмерное изображение экспериментальной установки

Для изучения влияния магнитного поля на условия формирования ферромагнитных частиц использовалась низковольтная дуга (27В, 45А) постоянного тока. В качестве одного из электродов использовался стальной массивный диск, в качестве второго электрода – графитовый стержень. Канал разряда дуги ориентирован вертикально, так как сталь плавится при меньшей температуре, чем температура испарения графита.

## 2.2 Порядок выполнения исследований

В начальный момент инициирования дугового разряда электроды имеют комнатную температуру. Дуга разогревает электроды. Через некоторое время температура электродов и скорость их испарения

стабилизируется. Поэтому отбор частиц дисперсной фазы проводили через более чем 30 секунд от начала протекания тока по цепи.

В канале дугового разряда, независимо от величины прикладываемого рабочего напряжения, находится значительное количество паров материала электродов. При смещении паров к периферийной области наблюдается формирование большого количества частиц дисперсной фазы. Длительное осаждение частиц приводит к напылению пленки, в которой невозможно выделить отдельные частицы. При малой длительности осаждения отобранная проба конденсированной фазы может оказаться непредставительной.

В связи с этим каждый раз, при отборе дисперсных частиц, повторяли следующую последовательность операций.

1. Установка постоянного магнита на заданном расстоянии от дуги.
2. Инициирование электрического разряда.
3. Задержка по времени для стабилизации параметров физико-химических процессов в канале разряда.
4. Ввод на 3-5 сек в область над дугой стеклянной пластинки с алюминиевым напылением и удаление пластинки.
5. Отключение электрического тока.

После изменения величины магнитного поля, расстояния между электродами повторяли описанные выше действия. После получения 4 образцов их отдавали на микрофотографирование. По полученным микрофотографиям проводили ручной подсчет размеров дисперсных частиц и составляли гистограмму распределения по размерам.

### 2.3 Экспериментальные результаты

В ходе эксперимента изучались системы углерод + оксид железа, медь + диоксид кремния. Железо и его оксиды являются ферромагнетиками, а медь – диамагнетик.

На рисунке 3 приведены микрофотографии порошка, содержащего ферромагнетик. Видно, что без поля формируются дисперсные частицы образующие конгломераты в виде рыхлого образования. В магнитном поле рыхлых образований нет – частицы имеют резкое очертание и несколько крупнее. Анализ показывает, что основным механизмом коагуляции ферромагнитных частиц является магнитное взаимодействие.

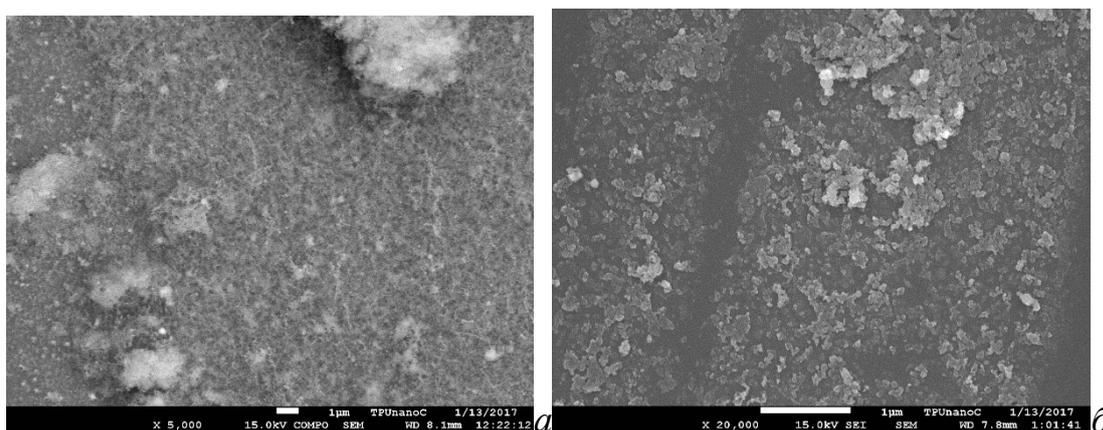


Рисунок 3 – SEM-изображения порошка ферромагнетика из плазмы дуги в магнитном поле: *a* – 0, *б* – 15 мТл

На рисунке 4 приведены микрофотографии порошка из диамагнитных материалов, где ферромагнитные взаимодействия отсутствуют. Основным механизмом, влияющим на скорость роста дисперсных частиц, является спиновая динамика неспаренных электронов на поверхности дисперсной частицы и атома из газовой фазы. Видно, что в магнитном поле образуются частицы, размер которых в 3-4 раза больше за счет упорядочения направления спинов в магнитном поле.

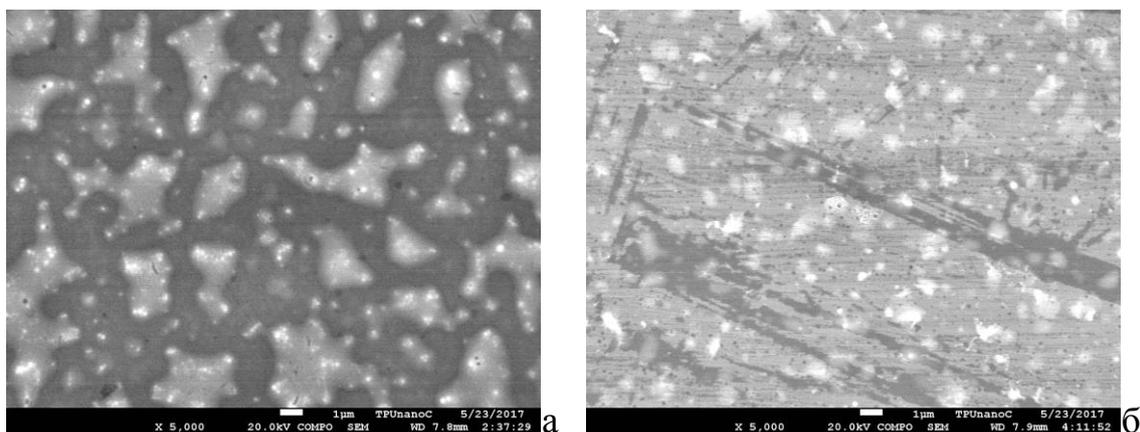


Рисунок 4 – SEM-изображения порошка диамагнетика из плазмы дуги в магнитном поле:  $a - 0$ ,  $b - 30$  мТл

Используя SEM-изображения порошка диамагнетика было посчитано количество частиц и их диаметр для двух случаев:

1. Без магнитного поля

Были определены границы размеров частиц и частота попадания в определенные интервалы (таблица 1).

Таблица 1 – Частота попадания частиц в заданные интервалы без магнитного поля

<b>НГ</b>	<b>ВГ</b>	<b>f</b>
0,06250	0,09375	13
0,09375	0,12500	22
0,12500	0,15625	35
0,15625	0,18750	32
0,18750	0,21875	21
0,21875	0,25000	11
0,25000	0,28125	7
0,28125	0,31250	9

По данным таблицы 1 построена гистограмма (рисунок 6).

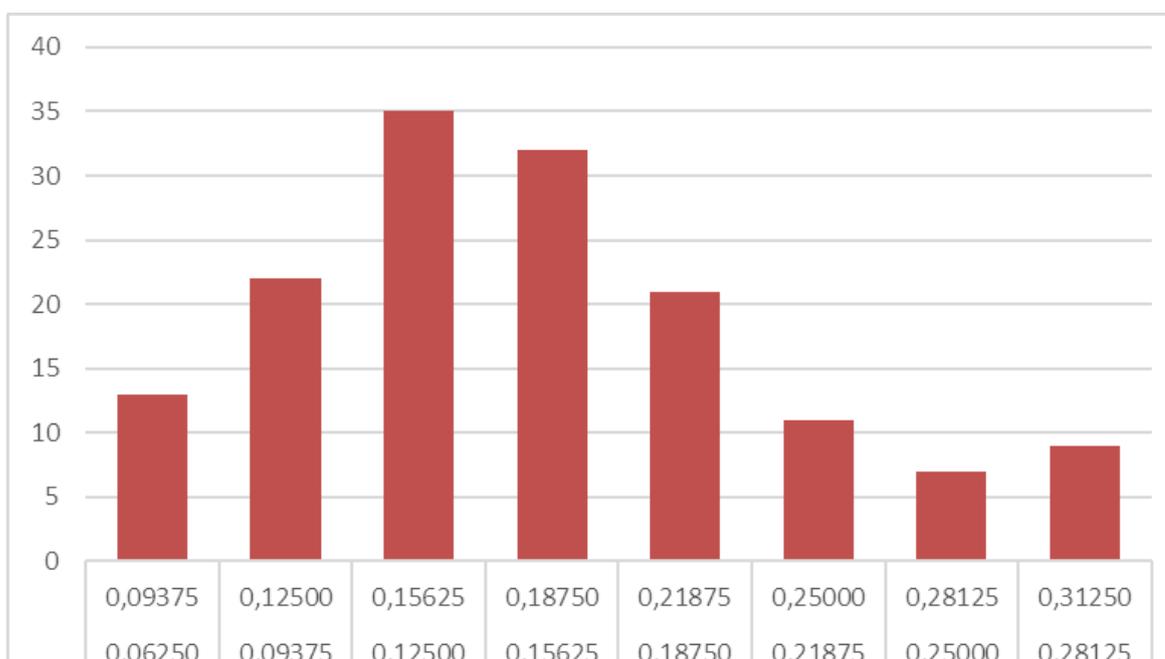


Рисунок 5 – количество частиц в определенном интервале

По графику видно, что наибольшее количество частиц попадает в интервал от 0,12500 до 0,15625 мкм.

## 2. С магнитным полем

Таблица 2 – Частота попадания частиц в заданные интервалы под влиянием магнитного поля

<b>НГ</b>	<b>ВГ</b>	<b>f</b>
0,20833	0,25000	2
0,25000	0,29167	4
0,29167	0,33334	2
0,33334	0,37501	6
0,37501	0,41668	8
0,41668	0,45835	7
0,45835	0,50002	13
0,50002	0,54169	8
0,54169	0,58336	9

0,58336	0,62503	7
0,62503	0,66670	6
0,66670	0,70837	4
0,70837	0,75004	6
0,75004	0,79171	2
0,79171	0,83338	3
0,83338	0,87505	3

По данным таблицы 2 построена гистограмма (рисунок 7).

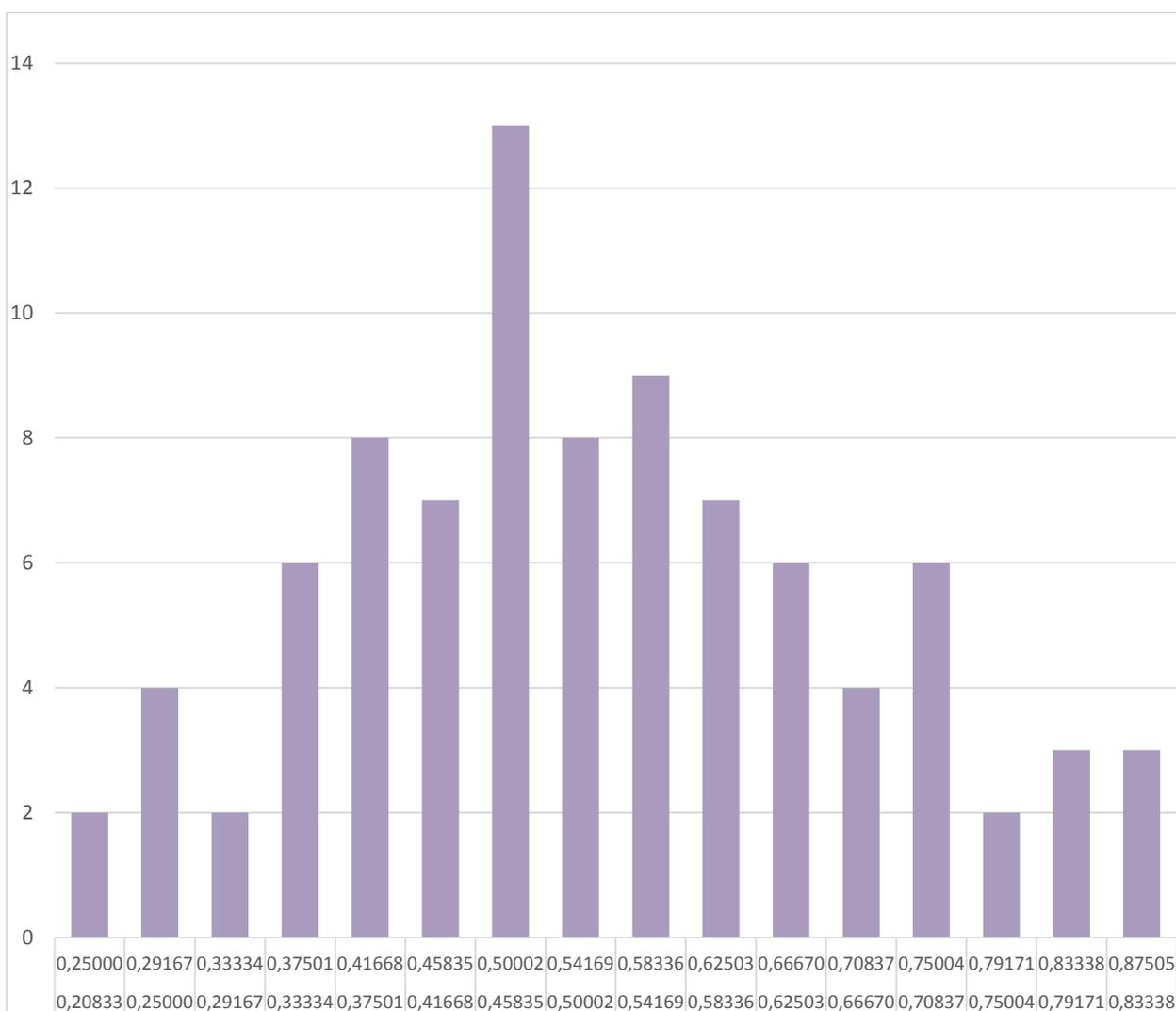


Рисунок 6 – количество частиц в определенном интервале

По графику видно, что наибольшее количество частиц попадает в интервал от 0,45835 до 0,50002 мкм.

Установлено, что образующиеся без магнитного поля частицы окружены оболочкой с рыхлой структурой. В магнитном поле формируется частицы, содержащие  $\text{Cu} + \text{SiO}_2$ , с резкими очертаниями, диаметр которых на 360% больше.

Ферромагнитные частицы в магнитном поле формируют частицы в виде пластинок, более 10 раз превышающих размер частиц, образующихся без поля.

### **3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

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

В научно-исследовательской работе проводится исследование влияния магнитного поля на образование дисперсной в дуговом разряде плазмы, проводится сравнительный анализ результатов. На данный момент важными аспектами являются планирование и организация научно-исследовательских работ. Однако, необходимо уделять большое внимание анализу с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

В разделе части выпускной квалификационной работы рассмотрены нижеперечисленные вопросы:

- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирования научно – исследовательской работы;
- расчета бюджета научно – технического исследования.

### **3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

В ходе выполнения работы была создана экспериментальная установка для изучения процесса нуклеации атомарных паров металлов, образующихся из плазмы высоковольтной дуги переменного тока в магнитном поле. Были получены дисперсные порошки содержащие медь + диоксид кремния в продольном магнитном поле и их SEMизображения.

Разработка в силу своей специфики будет иметь своим целевым рынком предприятия ядерно-топливного цикла, входящие в госкорпорацию «Росатом». В частности, ОАО «Машиностроительный завод» (г. Электросталь, Московская область) и в ОАО «Новосибирский завод химконцентратов» (г. Новосибирск).

### **3.1.2. Анализ конкурентных технических решений**

Традиционно для получения порошка заданной дисперсности производят просев (отбирают фракции заданного диапазона размеров)(Б<sub>ф</sub>). В результате часть порошка исключается от дальнейшего применения. Ультрадисперсная, биологически наиболее активная, фракция не задерживается на фильтрах и выбрасывается в атмосферу.

Магнитное поле способствует росту малых частиц, что уменьшает долю мелких частиц и потерю вещества. Поэтому магнитное поле позволяет уменьшать диапазон размеров образующихся частиц. Значительно уменьшаются потери сырья и относительная доля фракции, использование которой не желательно, для получения из порошка изделий с заданными параметрами.

На сегодняшний день, в порошковой металлургии используется метод газопламенного напыления (К<sub>1</sub>). При газопламенном напылении материал покрытия в виде порошка вводится в горящую струю, где он мгновенно

нагревается и плавится, распыляется и транспортируется к подложке, при взаимодействии с которой образуется покрытие.

Таблица 3 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкуренто	
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>кл</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>кл</sub>
1	2	3	4	5	6
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>					
1. Удобство в эксплуатации	0,05	4	4	0,2	0,2
2. Отсутствие потерь вещества	0,1	5	3	0,5	0,3
3. Энергоэкономичность	0,1	5	4	0,5	0,4
4. Надежность	0,1	4	3	0,4	0,3
5. Уровень шума	0,05	3	5	0,15	0,25
6. Безопасность	0,1	4	4	0,4	0,4
7. Потребность в ресурсах	0,2	5	3	1	0,6
8. Качество конечного продукта	0,3	5	3	1,5	0,9
Итого	1	35	29	4,65	3,35

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 3, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_j, \quad (20)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

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

$B_j$  – балл  $i$ -го показателя.

### 3.1.2 SWOT-анализ

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

Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта.

Сильными сторонами разрабатываемой технологии можно назвать следующие свойства и особенности:

- Уменьшение доли фракции, не задерживаемой на фильтрах
- Уменьшение времени формирования фракции
- Увеличение однородности частиц

Слабые стороны – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей.

Слабыми сторонами разрабатываемой технологии можно назвать следующие свойства и особенности:

- Отсутствие экономической мотивации у предприятий
- Негативное воздействие магнитного поля на ферромагнитные конструкционные материалы (магнитная память)

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта.

К возможностям данной технологии можно отнести:

- Возможность обогащения по изотопам
- Появление дополнительного спроса на новую технологию

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем.

К угрозам по отношению к технологии можно отнести:

- Отсутствие спроса на новые технологии производства
- Несвоевременное финансовое обеспечение

Далее проведем поиск соответствий сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды и построим итоговую матрицу SWOT – анализа. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Таблица 4 - Итоговая матрица SWOT– анализа

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1. Уменьшение доли фракции, не задерживаемой на фильтрах. С2. Уменьшение времени формирования фракции. С3. Увеличение однородности частиц.	<b>Слабые стороны научно-Исследовательского проекта:</b> Сл1. Негативное воздействие магнитного поля на ферромагнитные конструкционные материалы (магнитная память). Сл2. Отсутствие экономической мотивации у предприятий

<p><b>Возможности:</b>  В1. Появление дополнительного спроса на новую технологию.  В2. Возможность обогащения по изотопам.</p>	<p>В1С1С2С3 В2С1С2С3  Сильные стороны будут благотворно влиять на возможности обогащения по изотопам и изменении свойств материала.</p>	<p>В1Сл1  Анализ показывает, что внедрение метода повлияет на появление дополнительного спроса, который может существенно улучшить сложное финансовое положение и повысить интерес компаний, в отрасли науки и техники.</p>
<p><b>Угрозы:</b>  У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства  У2. Несвоевременное финансовое обеспечение</p>	<p>У1С1С2 У2С1С2  Благодаря уменьшению времени формирования фракции, данный метод имеет преимущество перед конкурентами. Наличие необходимого оборудования, а также минимальные затраты вещества дают преимущество перед другими методами.</p>	<p>У1Сл2  Поиск финансового партнера. Прекращение проведения исследований из-за отсутствия финансирования.</p>

## 3.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Экономическая часть настоящей работы включает в себя планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

Для выполнения научных исследований сформирована рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и дипломник.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления. Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок

составления этапов и работ приведен в таблице 5.

Таблица 5 -Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Категория	Этап	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, Бакалавр
	2	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
Выбор направления исследований	3	Анализ исходных данных	Бакалавр
	4	Выбор направления исследований	Бакалавр, Руководитель
	5	Календарное планирование работ по теме	Бакалавр
	6	Моделирование технологического процесса на ПК	Бакалавр
Теоретические и экспериментальные исследования	7	Экспериментальное исследование	Бакалавр, Руководитель
	8	Анализ и обработка полученных результатов	Бакалавр
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности	Бакалавр,

		полученных результатов	Руководитель
	10	Оформление пояснительной записки к ВКР	Бакалавр
	11	Подготовка к защите ВКР	Бакалавр

### 3.2.2 Определение трудоемкости выполнения НИР

Трудоемкость выполнения НИР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости работ  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (21)$$

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

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

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

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (22)$$

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

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

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

### 3.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Показатель технической готовности темы характеризует отношение продолжительности работ, выполненных на момент исчисления этого показателя, к общей запланированной продолжительности работ.

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

$$T_{ки} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (23)$$

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

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

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (24)$$

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

$T_{вых}$  – количество выходных дней в году; 52 (по 6-дневной рабочей неделе)

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

Расчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  округлены до целого числа.

Все расчитанные значения сведены в таблицу 6.

Таблица 6 – Временные показатели проведения научного исследования

Этап	Трудоёмкость работ			Исполни тели	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел- дни	$t_{max}$ , чел- дни	$t_{ожсi}$ , чел- дни			
1	3	5	3,8	Р	3,8	5
2	10	15	12	Б	12	14
3	5	7	5,8	Б	5,8	7
4	3	6	4,2	Б, Р	2,1	3
5	2	2,5	2,2	Б	2,2	3
6	10	15	12	Б	12	14
7	4	6	4,8	Б, Р	2,4	3
8	5	7	5,8	Б	5,8	7
9	2	4	2,8	Б, Р	1,4	2
10	6	10	7,6	Б	7,6	9
11	4	7	5,2	Б	5,2	6
<b>Итого:</b>			<b>66,2</b>		<b>60,3</b> <b>Р/Б</b> <b>9,7/56,5</b>	<b>73</b> <b>Р/Б</b> <b>13/68</b>

### **3.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)**

Целью планирования бюджета для проведения НТИ является экономически обоснованное определение величины затрат на ее выполнение.

В формировании НТИ включаются все затраты, связанные с ее выполнением независимо от источника финансирования. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

#### **3.3.1 Расчет материальных затрат**

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий,

сооружений, других основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов;

- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;

- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований);

В материальные затраты, помимо вышеуказанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. Однако их учет ведется в данной статье только в том случае, если в научной организации их не включают в расходы на использование оборудования или накладные расходы. В первом случае на них определяются соответствующие нормы расхода от установленной базы. Во втором случае их величина учитывается как некая доля в коэффициенте накладных расходов.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (25)$$

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

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

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

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

Все материалы, используемые для создания исследовательской установки являются собственностью кафедры «технической физики», поэтому в расчет показателей затрат стоимость и вспомогательных, комплектующих материалов не берется.

### **3.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) 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.

При проведении научно-технических исследований, специальное оборудование, необходимое для проведения работ, не использовалось. Затраты на специальное оборудование для научных работ отсутствуют.

### **3.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы**

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия,

выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада.

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

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (26)$$

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

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

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (27)$$

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

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (28)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб. (в качестве месячного оклада дипломника выступает стипендия, которая составляет 9892 руб. и 36800 руб. для профессора, доктора физико-математических наук);  $F_d$  – количество рабочих дней в месяце (среднее количество рабочих дней – 25);  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 48 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6-ти дневная неделя;

Баланс рабочего времени представлен в таблице 7.

Таблица 7 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавп
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
-выходные дни	52	52
-праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
-отпуск	56	56
-невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	243

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_{ТС} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (29)$$

$$Z_M = 36800 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 71760 \text{ руб.},$$

где  $Z_{ТС}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб. (для доцента  $Z_{ТС}$  составляет 36800 руб.);

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{ТС}$ );

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15- 20 % от  $Z_{ТС}$ );

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 8.

Таблица 8 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{ТС.}$	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_M$	$Z_{дн.}$	$T_p$	$Z_{осн.}$
-------------	-----------	----------	-------	-------	-------	-----------	-------	------------

	руб.				руб	руб.	раб. дн.	руб.
Руководитель	36800	0,3	0,2	1,3	71760	1472	9,7	14278,5
Бакалавр	9893	0,3	0,2	1,3	19291	771,5	56,5	43589,8

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

Отчисления во внебюджетные фонды являются обязательными по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

Таким образом выплаты в страховые фонды составят:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (30)$$

$$Z_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot 14278,5 = 3869,5 \text{руб.}$$

$$Z_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot 43589,8 = 11812,8 \text{руб.}$$

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

### 3.3.5 Расчет затрат на научные и производственные командировки

Затраты на научные и производственные командировки исполнителей определяются в соответствии с планом выполнения темы и с учетом

действующих норм командировочных расходов различного вида и транспортных тарифов.

Так как при проведении НТИ не было научных и производственных командировок, то в данном случае можно говорить, что затраты на научные и производственные командировки отсутствуют.

### **3.3.6 Контрагентные расходы**

Контрагентные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями.

Расчет величины этой группы расходов зависит от планируемого объема работ и определяется из условий договоров с контрагентами или субподрядчиками.

В работе использовался сканирующий электронный микроскоп (SEM). Стоимость одного анализа 2000 руб. Количество анализов – 16. Общие затраты – 32000 руб.

### **3.3.7 Накладные расходы**

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

Эксперименты проводились 20 дня по 2 часов, мощность установки 5 КВт/час.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{эл}} = C_{\text{эл}} \cdot P_{\text{уст}} \cdot F_{\text{об}} + C_{\text{эл}} \cdot P_{\text{комп}} \cdot F_{\text{об}}, \quad (31)$$

$$C_{\text{эл}} = 5,8 \cdot 20 \cdot 2 \cdot 5 + 5,8 \cdot 0,054 \cdot 56,5 \cdot 4 = 1160 + 70,8 = 1230,8 \text{ руб.}$$

где  $C_{\text{эл}}$  – тариф на промышленную электроэнергию (5,8 руб за 1 кВт·ч);

$P$  – мощность оборудования, кВт;

$F_{\text{об}}$  – время использования оборудования, ч.

Накладные затраты находятся по формуле:

$$C_{\text{н}} = C_{\text{эл}} \quad (32)$$

$$C_{\text{н}} = 1230,8 \text{ руб.}$$

### 3.3.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта.

На основании выше сказанного составим бюджет затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения, приведен в таблица 9.

Таблица 9 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НИИ	0	Пункт 4.3.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	0	Пункт 4.3.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей	57868,3	Пункт 4.3.3

темы		
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	0	Пункт 4.3.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	15682,3	Пункт 4.3.5
6. Затраты на научные и производственные командировки	0	Пункт 4.3.6
7. Контрагентские расходы	32000	Пункт 4.3.7
8. Накладные расходы	1230,8	Пункт 4.3.8
9. Бюджет затрат НИИ	115773,9	Сумма ст. 1- 8

### 3.4 Определение ресурсоэффективности исследования

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 16). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{фир}}^{\text{исп}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (33)$$

$$I_{\text{фир}}^{\text{исп}} = \frac{115773,9}{115773,9} = 1,$$

где – интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (34)$$

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

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

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

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы таблицы 10.

Таблица 10 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1
1. Производительность	0,3	5
2. Энергосбережение	0,4	5
3. Надежность	0,2	4
4. Материалоемкость	0,1	4
ИТОГО	1	

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,4 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 = 4,7 \quad (35)$$

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что научно-техническое исследование будет ресурсоэффективно при первом варианте исполнения проекта, т.е. при высокой производительности и энергоэффективности проекта.

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

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} \text{ и т.д.} \quad (36)$$

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

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (37)$$

Таблица 11–Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Оценка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4.7
3	Интегральный показатель эффективности	0,21

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

#### **4.Социальная ответственность**

В современных условиях одним из основных направлений коренного улучшения всей профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда, то есть путем объединения разрозненных мероприятий в единую систему целенаправленных действий на всех уровнях и стадиях производственного процесса.

Охрана труда – это система законодательных, социально-экономических, организационных, технологических, гигиенических и

лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда [31].

Правила по охране труда и техники безопасности [32] вводятся в целях предупреждения несчастных случаев, обеспечения безопасных условий труда работающих и являются обязательными для исполнения рабочими, руководящими, инженерно-техническими работниками.

Опасным производственным фактором, называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

Вредным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению трудоспособности.

#### **4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов**

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов (таблица 12), которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические [33].

Таблица 12 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	

Работа установкой (сборка) ПЭВМ, Кафедра НИ ТПУ	с	Воздействие радиации (ВЧ,УВЧ,СВ Ч и так далее)	–	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно- эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»
	и	–	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
	ТФ	–	Пожарная безопасность	Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004-85 ССБТ Пожарная безопасность

На бакалавра, работающего на компьютере, воздействуют следующие факторы:

- физические: температура и влажность воздуха; шум; статическое электричество; электромагнитное поле низкой чистоты; освещённость; наличие излучения;
- психофизиологические.

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы, делятся на: физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

## **4.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ**

### **4.2.1 Организационные мероприятия**

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и

производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа непосредственно на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией или лицом ответственным за рабочее место после обучения на рабочем месте. После чего сотруднику присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается удостоверение специального образца.

Лица, обслуживающие электроустановки не должны иметь увечий и болезней, мешающих производственной работе. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием перед устройством на работу.

#### 4.2.2 Технические мероприятия

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рисунке 7.

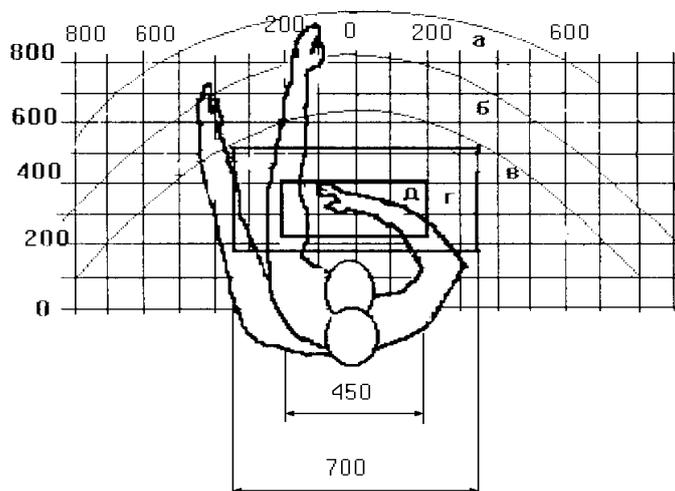


Рисунок 7 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости:

а – зона максимальной досягаемости рук; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в – зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук:

- дисплей размещается в зоне а (в центре);
- клавиатура – в зоне г/д;
- системный блок размещается в зоне б (слева);
- принтер находится в зоне а (справа);

документация размещается в зоне легкой досягаемости ладони в (слева) литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной не менее 500 мм, глубиной на уровне колен не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а так же расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420-550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглаблённым передним краем.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам угол наблюдения в горизонтальной

плоскости должен быть не более  $45^\circ$  к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять  $30^\circ$ . Кроме того должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости  $15^\circ$ . Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубых цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

## **4.2 Условия безопасной работы**

Основные параметры, характеризующие условия труда — это микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение, освещённость [32].

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность,

скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с и приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23-25	40-60	0,1
Тёплый	23-25	40	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещении должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м<sup>3</sup> на человека – не менее 30 м<sup>3</sup> в час на человека; при объёме помещения более 40 м<sup>3</sup> на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40 %, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – 20-25 °С, зимой – 13-15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основной недостаток такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеосигнала. Согласно напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот 5 Гц–2 кГц: 25 В/м;
- в диапазоне частот 2 кГц–400 кГц: 2,5 В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот 5 Гц–2 кГц: 250 нТл;
- в диапазоне частот 2 кГц–400 кГц: 25 нТл.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);
- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкР/час. По нормам конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной

дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

### **4.3 Электробезопасность**

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ и другими электрическими установками в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землей металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования [34].

Оператор ЭВМ работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами.

Существует опасность поражения электрическим током в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;
- вывешивание плакатов, указывающих место работы;
- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заключение в корпуса электропоражающих элементов, заключение в корпус токоведущих частей).

#### **4.4 Пожарная и взрывная безопасность**

В зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий [35].

Возможные причины загорания:

- неисправность токоведущих частей установок;
- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

Мероприятия по пожарной профилактике подразделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- применение при строительстве и отделке зданий негорюемых или трудно сгораемых материалов;
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения – предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;

– своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

- сообщить руководителю;
- позвонить в аварийную службу или МЧС – тел. 112;
- принять меры в соответствии с инструкцией.

## Выводы

1. Создана экспериментальная установка для изучения нуклеации атомарных паров, образующихся в высоковольтной дуге переменного тока (5 кВ 0,8 А) в магнитном поле (10–40 мТл).
2. Получены дисперсные порошки, содержащие медь + диоксид кремния в продольном магнитном поле 30 мТл, получены SEMизображения.
3. Установлено, что образующиеся без магнитного поля частицы окружены оболочкой с рыхлой структурой. В магнитном поле формируется частицы, содержащие Cu + SiO<sub>2</sub>, с резкими очертаниями, диаметр в 3-4 раза больше. Ферромагнитные частицы в магнитном поле формируют частицы в виде пластинок, более 10 раз превышающих размер частиц, образующихся без поля.
4. Изменения структуры конденсированной фазы и размеров дисперсных частиц при действии магнитного поля на нуклеацию диамагнитных веществ показывает значительный вклад селективных по изотопам парамагнитных процессов относительно термодинамических параметров фазовых переходов.

## **Заключение**

Результаты НИР в рамках выпускной работы могут быть использованы при формировании порошков заданной дисперсности в порошковой металлургии, при получении сырья для изготовления керамики, в атомной энергетике (ТВЭЛЫ).

## Список использованных источников

1. Бучаченко А. Л. Магнитные и спиновые эффекты в химических реакциях / А. Л. Бучаченко, Р. З. Сагдеев, К. М. Салихов; под ред. Ю. Н. Молина. — Новосибирск: Наука, 1978. — 297 с.
2. Швейгер И. В. Кристаллические структуры и кластеры в плазме высокочастотного газового разряда // диссертация, - 2008, 32 с.
3. Федосеев А.В., Сухинин Г.И., Рамазанов Т.С. Взаимное влияние плазмы тлеющего разряда и пылевых частиц // Теплофизика и аэромеханика – 2011. – № 4. – С. 643-645.
4. Поляков Д.Н., Шумова В.В., Василяк Л.М. Положительный столб тлеющего разряда с пылевыми частицами. – М.: Объединенный институт высоких температур РАН, - 2013. – С. 25-35.
5. Бизюков А. А., Ромащенко Е. В., Серeda К. Н. Динамика капельной фазы в плазме дугового разряда – М.: Наука, - 2011. – № 624. - С. 42-46.
6. Myshkin VF, Bespala EV, Khan VA, Makarevich SV. Laws of the oxidation of carbon isotopes in plasma processes under magnetic field, -2016.– 5 с.
7. Ваулина О. С., Влияние неоднородных условий на кинетическую энергию пылевых макрочастиц в плазме // ЖЭТФ, - 2016, - том 149, вып.1, - С.218-229.
8. Белоусов А. П., Белоусов П. Я., Метод измерения дисперсного состава и локального газосодержания газожидкостных потоков // автотметрия, - 2008, том 44, №2, С. 50-55.
9. Черненко А. С., Зинченко Ю. А., Определение дисперсного состава и формы частиц методом цифровой микроскопии // Физика аэродисперсных систем. -2014. -№51. –С. 115-123.

10. Шайхидтинов Р. З., Мустафин И. А., Абдуллин Р. А., Образование кристаллических структур в комплексной плазме // Вестник Башкирского университета, - 2012, - том 17, №3, С.1196-1203.
11. Степаненко А. А., Влияние неупругих столкновений частиц на процессы переноса в частично многокомпонентной плазме // автореферат, - 2014, 28 с.
12. Зельдович Я.Б., Бучаченко А. Л., Франкевич Е. Л. Магнитно-спиновые эффекты в химии и молекулярной физике // УФН 155 (1) – 1988, - С.3-45.
13. Froyd, K.D. Experimental thermodynamics of cluster ions composed of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and H<sub>2</sub>O. 1. Positive ions / K.D. Froyd, E.R. Lovejoy // J. Phys. Chem. A. 2003. V.107. No.46. P.9800–9811.
14. Анисимов М.П. Нуклеация: теория и эксперимент // Успехи химии 72 (7) 2003. С. 664-705.
15. Шопин В.М. Исследование процессов выделения дисперсного углерода из аэрозольных потоков // Рос.хим.ж. (Ж. Рос.хим. об-ва им.Д.И.Менделеева), 2007, Т.60, №4. – С.104-110
16. Павлов В. А., Скрипов В. П. Кинетика спонтанного зародышеобразования в сильно перегретых жидкостях // ТВТ. – 1976. – 8. – С. 579-585.
17. Амелин А.Г. Теоретические основы образования тумана при конденсации пара. – М.: Химия, 1972. – 304 с.
18. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы - 2-е изд., перераб. и доп: Учебник для вузов. - М.: Химия, 1983.-464 с.
19. Горелик А.Г., Амитин А.В. Десублимация в химической промышленности. - М.: Химия, 1986. - 272 с., 42.Русанов А.И. // ДАН СССР. - 1981. - Т. 261. - № 3. –700с.

20. R Perekrestov, P Kudrna, M Tichý, I Khalakhan and V F Myshkin TiO<sub>2</sub> nanoparticle detection by means of laser beam scattering in a hollow cathode plasma jet // *J. Phys. D: Appl. Phys.* 49 (2016) 265201 (11pp)
21. Perekrestov R, Kudrna P, Tichý M, Khalakhan I, Daniš S, Prodan G and Vlodoiu R Crystalline structure and morphology of TiO<sub>2</sub> thin films deposited by means of hollow cathode plasma jet with supporting anode // *Surf. Coat. Technol.* 2016 291 123–9
22. В.И. Струнин, А.А. Ляхов, Г.Ж. Худайбергенов, В.В. Шкуркин Влияние конденсированной дисперсной фазы на ионизационное равновесие плазмы ВЧ разряда // *Вестн. Омского ун-та.* 2013. №2. С. 100-103.
23. Смирнов Б.М. Кластерная плазма // *УФН* 170 (5) 2000 495-534
24. Жуховицкий Д.И., Храпак А.Г., Якубов И.Т. Ионизационное равновесие в плазме с конденсированной дисперсной фазой. *Химия плазмы / Под ред. Б.М. Смирнова.* М.: Энергоатомиздат, 1984, №11, С. 130-170.
25. Л. Г. Дьячков, Электростатический потенциал заряженных макрочастиц в плазме в условиях термического равновесия, *ТВТ*, 2005, том 43, выпуск 3, С. 331-342.
26. Fairbairn A.R. The dissociation of carbon monoxide // *Proc. R. Soc. London A.* 1969 V. 312. P. 207 – 227.
27. Smirnov V.N. Determination of the rate constants for the reaction  $\text{Fe} + \text{O}_2 = \text{FeO} + \text{O}$  in the forward and reverse directions // *Kinet. Catal.* 2011 V. 52. P. 166 – 169.
28. Smirnov V.N. Thermochemical parameters and rate constants of the reactions  $\text{Fe} + \text{O}_2 + \text{M} \rightarrow \text{FeO}_2 + \text{M}$  and  $\text{FeO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{FeO}_2 + \text{O}$  // *Kinet. Catal.* 2012 V. 53. P. 543 – 553.
29. Булыжев Е.М., Меньшов Е.Н. Математическая теория магнитной коагуляции ферромагнитных частиц в слабозагрязненных сточных водах // *Известия Самарского научного центра РАН.* 2014. Т. 16, № 1. - С.247-254

30. Кудряшова О. Б. Математическая модель эволюции жидкокапельных аэрозолей // Известия Томского политехнического университета. – 2012. Т. 320. №2. –С. 129-133.

31. Кукин П.П. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств: учеб. Пособие / П.П. Кукин, В.Л. Лапин – М.: Высшая школа, 1999. – 318с.

32. Об основах охраны труда в Российской Федерации: Федеральный закон от 17 июля 1999 №181 – ФЗ // Российская газ. – 1999. – 24.07. – С. 4

33. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы» [Текст]. – Взамен СанПиН 2.2.2.542-96; введ. 2003-06-30. – М: Российская газета, 2003. – 3 с.

34. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность [Текст]. – Введ. 1983-01-07. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 2 с.

35. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений [Текст]. – Взамен СНиП 2.01.02-85; введ. 1998-01-01. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 1999. – 6 с.