

Школа ИШНПТ
 Направление подготовки 12.04.02 Оптотехника
 Отделение школы (НОЦ) Материаловедения

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Механизм образования горячих точек в тетранитропентаэритрите при возбуждении лазерным излучением.

УДК 662.232.5:621.373.826

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В51	Байсакова Алина Рустамовна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Олешко Владимир Иванович	д. ф.-м. н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Николаенко Валентин Сергеевич			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Лариса Александровна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОМ ТПУ	Степанов Сергей Александрович	к. ф.-м. н.		

Планируемые результаты обучения

Код ре- зул- ь- тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять глубокие естественнонаучные, математические, гуманитарные, общепрофессиональные знания в области оптотехники	Требования ФГОС (ПК-1, ОПК-8, ОК-1), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области световой, оптической и лазерной техники, оптического и светотехнического материаловедения и оптических и светотехнических технологий	Требования ФГОС (ОПК-2, ОПК-4, ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп. 1.1, 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Применять полученные знания для решения задач, возникающих при эксплуатации новой техники и технологий оптотехники	Требования ФГОС (ПК- 4, 6, 10, 12, 18 ОПК-2), Критерий 5 АИОР (пп. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Владеть методами и компьютерными системами проектирования и исследования световой, оптической и лазерной техники, оптических и светотехнических материалов и технологий	Требования ФГОС (ОПК-2, ПК- 1, 4, 5, ОПК-7), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Владеть методами проведения фотометрических и оптических измерений и исследований, включая применение готовых методик, технических средств и обработку полученных результатов	Требования ФГОС (ПК-2, 3, ОПК-5), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Владеть общими правилами и методами наладки, настройки и эксплуатации оптической, световой и лазерной техники для решения различных задач	Требования ФГОС (ПК-4, 7, 8, 9, 5, 19,20,21), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Проявлять творческий подход при решении конкретных научных, технологических и опытно-конструкторских задач в области оптотехники	Требования ФГОС (ПК-14,17, ОК-7). Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной деятельности	Требования ФГОС (ОК-5,6, ПК-22) Критерий 5 АИОР (пп. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEAN</i>
P9	Уметь эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность <i>следовать корпоративной культуре</i> организации	Требования ФГОС (ОК-5, ПК-10,13,15,16,23). Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.4.), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам научной, педагогической и производственной деятельности	Требования ФГОС (ОК-2,3,6,10 ОПК-4,9). Критерий 5 АИОР (1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК- 4,7,8, ОПК- 1, 2,6, ПК- 5,13) Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки 12.03.02 «Оптотехника»
Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП «Оптотехника»
ОМ ИШНПТ
_____ Степанов
С.А.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
4В51	Байсакова Алина Рустамовна

Тема работы:

Механизм образования горячих точек в тетранитропентаэритрите при возбуждении лазерным излучением	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<ol style="list-style-type: none">1. Литература по механизмам инициирования тетранитропентаэритрита (тэна).2. Прессованные образцы тэна.3. Лазерный стенд для исследования взрывного разложения энергетических материалов.
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</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>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Аналитический обзор литературных источников (механизмы инициирования энергетических материалов, спектрально-кинетические и пространственные характеристики предвзрывного свечения энергетических материалов). 2. Настройка импульсного спектрометра для измерения пороговых, пространственных и спектрально-кинетических характеристик свечения тэна при воздействии лазерного излучения. 3. Выполнение раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»; 4. Выполнение раздела «Социальная ответственность»; 5. Выполнение раздела на иностранном языке; 6. Анализ полученных результатов.
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Схема экспериментальной установки. 2. Пространственные, спектральные и кинетические характеристики предвзрывного свечения прессованных образцов тэна, возбуждаемых первой гармоникой неодимового лазера.
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Скачкова Лариса Александровна, Старший преподаватель ООД ШБИП</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Николаенко Валентин Сергеевич, ассистент</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>29.09.2018</p>
--	--------------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Олешко В. И.	д.ф.-м.н.		24.10.18

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В51	Байсакова Алина Рустамовна		24.10.18

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 65 с., 13 рис., 10 табл., 24 источника.

Ключевые слова: лазерный факел, предвзрывные процессы, горячие точки, бризантные взрывчатые вещества, низкопороговый оптический пробой.

Объектами исследования являются – бризантное взрывчатое вещество тетранитропентаэритрит (ТЭН $C_5H_8N_4O_{12}$), инертные материалы – сахар ($C_{12}H_{22}O_{11}$) и оксид магния (MgO).

Цель работы – установить механизм образования «горячих точек» в прессованных образцах «чистого» ТЭНа при возбуждении лазерным излучением.

Полученные результаты. В результате исследований пространственного распределения свечения, инициируемого лазерным излучением в ТЭНе и инертных материалов (MgO, сахар), спектров свечения был установлен механизм формирования горячих точек в исследуемых материалах – низкопороговый оптический пробой на поглощающих включениях, которые вносятся в приповерхностную область образцов в процессе их прессования.

Область применения. Результаты, полученные в работе, могут быть использованы для разработки физической модели лазерного инициирования энергетических материалов и метода контроля оптической прочности конструктивных элементов мощных лазеров.

Оглавление

Планируемые результаты обучения	2
РЕФЕРАТ	5
1. Обзор литературы	10
1.2 Предвзрывные явления в азидах тяжелых металлов и бризантных взрывчатых веществах при лазерном иницировании.....	16
1.3 Постановка задачи исследования.....	17
2.Методика эксперимента и экспериментальные результаты.....	19
2.1 Образцы для исследования	19
2.3 Пространственное распределение, порог формирования и кинетика свечения горячих точек в прессованных образцах «чистого» ТЭНа при возбуждении лазерным излучением	23
2.4 Влияние многоимпульсного облучения образцов ТЭНа на интенсивность свечения горячих точек	26
2.5 Пространственное распределение, кинетика свечения и отжиг «горячих точек» в инертных образцах MgO и сахара (C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁)	28
2.6 Спектры свечения лазерного факела прессованных образцов ТЭНа	31
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	34
3.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	35
3.2 Разработка графика проведения научного исследования.....	35
3.3 Бюджет научно-технического исследования.....	37
3.4 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	38
3.5 Основная заработная плата исполнителей темы	39
3.6 Отчисления во внебюджетные фонды	43
3.7 Накладные расходы	43
Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	44
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....	46
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	48
4.2 Производственная безопасность	50
4.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов	51
4.3.2 Факторы пожарной и взрывной природы	52
4.4 Микроклимат	54
4.6 Вредные вещества	54
4.5 Производственный шум	55
4.6 Освещенность	56
4.7 Лазерное излучение.....	59

4.8 Экологическая безопасность.....	61
4.9 Безопасность в ЧС.....	61
4. ГОСТ 12.4.123-83. Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования.....	64
Заключение.....	65

Введение

Мощные лазерные пучки наносекундной длительности широко используются для инициирования взрывного разложения высокочувствительных и бризантных (слабочувствительных) взрывчатых веществ (ВВ). Ни один из традиционных способов (удар, нагрев) не позволяет в столь широком диапазоне изменять условия инициирования ВВ (энергию и д

лительность энергетического импульса, размеры зоны энерговыделения, концентрацию электронно-дырочных пар, температуру) и при этом получать информацию о развитии процесса химического разложения во времени и в пространстве.

Механизм лазерного инициирования бризантных взрывчатых веществ (БВВ) в том числе и ТЭНа не установлен. Общеизвестной является тепловая модель зарождения горячих точек, согласно которой воздействие лазерного импульса (или других видов энергетического воздействия - электронный пучок, удар и т.п.) приводит к локализации энергии, разогреву ВВ до температуры вспышки и инициированию быстрой химической реакции.

Вопрос о механизме образования горячих точек в ТЭНе при лазерном воздействии также остается открытым. В качестве одного из механизмов предложен *оптический пробой на поглощающих неоднородностях*, присутствующих в исследуемых образцах прессованного ТЭНа. В рамках этого механизма при достижении критической напряженности электрического поля электромагнитной волны происходит оптический пробой в приповерхностной области возбуждаемого образца, формирование плазмы и поглощение лазерного излучения. В связи с этим представляет интерес экспериментально проверить возможность реализации оптического пробоя в образцах прессованного ТЭНа при воздействии первой гармоникой Nd – лазера ($\lambda = 1064$ нм, $\tau = 16$ нс).

В связи с этим в работе поставлены следующие цели и задачи.

Цель работы.

- Установить механизм образования «горячих точек» в прессованных образцах «чистого» ТЭНа при возбуждении первой гармоникой неодимового лазера.

Задачи исследований.

- Изучить пространственное распределение свечения, инициируемого лазерным излучением в прессованных образцах ТЭНа и инертных материалах.
- Измерить порог образования горячих точек в различных материалах при их возбуждении лазерным излучением.
- Измерить кинетические и спектральные характеристики свечения образцов, возникающего при облучении импульсным лазерным излучением.

Научная новизна.

- Измерены пространственные, кинетические и спектральные характеристики горячих точек в «чистых» образцах прессованного ТЭНа при лазерном воздействии.

Практическая значимость.

Экспериментальные результаты, полученные в работе, могут быть полезны для разработки физической модели лазерного инициирования энергетических материалов и метода контроля оптической прочности конструктивных элементов мощных лазеров.

Защищаемые положения.

Образование горячих точек в прессованных образцах «чистого» ТЭНа при воздействии первой гармоникой неодимового лазера, происходит вследствие развития низкопорогового оптического пробоя на поглощающих неоднородностях, которые вносятся в приповерхностный слой образца в процессе прессования.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Механизмы инициирования ТЭНа лазерным излучением

Тетранитропентаэритрит (ТЭН), структурная формула – $C_5H_8N_4O_{12}$, является модельным объектом для исследования процессов взрывного разложения энергетических материалов при воздействии различных энергетических факторов – удар, нагрев, лазерное излучение, электронный пучок и другие.

Ниже излагаются результаты экспериментальных исследований взрывного разложения ТЭНа при импульсном инициировании лазерными импульсами. Приводится интерпретация экспериментальных результатов и гипотезы, предложенные различными авторами о механизмах инициирования взрывного разложения ТЭНа.

Несмотря на увеличение числа публикаций проблема инициирования взрывчатых веществ, в том числе и ТЭНа лазерным излучением все еще далека от решения. Одна из причин - большое количество факторов, влияющих на процесс лазерного инициирования ТЭНа. По данным исследований было установлено, что поведение бризантных ВВ (ТЭН, гексоген и др.) и инициирующих ВВ (азиды тяжелых металлов) имеет между собой множество различий. Вероятность инициирования бризантных ВВ с открытой поверхностью без прозрачной для лазера прикрывающей пластинки очень мала.

К настоящему времени предложено несколько альтернативных моделей лазерного инициирования «чистых» (без специально введенных примесей) образцов ТЭНа [2,4-9,17-18]. Широкое распространение получила тепловая очаговая модель [1,6,9], согласно которой воздействие мощного лазерного излучения на взрывчатое вещество сопровождается разогревом локальных микрорегионов (дефектов), названных «горячими точками (ГТ)», что приводит к развитию быстрого химического превращения. Однако в настоящее время отсутствуют надежные экспериментальные свидетельства в пользу справедливости этой модели.

По результатам исследований было выделено несколько ключевых параметров, от которых зависит интенсивность энергии, вводимой в вещество [5]. Эти параметры целесообразно разделить на три группы.

Параметры взрывчатого вещества: оптические характеристики порошкообразного ВВ, дисперсность, химические константы, вид ВВ); параметры лазерного излучения: длительность импульса, длина волны, распределение плотности энергии по сечению пучка; геометрия облучения: диаметр и форма пучка, внешнее давление, наличие либо отсутствие прозрачной оболочки на поверхности образца, предотвращающей разлет плазмы, образующейся при облучении ВВ.

Из-за большого количества возможных процессов, происходящих при взаимодействии лазерного излучения с конденсированными средами, были проанализированы и представлены следующие модели о возможных механизмах инициирования бризантных ВВ [8,9]:

- **Инициирование в результате электрического пробоя в поле лазерного излучения**

Согласно исследованиям авторов [1], за время действия лазерного импульса значительная часть световой энергии может превратиться в тепловую в результате развития оптического пробоя. Максимальная напряженность поля оптической волны может быть в несколько раз выше вследствие локальной неоднородности интенсивности лазерного луча или неоднородности облучаемого материала. Средняя напряженность электрического поля лазерного луча, рассчитанная для критической плотности излучения при подрыве азид свинца близка к $0,7 \cdot 10^5$ В/см, для ТЭНа около $8 \cdot 10^5$ В/см, следовательно, максимальная напряженность поля может быть в 3-5 раз выше из-за локальной неоднородности интенсивности лазерного луча по сечению, соответствующей различным колебательным модам ОКГ. Также известно, что электрическая прочность прессованного ТЭНа на порядок выше, чем у азид свинца.

Возможность электрического пробоя согласуется также с исследованиями по влиянию давления прессования, длины волны и интенсивности лазерного излучения на порог инициирования ТЭНа.

Таким образом, была выдвинута гипотеза о возможности инициирования ВВ электрическим пробоем, развивающимся под действием лазерного излучения.

- **Инициирование в результате фотохимического разложения освещаемого слоя**

Высокая напряженность электрического поля лазерного луча приводит к необходимости анализа возможности многоквантового фотоэффекта при котором возбуждение молекул ВВ будет проходить из-за одновременного поглощения нескольких квантов [4, 9]. Величина кванта возбуждения неодимового ОКГ равна 1,17 эВ, а рубинового 1,78 эВ. Данные значения намного ниже значений необходимых для прямого фотоэффекта исследованных ВВ. Некоторые оценки показали, что вероятность многоквантового фотоэффекта очень мала так как за время действия лазерного импульса таким путем может разложиться только самая малая часть ВВ.

- **Инициирование в результате преобразования энергии светового импульса в энергию ударной волны**

В работах [7,11] были высказаны различные мнения как в пользу прямого преобразования световой энергии в энергию ударной волны в результате поглощения в слое ВВ [7], так и в пользу роли химической реакции, развивающейся во взрывчатом веществе и последующее формирование ударной волны [11]. В случае прямого преобразования была построена зависимость пороговой энергии инициирования ТЭНа от длительности инициирующего лазерного импульса при прямом инициировании навески светом и с помощью взрываемой светом металлической пленки. Установлено, что пороговая энергия растет с ростом длительности импульса.

$$\frac{(1 - R) W - W^*}{\rho_{\text{ВВ}} c_{\text{ВВ}}^2 \delta} = F(\tau \cdot c_{\text{ВВ}} / \delta, E / c_{\text{ВВ}}^2).$$

Данная функциональная связь является безразмерной, здесь R – отражательная способность навески, $\rho_{\text{ВВ}}$ и $c_{\text{ВВ}}$ – плотность и скорость звука в ВВ, δ – эффективная глубина проникновения излучения в ВВ, W^* – значение плотности поглощенной энергии, не приводящее к заметным газодинамическим эффектам. В работе [7] была также изучена зависимость пороговой энергии инициирования ТЭНа от толщины контактирующей с ним прозрачной подложки от 0,01 мм до 1,7 мм. Установлено, что пороговая энергия не зависит от толщины подложки при $\Delta < 0,06$ мм и растет при $\Delta > 0,06$ мм.

- **Фоторезонансное инициирование ТЭНа первой и второй гармониками неодимового лазера.**

Это одна из последних моделей инициирования ТЭНа, была предложена исследователями Кемеровского госуниверситета [13]. Данная модель представляет собой процесс, при котором лазерное излучение с энергией кванта $h\nu_0=1,17$ эВ производит фотовозбуждение молекул ТЭНа с последующей термостимулированной фрагментацией возбужденной молекулы, что в итоге приводит к образованию активного радикала. Результаты измерений зависимости порога лазерного излучения первой гармоникой от начальной температуры стали экспериментальным обоснованием модели. Также после проведенных исследований наблюдалось отсутствие инициирования взрыва при облучении ТЭНа второй гармоникой неодимового лазера и весьма слабая полоса поглощения ($k \sim 0,01 \text{ см}^{-1}$) в области 1030 нм. Результаты инициирования первой и второй гармониками оказались различными.

Для первой гармоники наблюдалось падение порога инициирования при увеличении температуры от 3 Дж/см² при 373 К до 0,5 Дж/см² при 450 К. При инициировании второй гармоникой образец не удалось взорвать даже при мак-

симальных энергиях инициирования (~ 10 Дж/см²) и температуре 450 К. Авторы полагают, что резкое отличие эффективности инициирования при $\lambda = 1060$ и 530 нм и наличие в спектре поглощения ТЭНа полосы с максимумом в районе 1025 нм, являются серьезным доводом в пользу справедливости предположения о том, что при инициировании ТЭНа первой гармоникой реализуется режим фотоинициирования.

- **Инициирование за счет концентрации энергии лазерного импульса в «горячих точках»**

По данным экспериментов [9] большая часть излучения, падающего на взрывчатое вещество, отражается и теряется, а оставшаяся часть поглощается в некотором слое взрывчатого вещества с экспоненциальным распределением интенсивности по глубине. Появление «горячих» точек в ВВ может являться следствием поглощения энергии и превращения ее в тепловую. При высоких давлениях сжатия на уровне энергетического порога зажигания (ЭПЗ) практически отсутствует разогрев, поэтому в работе [9] одной из причин низкопорогового зажигания БВВ рассматривался разогрев оптических микронеоднородностей, поглощающих лазерное излучение. Роль таких микронеоднородностей могут играть химические примеси, собственные дефекты вещества, инородные включения, обусловленные составом исходных продуктов вещества.

- **Инициирование ТЭНа с добавками наночастиц металлов**

В работах [21-23] установлено, что при помощи изменения состава ВВ путем введения ультрадисперсных частиц металлов можно регулировать чувствительность энергетических материалов к воздействию лазерных импульсов. Предполагается, что наночастицы металлов эффективно поглощают энергию лазерного излучения, нагреваются до высоких температур и создают условия для взрывного разложения в окрестности образовавшейся «горячей

точки». В рамках микроочаговой концепции лазерного инициирования взрывчатых веществ с включениями металлов критическая плотность H_{cr} уменьшается при росте эффективности поглощения света.

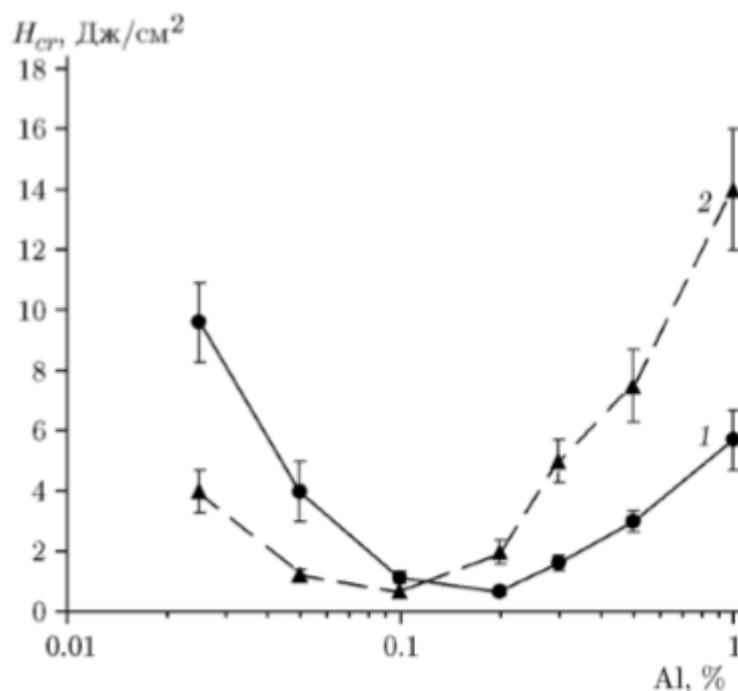


Рисунок 1 – Зависимость критической плотности энергии инициирования взрыва от массовой концентрации включений Алюминия в образцах.

- 1 – инициирование взрыва первой гармоникой неодимового лазера,
 2 – инициирование второй гармоникой.

Обе кривые на рисунке 1 имеют немонотонный характер, однако минимальные значения критической плотности энергии - $H_{cr} = 0.7$ Дж/см² в пределах границ доверительных интервалов совпадают при содержании включений 0.2 % в образцах, инициированных первой гармоникой, и 0.1 % в образцах, инициированных второй гармоникой неодимового лазера.

Также авторы [23] приводят результаты эксперимента, направленного на изучение порога инициирования ТЭНа излучением первой и второй гармоникой неодимового лазера. Следует отметить, что порог инициирования первой гармоникой составляет 1,15 Дж/см², тогда как порог инициирования второй гармоникой – 0,7 Дж/см². Данная закономерность позволила авторам сделать выводы об ошибочности модели инициирования, связанной с оптическим пробоем

образца, так как согласно теории оптического пробоя порог инициирования второй гармоникой должен превышать порог инициирования первой гармоникой.

1.2 Предвзрывные явления в азидах тяжелых металлов и бризантных взрывчатых веществах при лазерном инициировании

Согласно исследованиям [18] при инициировании бризантных ВВ (в том числе и ТЭНа) лазерным излучением поглощение является двухстадийным процессом. Первая стадия – линейность относительно мощности излучения и оптические характеристики вещества неизменны. Вторая стадия является существенно нелинейной т.е. пробойная и послепробойная.

По данным исследований [18] на первой стадии был поглощен только 1 % энергии, полученной за весь импульс. Были выявлены следующие изменения: падение коэффициента отражения, уменьшение эффективной глубины проникновения излучения и увеличение показателя поглощения.

В бризантных ВВ вводимой энергии недостаточно для того, чтобы разорвать связи в молекуле и установить новые, в то время как в азидах тяжелых металлов поглощение энергии сопровождается цепной химической реакцией и соответствующим энерговыделением. В Тэне основным предвзрывным процессом является оптический пробой, т.е. процессы в плазменной стадии.

Установлено, что для инициирования детонации в бризантных ВВ необходимо запустить химическую реакцию разложения ВВ в достаточно большом объеме вещества. Этот объем характеризуется критическим диаметром ВВ, с помощью которого можно определить баланс между химическим энерговыделением и газодинамическими потерями при разрушении вещества. Химическая реакция также относится к предвзрывным явлениям – это говорит о необходимости ее исследования.

1.3 Постановка задачи исследования

К настоящему времени предложено несколько физических моделей инициирования «чистого» ТЭНа и ТЭНа со специально введенными примесями металлов под действием лазерных пучков. Большое количество моделей обусловлено многообразием физико-химических процессов, развивающихся в облучаемом образце, каждый из которых может быть ответственен за инициирование взрыва. Среди них можно выделить две альтернативные модели, существенно отличающиеся начальными стадиями взрывного разложения ТЭНа. *Фотохимическая (гомогенная) модель*, в которой ключевая роль отводится электронным возбуждениям, которые являются первичными, приводят к разрыву химических связей, т.е. к началу химического разложения ТЭНа. *Тепловая (гетерогенная) очаговая модель*, в которой энергия внешнего импульса поглощается на оптических (или электрических) неоднородностях, всегда присутствующих в твердых телах. Кумуляция энергии внешнего импульса на неоднородностях приводит за время действия энергетического импульса (10^{-8} с) к образованию «горячих точек», объемная плотность энергии в которых превышает среднюю в $10 - 10^3$ раз. В дальнейшем происходит преобразование энергии, запасенной в «горячих точках» и формирование макроочага химического разложения. В зависимости от вида инициирующего импульса (лазер или электронный пучок) его параметров и условий, в которых находится исследуемый образец, процесс химического разложения ТЭНа может затухнуть, завершиться горением или детонацией.

Вопрос о механизме образования горячих точек при лазерном воздействии также остается открытым. В связи с этим представляет интерес экспериментально проверить возможность реализации низкопорогового оптического пробоя ТЭНа при воздействии первой гармоникой Nd – лазера ($\lambda = 1064$ нм, $\tau = 16$ нс). В связи с этим в работе поставлены следующие цели и задачи.

Исходя из настоящего литературного обзора были сформированы следующие цели и задачи:

Цель работы.

- Установить механизм образования «горячих точек» в прессованных образцах «чистого» ТЭНа при возбуждении первой гармоникой неодимового лазера;

Задачи исследований.

- Изучить пространственное распределение свечения, инициируемого лазерным излучением в прессованных образцах ТЭНа и инертных материалах.
- Измерить порог образования горячих точек в ТЭНе и инертных материалах при их возбуждении лазерным излучением.
- Измерить кинетические и спектральные характеристики свечения образцов, возникающего при облучении импульсным лазерным излучением.

2.МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

2.1 Образцы для исследования

В данной работе образцами для исследования послужили прессованные образцы ТЭНа. Образцы были приготовлены из порошка тетранитропентаэритрита дисперсностью $S=6000\text{см}^2/\text{г}$, спрессованного под давлением 10^9 Па. Диаметр образцов 3- 6 мм, толщина $\sim 200\text{-}500$ мкм. Дополнительные эксперименты проводились на инертных (не энергетических) материалах – прессованных таблетках MgO (плотность – $3,58\text{ г/см}^3$) и сахара (плотность – $1,58\text{ г/см}^3$). Физические свойства сахара близки свойствам ТЭНа.

Ниже будет представлено сравнение физических свойств данных образцов

Таблица 1–физико-химические параметры исследуемых материалов

Вещество	ТЭН	Сахар	Оксид магния
химическая формула	$\text{C}_5\text{H}_8\text{N}_4\text{O}_{12}$	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$	MgO
температура плавления, $^{\circ}\text{C}$	140	160	2825
Плотность, г/см^3	1,77	1,58	3,58
Твердость по Моссу	1,9	2,5	5,5

2.2 Экспериментальная установка

Экспериментальные исследования механизмов образования «горячих точек» в ТЭНе проводились на установке профессора В.П. Ципилева. Принципиальная блок-схема установки для исследования физико-химических процессов, развивающихся в энергетических и инертных материалах при лазерном воздействии, приведена на рисунке 2.

Установка является модернизированным вариантом, описанной в [15], схемы, и включает в себя следующие основные узлы:

- импульсно-периодический твердотельный YAG:Nd-лазер;
- устройство формирования лазерного пучка необходимого размера и качества на поверхности образца;
- блок синхронной регистрации осциллограмм свечения «горячих точек»;
- блок регистрации спектров свечения «горячих точек»;
- блок регистрации пространственного распределения «горячих точек».

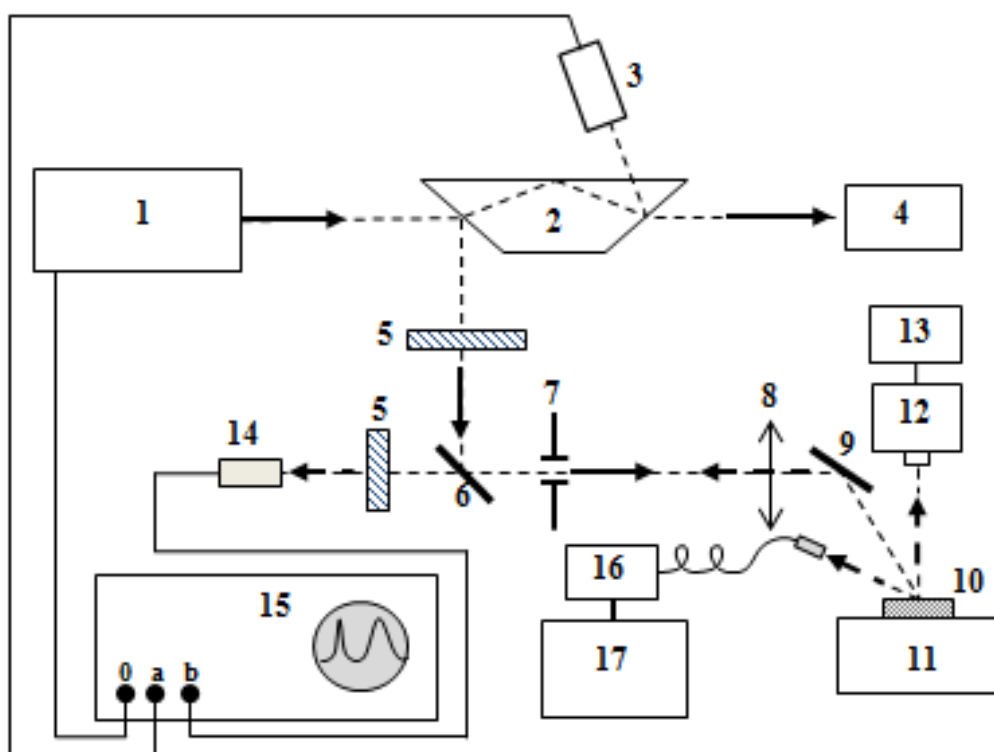


Рисунок 2 – Лазерный стенд для исследования «горячих точек» при лазерном возбуждении ТЭНа: 1 – неодимовый лазер; 2 – призма Дове; 3 – ФЭК-28 КПУ; 4 – калориметр ИКТ-1Н; 5 – нейтральные светофильтры; 6 – интерференционное зеркало; 7 – формирующая диафрагма; 8 – объектив; 9 – поворотное зеркало; 10 – образец; 11 – металлическое основание; 12 – микроскоп; 13 – фотокамера SONY α 500; 14 – фотоэлектронный умножитель зонного обзора; 15 – цифровой осциллограф; 16 – спектрометр Avaspec Dual; 17 – ПК

В качестве источника возбуждения использовался импульсно-периодический твердотельный YAG:Nd-лазер с ламповой накачкой активного элемента, с длиной волны излучения на первой гармонике 1064 нм. Длительность

импульса излучения составляла 16 нс, максимальная плотность энергии в импульсе на первой гармонике (1064 нм) – 6 Дж/см². Плотность энергии варьировалось с помощью нейтральных (5) светофильтров. Для контроля энергии импульса, часть излучения отводилась с помощью призмы Дове (2) на измеритель энергии лазерного импульса (4), в качестве которого использовался колориметр ИКТ-1Н. Форма лазерного импульса регистрировалась ФЭК-28КПУ (3). Для формирования пучка с однородным распределением освещенности по поверхности и резким контрастом на границах использовался проекционная схема формирования пучка. Для этого лазерный пучок через интерференционное зеркало (6) проходил формирующую диафрагму (7) и направлялся на образец (10) поворотным зеркалом (9) через объектив (8). Образец (10) помещался на металлическое основание (11), расположенное на столике микроскопа (13). Пространственное распределение «горячих точек» регистрировался цифровой камерой SONY α 500 (13) через микроскоп МБС-10 (12).

Осциллограммы свечения «горячих точек» в наносекундном масштабе времени регистрировались фотоэлектронным умножителем (14). Применение проекционного способа позволило регистрировать свечение только с участка поверхности образца, облучаемого лазерным пучком. Для этого фотоэлектронный умножитель зонного обзора (14) фиксировал кинетику интенсивности свечения образца, прошедшего через формирующую диафрагму (7) и прозрачное в видимой области интерференционное зеркало (6) в направлении обратном лазерному излучению. Измеряемые сигналы поступали на входные каналы цифрового осциллографа (15). Спектры свечения лазерного факела регистрировались спектрометром AvaSpec DUAL (16). На рис. 1 сплошными стрелками показан путь лазерного излучения и пунктирными стрелками показан путь излучения образца.

Для регистрации интегрального спектра свечения лазерной плазмы использовались два оптоволоконных спектрометра:

- AvaSpec 2048L (спектральный диапазон 340-1100 нм, спектральное разрешение 3 нм).

- AvaSpec DUAL (спектральный диапазон 220-900 нм, спектральное разрешение 1,5 нм).

Использование двух спектрометров обусловлено различием их параметров. AvaSpec DUAL обладает лучшим спектральным разрешением, что позволяет с большей точностью определять длину волны спектральной линии, но спектральный диапазон, состоящий из двух участков, представляет дополнительные сложности для регистрации сплошного спектра плазмы. Поэтому AvaSpec 2048L использовался для измерения всего спектра плазмы взрыва, а AvaSpec DUAL для более точной регистрации атомных линий с целью расшифровки полученных спектров лазерной плазмы.

Идентификация спектров производилась при помощи таблиц известных атомных и молекулярных спектров [31].

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4В51	Байсакова Алина Рустамовна

Школа	ИШНПТ	Отделение	ОМ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	12.04.02 «Опготехника»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; наблюдение;
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведение НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Определение потенциального потребителя результатов исследования;
2. Разработка устава научно-технического проекта	Определение: цели и результата проекта, организационной структуры проекта и ограничений и допущении проекта
3. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование этапов работы, определение календарного графика и трудоемкости работы, расчет бюджета, определение рисков
4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Оценка социальной эффективности проекта
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Диаграмма Ганта	

Дата выдачи задания по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Николаенко Валентин Сергеевич			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В51	Байсакова Алина Рустамовна		

2. В данном разделе необходимо представить перечень работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ.

3.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Объектом исследования настоящей работы является бризантное взрывчатое вещество – тетранитропентаэритрит (ТЭН). Исследованы механизмы образования «горячих точек» в ТЭНе при электронно-пучковом и лазерном инициировании. Потенциальными потребителями результатов исследования являются – Институт химической кинетики и горения СО РАН, г. Новосибирск, и ФГУП ФНПЦ «Алтай», г. Бийск.

3.2 Разработка графика проведения научного исследования

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный план проекта. Линейный график представлен в таблице 1.

Таблица 2 – Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1.1	Составление и утверждение темы дипломной работы	3	1.02.19	3.02.19	Руководитель
1.2	Анализ актуальности темы	2	4.02.19	5.02.19	Рук.-студ.
2.1	Поиск и изучение материала по теме	5	10.02.19	15.02.19	Студ.-рук.
2.2	Выбор направления исследования	2	15.02.19	17.02.19	Руководитель
2.3	Календарное планирование работ	1	17.02.19	18.02.19	Руководитель
3.1	Изучение литературы по теме	11	19.02.19	30.03.19	Студент
3.2	Подбор нормативных документов	4	30.03.19	3.04.19	Студ.-рук.
3.3	Изучение экспериментальной методики	5	3.04.19	8.04.19	Студент
4.1	Исследование механизмов образования	17	8.04.19	25.04.19	Студ.-рук.

	горячих точек при лазерном воздействии				
4.2	Исследование низкочередового оптического пробоя на погл. неоднородностях	4	25.04.19	28.04.19	Студ.-рук.
5.1	Анализ результатов	5	28.04.19	2.05.19	Студ.-рук.
5.2	Заключение	4	2.05.19	6.05.19	Студент
<i>Итого:</i>		63			

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни.

Таблица 3 – Календарный план-график проведения ВКР по теме

Код работы	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ											
				февр.			март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1.1	Составление и утверждение темы диссертации	Руководитель	3	1											
1.2	Анализ актуальности темы	Рук.-студ.	2	1											

2.1	Поиск и изучение материала по теме	Студ.-рук.	5	1										
2.2	Выбор направления исследования	Руководитель	2			1								
2.3	Календарное планирование работ	Руководитель	1			1								
3.1	Изучение литературы по теме	Студент	11				1	2	3					
3.2	Подбор нормативных документов	Студ.-рук.	4							1				
3.3	Изучение экспериментальной методики	Студент	5							1	2	3		
4.1	Исследование механизмов образования горячих точек при лазерном воздействии	Студ.-рук.	17							1	2	3	4	5
4.2	Исследование низкочередового оптического пробоя на погл. неоднородностях	Студ.-рук.	4										1	2

5.1	Анализ результатов	Студ.-рук.	5															
5.2	Заключение	Студент	4															

 – Студент;  – Руководитель.

3.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования (НТИ) должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

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

Таблица 4 – Расчет материальных затрат

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Тетранитропентаэритрит (ТЭН)	В виде порошка	800 мг	1	800
Бумага офисная	SvetoCopy, А4	150 листов	1,5	225
Картридж для принтера	Epson T0921, 250 стр.	1 шт	1090	1090
Интернет	FibreNet, стандартный пакет	3 месяца	350	1050
Ручка	Простая	1 шт.	20	20
Тетрадь	96 листов	1 шт.	25	25
Всего за материалы				3210
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				160,5
Итого по статье С _м				3370,5

3.4 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. В данной работе используется оборудование, приобретенное ранее. Амортизационные отчисления за период использования оборудования рассчитываются по формуле:

$$C_A = \Phi_n \cdot H_A \cdot T_{об} / F_0,$$

где Φ_n стоимость оборудования, руб.

H_A - норма амортизации, %.

$T_{об}$ - продолжительность использования оборудования за время проведения НИР, $T_{об}=20*8=160$ ч.;

F_0 - годовой действительный фонд рабочего времени.

Таблица 5 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней	119	119
- выходные дни	105	105
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	24
- невыходы по болезни	-	-
Количество рабочих дней	199	223
Действительный годовой фонд рабочего времени (час)	1592	1784

Расчет затрат на спецоборудование для научных работ сведен в таблицу 10.

Таблица 6 – Расчет затрат на спецоборудование для научных работ»

№	Наименование оборудования	Φ_n , руб.	H_A , %	$T_{об}$, ч.	F_0 , ч.	C_A , руб.
1	Фотоэлектронный умножитель ФЭУ-118	15000	20	160	1784	269,0
2	Монохроматор МДР-23	180000	11	160	1784	1775,8
3	Фотоаппарат Sony α 500	20000	15	160	1784	269,1

4	Осциллограф Tektronix DPO 3034	100000	10,4	160	1784	932,7
5	Ускоритель электронов	150000	10,4	160	1784	1399,1
6	Микроскоп МБС-10	18000	15	160	1784	242,1
7	Лазер YAG: Nd	300000	10,4	160	1784	2798,2
8	Остальная аппаратура	10000	9	160	1784	80,7
Итого:						7766,7

3.5 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.

Основная заработная плата научно-технического персонала определяется по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}$$

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

$T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{м} \cdot M}{F_{о}}$$

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

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

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

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 4).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн},$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

Данные для расчета:

1. Оклад у научного руководителя – 33162 руб., оклад у инженера 14874р.
2. Действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала (руководитель – 199 дн., инженер – 223 дн.).
3. Коэффициент дополнительной заработной платы 15%
4. Районный коэффициент – 30%;

Определяем основную заработную плату для инженера:

$$Z_{дн} = \frac{14874 \cdot 11,2}{223} = 747 \text{ руб./день}$$

$$Z_{осн} = 747 \cdot 61 = 45569 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата инженера:

$$Z_{доп} = 0,15 \cdot 45569 = 6835 \text{ руб.}$$

Итого затраты на оплату труда:

$$Z_{\text{общ}} = 45569 + 6835 = 52404 \text{ руб.}$$

Общая сумма заработной платы с учетом районного коэффициента:

$$Z_{\text{общ}} = 52404 \cdot 1,3 = 68125 \text{ руб.}$$

Теперь рассчитаем основную заработную плату *научного руководителя*:

$$Z_{\text{осн}} = \frac{33162 \cdot 10,4}{199} = 1733 \text{ руб./день}$$

$$Z_{\text{осн}} = 1733 \cdot 41 = 71056 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = 0,15 \cdot 71056 = 10658 \text{ руб.}$$

Итого затраты на оплату труда:

$$Z_{\text{общ}} = 71056 + 10658 = 81714 \text{ руб.}$$

Общая сумма заработной платы с учетом районного коэффициента:

$$Z_{\text{общ}} = 81714 \cdot 1,3 = 106228 \text{ руб.}$$

Тогда, общая сумма затрат на заработную плату составит:

$$Z_{\text{общ}} = 106228 + 68125 = 174353 \text{ руб.}$$

Расчет затраты на основную заработную плату сведен в таблицу 6.

Таблица 7 – Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Оклад (руб.)	Средне-дневная заработная плата (руб./день)	Основная заработная плата (руб.)	Дополнительная заработная плата (руб.)	Заработная плата с учетом районного коэффициента (руб.)
-------------	--------------	---	----------------------------------	--	---

1.Руководитель	33162	1733	71056	10658	106228
2. Инженер	14874	747	45569	6835	68125
Итого:					174353

3.6 Отчисления во внебюджетные фонды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot Z_{\text{общ}},$$

$$C_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot 174353 = 47249,6 \text{ руб.}$$

где $k_{\text{внеб}}=27,1\%$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.);

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.

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов;

$$C_{\text{накл}} = 0,8 \cdot 174353 = 139482 \text{ руб.}$$

Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}},$$

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

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно- исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{финр}^{исп1} = \frac{4344555,7}{5419612,6} = 0,8;$$

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты.

Реализация данной научно-исследовательской работы имеет прежде всего научную значимость, а также значимость для горнодобывающей промышленности. Установлен механизм образования «горячих точек» в ТЭНе при электронно-пучковом и лазерном инициировании. Согласно полученным результатам, можно изменять чувствительность взрывчатых веществ к внешним воздействиям. Данные результаты можно применить в горнодобывающей промышленности для безопасных подрывных работ. В горнодобывающей промышленности самым распространенным является система электровзрыва-

ния зарядов. Главным недостатком электрических взрывных устройств является возможность несанкционированного взрыва, приводящего к несчастным случаям и авариям вследствие воздействия какого-либо высокочастотного сигнала, статического электричества и токов наводки. Изменяя чувствительность взрывчатых веществ можно полностью управлять подрывными работами.