

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
 НОЦ И.Н. Бутакова

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Моделирование микровзрывного разрушения капель топливных эмульсий при интенсивном нагреве

УДК 662.75-046.46-047.58

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б5Б	Вяткин Александр Витальевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Стрижак Павел Александрович	д.ф.-м.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Пискунов Максим Владимирович	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора Игнат Валерьевич	к.э.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова Анна Александровна	—		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Теплоэнергетика и теплотехника	Антонова Александра Михайловна	к.т.н		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
 НОЦ И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ А.М. Антонова
 (Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Б5Б	Вяткин Александр Витальевич

Тема работы:

Моделирование микровзрывного разрушения капель топливных эмульсий при интенсивном нагреве	
Утверждена приказом директора ИШЭ	Приказ № <u>3690/с</u> от <u>13.05.2019</u>

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <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>	Объект исследования – процесс распада капель топливных смесей. Предмет исследования – процесс распада капель топливных смесей и температурные поля в системе «воды-горючая жидкость».
--	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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>	1. Аналитический обзор; 2. Решение тестовой задачи; 3. Разработка модели по ранее проведенным экспериментам; 4. Анализ полученных данных; 5. Заключение.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Слайды презентации на _____ страниц
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
<i>Финансовый менеджмент</i>	Подопригора И.В., Отделение социально-гуманитарных наук, Доцент
<i>Социальная ответственность</i>	Сотникова А.А., Ассистент
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
--	--

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Стрижак П.А.	д.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б5Б	Вяткин А.В.		

**Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы
бакалавриата по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
P1	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе на <i>иностранном</i> языке, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности.
P2	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий при решении <i>комплексных</i> инженерных задач
P3	Демонстрировать <i>личную</i> ответственность, приверженность и следовать профессиональной этике и нормам ведения <i>комплексной</i> инженерной деятельности с соблюдением правовых, социальных, экологических и культурных аспектов
P4	Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.
P5	К достижению должного уровня экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P6	Осознавать необходимость и демонстрировать <i>способность к самостоятельному обучению</i> в течение всей жизни, непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P7	Применять <i>базовые</i> математические, естественнонаучные, социально-экономические знания в профессиональной деятельности в <i>широком</i> (в том числе междисциплинарном) контексте в <i>комплексной</i> инженерной деятельности в производстве тепловой и электрической энергии.
P8	Анализировать научно-техническую информацию, ставить, решать и публиковать результаты решения задач <i>комплексного</i> инженерного анализа с использованием <i>базовых</i> и <i>специальных</i> знаний, нормативной документации, современных аналитических методов, методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования
P9	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять <i>комплексные</i> инженерные проекты с применением базовых и специальных знаний, современных методов проектирования для достижения <i>оптимальных</i> результатов, соответствующих техническому заданию <i>с учетом</i> нормативных документов, экономических, экологических, социальных и других ограничений
P10	Проводить <i>комплексные</i> научные исследования в области производства тепловой и электрической энергии, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных, и их подготовку для составления обзоров, отчетов и научных

	публикаций с применением <i>базовых</i> и <i>специальных</i> знаний и <i>современных</i> методов.
P11	Использовать информационные технологии, использовать компьютер как средство работы с информацией и создания новой информации, осознавать опасности и угрозы в развитии современного информационного общества, соблюдать основные требования информационной безопасности.
P12	Выбирать и использовать необходимое оборудование для производства тепловой и электрической энергии, управлять технологическими объектами, использовать инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений
<i>Специальные профессиональные</i>	
P13	Участвовать в выполнении работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов теплоэнергетического производства, контролировать организацию метрологического обеспечения технологических процессов теплоэнергетического производства, составлять документацию по менеджменту качества технологических процессов на производственных участках.
P14	Организовывать рабочие места, управлять малыми коллективами исполнителей, к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, планированию работы персонала и фондов оплаты труда, организовывать обучение и тренинг производственного персонала, анализировать затраты и оценивать результаты деятельности первичных производственных подразделений, контролировать соблюдение технологической дисциплины.
P15	Использовать методики испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства в соответствии с профилем работы, планировать и участвовать в проведении плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, в том числе, при освоении нового оборудования и (или) технологических процессов.
P16	Организовывать работу персонала по обслуживанию технологического оборудования теплоэнергетического производства, контролировать техническое состояние и оценивать остаточный ресурс оборудования, организовывать профилактические осмотры и текущие ремонты, составлять заявки на оборудование, запасные части, готовить техническую документацию на ремонт, проводить работы по приемке и освоению вводимого оборудования.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 101 страница, 35 рисунков, 24 таблицы, 44 источника, 5 приложений.

Ключевые слова: моделирование, микровзрыв, двухкомпонентная капля, дизельное топливо, рапсовое масло, кондуктивный теплообмен.

Объектом исследования является процесс распада капель топливных эмульсий.

Цель работы – математическое моделирование процесса распада капель перемешанных и неперемешанных жидкостей при кондуктивном нагреве.

В процессе исследования проводились вычислительные эксперименты по определению времени распада перемешанной и неперемешанной капли.

В результате исследования создана модель, позволяющая определить время распада капли перемешанной и неперемешанной жидкости при кондуктивном нагреве, где в качестве не горючего компонента использовалась вода, а в качестве горючего – дизельное топливо и рапсовое масло.

Область применения: модель применима для определения оптимальных характеристик топливных смесей для увеличения их эффективности сгорания.

Экономическая значимость работы состоит в увеличении эффективности и снижении расхода топлива.

В будущем планируется совершенствование модели путем увеличения количества рассматриваемых осей и с учетом падения капли на нагретую подложку.

Оглавление

Введение	8
1 Обзор литературы.....	9
2 Основные результаты исследования и их анализ	24
2.1 Описание модели и решение тестовой задачи.....	24
2.2 Моделирование неперемешанных капель.....	29
2.3 Моделирование перемешанных капель	53
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	60
3.1 Оценка конкурентоспособности разработки	61
3.2 SWOT – анализ	61
3.3 Планирование научно-исследовательских работ	63
3.4 Определение ресурсоэффективности проекта	70
Заключение по разделу	71
4 Социальная ответственность	74
Введение	74
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	74
4.2 Производственная безопасность	76
4.3 Экологическая безопасность проекта	83
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	84
Заключение по разделу	85
Заключение	86
Список использованных источников	89
Приложение А – Оценочная карта качества и перспективности разработки по технологии QuaD.....	94
Приложение Б – SWOT-анализ проекта	96
Приложение В – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей	99
Приложение Г – Временные показатели проведения работ	100
Приложение Д – Календарный план-график реализации проекта (диаграмма Ганта)	101

Введение

Данная выпускная квалификационная работа (ВКР) посвящена изучению процесса распада перемешанных и неперемешанных капель, состоящих из горючего компонента, при кондуктивном нагреве. В ходе работы сформулирована математическая модель процесса кондуктивного нагрева капли с учетом и без учета фазового перехода.

Модель создана в программном пакете Ansys Fluent с использованием ранее полученной экспериментальной базы. В первом приближении модель состоит из трех слоев в случае неперемешанных компонентов, и двух слоев в случае перемешанных компонентов. В качестве критериев распада был выбран наиболее распространенный механизм: перегрев межфазной границы. Для верификации математической модели решена задача теплопроводности двухслойной пластины.

В процессе решения получены распределения температурных полей в толщине капли при различных концентрациях воды и горючего компонента (дизельного топлива и рапсового масла) и условиях того, что компоненты неперемешаны и перемешаны. Рассчитывая более простую модель без учета фазового перехода получены данные, которые частично совпадают с экспериментальными. Добавив условие фазового перехода воды в пар, путем подбора частоты испарения получены времена распада капель, полностью совпадавшие с экспериментальными.

По причине того, что при проведении экспериментов с перемешанными каплями время распада достаточно велико, единственная практически значимая модель, результаты которой частично совпадают с экспериментом, получена при концентрации 10 об.% – воды и 90 об.% – дизеля и объеме 10 мкл.

Объектом исследования является процесс распада капель топливных эмульсий.

Предмет исследования – время распада капель топливных эмульсий и температурные поля в системе «вода-горючая жидкость».

1 Обзор литературы

В современном мире с каждым годом все острее проявляется проблема истощения природных топливных ресурсов. Энергия, получаемая в результате сжигания жидкого топлива, имеет очень обширное применение, начиная от транспорта и заканчивая огромными заводами. Наиболее распространёнными видами топлива являются бензин, дизель и т.д. Стоимость топлива с каждым годом растет. Основной проблемой является увеличение эффективности его показателей, а именно увеличение полноты выгорания топлива, уменьшение времени задержки зажигания, снижение антропогенных выбросов и т.д. Одним из способов увеличения эффективности показателей топлив является создание различных эмульсий, суспензий, растворов, при нагреве которых существенно увеличивается площадь поверхности испарения и выгорания [1].

Цели разработки модели для определения оптимальных параметров перемешанных и перемешанных капель топливных эмульсий можно определить из статьи [2]. Авторы данной статьи дают четкое описание процесса распада водо-дизельных капель в цилиндре двигателя и преимуществ использования эмульсий в качестве топлива в дизельных двигателях. Отличительная черта использования эмульсий скрыта в процессе распада распыленных капель, то есть, как и говорилось ранее, в процессе микровзрыва. На рисунке 1 показана принципиальная схема микровзрыва.

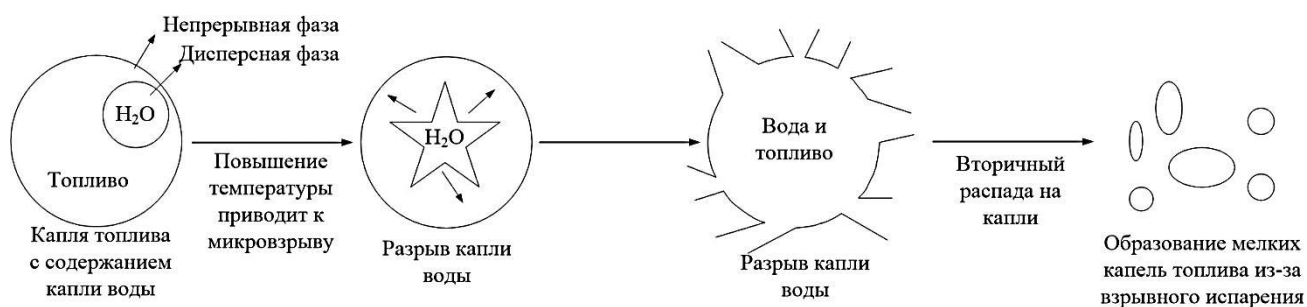


Рисунок 1 – Принципиальная схема процесса микровзрыва

Согласно [3], при микровзрыве увеличивается скорость и эффективность горения топлива. Кроме того, как отмечает автор исследования, внезапный выброс мелких капель воды образует пар высокого давления и создает

дополнительное давление на верхнюю часть поршня. Следовательно, крутящий момент двигателя увеличивается, а производительность улучшается.

В работе [2] авторы проводили эксперименты по сравнению свойств авиационного керосина, дизеля и биодизеля с их эмульсиями. Соотношение топлива к воде при создании эмульсии составляет 70 к 30 об.%. Эксперименты проведены в одноцилиндровом дизельном двигателе. В результате сделаны выводы о том, что использование топливных эмульсий по сравнению с базовым топливом приводит к общему снижению номинальной мощности и повышению механической эффективности. Пиковое давление в цилиндре, пиковая скорость тепловыделения и пиковое суммарное тепловыделение, как отмечается, выше для топливных эмульсий по сравнению с их базовыми видами топлива. Количество выбросов от топливных эмульсий зависит от степени нагрузки двигателя. Таким образом, на основе данного исследования можно прийти к выводу о том, что использование топливных эмульсий вместо исходного топлива хоть и уменьшает номинальную мощность, но в свою очередь увеличивает производительность двигателя.

В направлении изучения микровзрыва проведено большое количество экспериментальных исследований. Так в статье [4] описано экспериментальное исследование характеристик горения распространенных жидкостей, таких как керосин, бензин, дизельное топливо, нефтяные масла и нефть при условии того, что компоненты не перемешаны и перемешаны. Суть эксперимента заключалась в том, что капля помещалась на держателе над печью, температура которой регулируется в необходимом диапазоне, а поведение капли фиксировалось высокоскоростной камерой.

В ходе анализа полученных данных, установлены пороговые условия разрушения капель. Так, при температуре воздуха 150-200°C капля отрывается от держателя, при температуре 200-250°C происходит отделение мелких частиц от поверхности, распад капли на крупные частицы происходит в диапазоне температур 300-350°C, а превышая пороговое значение в 400°C, капля подвергается взрывному распаду с образованием аэрозоля, с количеством

мелких капель 200-300 и диаметром 0,01 мм. Замечено, что при увеличении температуры печи в диапазоне 250-550°C время распада капли уменьшается в 3-7 раз, а размер капель аэрозоля снижается на 80-90%. Определено, что при концентрации 50 об.% горючего компонента и 50 об.% воды происходит самый неэффективный распад. Наиболее удачный случай является тот, когда в каплю добавляют воду в концентрации 3 об.%. В этом случае распад почти мгновенно приводит к образованию мелкого аэрозоля и парогазового облака.

Аналогичное исследование описано в [5], авторы проводят экспериментальное исследование капель, образованных различными способами: эмульсий, растворов, суспензий и неперемешанных двухжидкостных капель. Диапазон изменения температур в работе составляет 250-450°C, а нагрев капли осуществлялся кондукцией, конвекцией и излучением, что характерно для любого технологического процесса. В результате работы установлено, что наиболее продолжительное время распада капель наблюдается при радиационном нагреве, однако в данном случае положительным оказывается тот факт, что размеры капель образовавшегося аэрозоля малы. Подобного нельзя сказать для условия кондуктивного нагрева. В данных условиях время распада минимально, но отношение площадей поверхности образовавшихся вторичных капель к первоначальной площади ниже, чем при конвективном и радиационном нагреве. Таким образом, сделан вывод о том, что в реальных технологических процессах за счет совокупности трех процессов нагрева значения времени распада и отношение площадей будет средним, относительно трех исследованных механизмов.

Широкая экспериментальная и инновационная материальная база позволяет создать модель, первоочередной задачей которой является получение характеристик распада капель различных топливных эмульсий без проведения экспериментов, осуществление которых может быть весьма дорогостоящим и долгосрочным процессом.

Статья [6] посвящена исследованию процессов диспергирования и микровзрыва капли топливной эмульсии путем высокоточного численного

моделирования. В исследовании рассматривались кипящая поверхность воды, граница раздела между топливом и водой, некипящая поверхность топлива. В ходе моделирования выяснено, что на процесс образования пузырьков в капле влияет размер и месторасположение субкапли воды, благодаря этому выявлены процессы распада капли. Эффект диспергирования капли топлива происходит при росте пузырьков в водной части. Эффект микровзрыва появляется при одновременном росте нескольких отдельных пузырьков. Степень распада капель путем микровзрывов может быть больше из-за взаимодействия между несколькими взрывами. Полученные данные говорят о том, что существует возможность регулирования эффектов диспергирования и микровзрыва путем изменения состава эмульсии и окружающей среды.

Авторы предыдущего исследования являются так же авторами статьи [7], посвященной моделированию распределения температурного поля в капле топливной эмульсии под воздействием конвективного нагрева. Изучение распределения температурного поля в капле очень важно, так как оно определяет местоположение инициирования парового пузырька из перегретой воды. Первая часть данного исследования посвящена изучению конвективного нагревания капель водо-дизельной эмульсии при типичных условиях сгорания с использованием высокоточного численного моделирования. Так как данная модель не позволяет должным образом определить температурное поле внутри капли, то во второй части исследования предлагается новая модель, которая учитывает угловую зависимость эффективной проводимости и эксцентриситет температурного поля. Результаты модели хорошо согласуются с экспериментальными исследованиями. При помощи данной модели существует возможность прогнозирования зарождения пузырьков пара при переходном режиме ($100 < Pe_L < 500$).

Выбрав другой вид альтернативного топлива – биоэтанол, ученые [8] численно определяют характеристики горения одной и нескольких капель эмульсии, состоящей из этанола и декана, при условии диспергирования. Определение необходимых данных проводилось путем направленного

численного моделирования. Суть процесса заключается в том, что перед распадом на основном компоненте – декане, образуется не устойчивое пламя, что приводит к вскипанию этанола, стремительному росту пузырька пара и разрушению капли. В работе определено два вида пламени: поверхностное и восходящее. В исследовании рассмотрено условие при $Re=30$, в данном случае восходящее пламя будет формироваться с умеренной скоростью испарения. В результате работ установлено, что скалярная скорость рассеивания, описывающая перемешивание компонентов при сжигании, является преимущественно отрицательной, что особенно характерно для диспергирования. В конфигурации с несколькими каплями взаимодействие между каплями может быть улучшено, и горение группы капель может модулироваться путем кратковременного диспергирования. Следовательно, данный эффект является дополнительным фактором в группировке капель, даже когда геометрическая конфигурация группы капель остается неизменной. Данное исследование имеет решающее значение для точного моделирования сгорания распыляемых эмульсионно-топливных аэрозолей, смешанных с биотопливом.

При дальнейших изучениях топливной эмульсии, состоящей из этанола и декана, создана модель численного определения распада капель в условиях диспергирования [9]. Исследована динамика взаимодействия с поверхностью, а также распыление после распада для прикрепленной и свободной капли. Анализ проводился с учетом поведения роста пузырьков, разрушения капель и смешивания паров этанола. Целью проведенного исследования является определение гидродинамического механизма вторичного распыления, вызванного эффектом диспергирования капли эмульсии находящейся на стенке, путем численного моделирования. Условия окружающей среды имитируют камеру сгорания дизельного двигателя.

В результате анализа полученных данных определено, что степень распада капли при диспергировании определяется количеством и размером пузырьков пара. Эффективность распада зависит от размера пузырьков и

скорости их роста. Пузырьки, находясь недалеко друг от друга, начинают сливаться и образуют один пузырь, разрыв которого вызывает сильное разрушение капли.

В случае рассмотрения капли, находящейся на поверхности, эффект диспергирования может привести к отрыву капли от плоскости. Поверхностное натяжение, вызванное движением отдачи вогнутой поверхности, быстро меняет форму на выпуклую и вытягивает каплю из стенки в сочетании эффектом отскока.

Численная модель разрушения многокомпонентной капли представлена в статье [10]. Первая часть модели описывает распределение массы и температуры внутри капли и рост пузырьков в капле. Сформулирована модель, точно описывающая рост пузырьков в широком диапазоне степеней перегрева и давлений. Вторая часть модели определяет, когда и как происходит процесс распада. Установлено, что более высокое давление способствует возникновению микро-разрушения. Давление значительно меньшее критического значения замедляет этот процесс. Процесс микровзрыва быстрее всего происходит, когда размер капель велик или при наличии в составе компонентов в соотношении 50/50 об. %.

Ученые из Кореи провели исследования по анализу точных характеристик поведения эмульгированного топлива. В ходе данного исследования проведен ряд экспериментов и создана численная модель [11]. В отличие от предыдущих исследований вместо воды для создания топливной эмульсии использовался перекись водорода (H_2O_2) с концентрацией в капле 2, 12, 22, 32, 42 об. %. Для анализа характеристик испарения эмульгированного топлива эксперимент по выпариванию капель топлива проводили с помощью нагревательной пластины. Установлено, при увеличении концентрации перекиси водорода в капле испарение происходит быстрее. Численный анализ выполнен с моделированием микро-капель эмульгированного топлива на основе результатов проведенных экспериментов. Анализ эмульгированного топлива проводился в том же диапазоне смещения, что и при

экспериментальном исследовании (от 2 об.% до 42 об.% перекиси водорода в капле). Созданная модель подтверждает то, что максимальная скорость испарения достигается при концентрации водорода 42 об.%.

В одной из ранних статей [12], посвященной исследованию распада многокомпонентной капли микровзрывом с использованием моделирования, выделены четыре важных этапа, описывающих микровзрывное разрушение, это:

- 1) определение роста температуры и массовой составляющей компонентов внутри капли;
- 2) выявление образования пузырьков;
- 3) отслеживание роста пузырьков;
- 4) фиксирование микровзрыва.

Разработанная модель проверена путем сравнения прогнозируемого роста пузырьков и предела перегрева капли с соответствующими экспериментальными данными. Модель использовалась для анализа различных параметров, влияющих на начало гомогенного зародышеобразования (зародышеобразование является обязательным условием для микровзрыва) и последствий микровзрыва. При рассмотрении различных компонентов капли установлено, что различия в летучести компонентов и оптимальный состав способствуют микровзрыву. Возникновение микровзрыва сокращает время существования капли, этот эффект наиболее сильно проявляется для крупных капель.

Упрощенная модель процесса диспергирования или микровзрыва представлена в статье [13]. В основе модели лежит предположение о том, что капля воды располагается в центре капли топлива, как показано на рисунке 2. Температура поверхности капли топлива принимается постоянной, а испарение топлива игнорируется. Проникновение тепла от поверхности капли внутрь ее описывается одномерным уравнением теплопроводности. Это уравнение решается аналитически с граничным условием Дирихле на ее поверхности. Решение данного уравнения определяет время распределения температуры

внутри капли. Время выравнивания температуры между внешней и внутренней границами топлива называется временем задержки микровзрыва. Показано, что данные, полученные при моделировании процесса, согласуются с экспериментальными данными. Данная упрощенная модель говорит об увеличении времени задержки при увеличении размера капель, для фиксированных фракций воды и массы топлива, что соответствует экспериментальным наблюдениям.

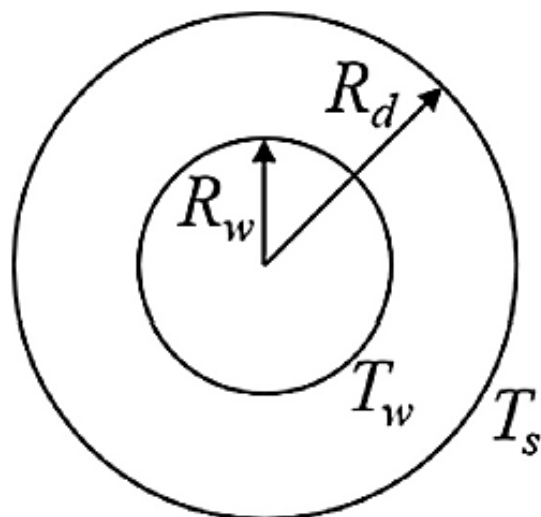


Рисунок 2 – Упрощенная модель, показывающая взаимное расположение капли воды (R_w) и капли дизельного топлива (R_d). T_w – температура границы раздела вода-дизель; T_s – температура поверхности капли

Процессы микровзрыва при контакте капли топливной эмульсии с нагретой поверхностью один из вопросов, который необходимо исследовать при изучении данной области. Контакт капли эмульсии с нагретой поверхностью требует особого внимания при изучении и последующего моделирования данных процессов.

Моделирование процесса вскипания капли жидкости при ее контакте с нагретой поверхностью рассматривается в статье [14]. В исследовании объем газа, генерируемого на границе раздела вследствие испарения жидкости, рассчитывается по балансу энергии, передаваемой жидкой фазе, и скрытой теплоте жидкости. Исследовано влияние нескольких безразмерных чисел, включая число Бонда, число Архимеда в жидкости, число Стефана в газе, число

Прандтля, коэффициент плотности и равновесный угол контакта на поведение капли жидкости. Моделирование процесса вскипания капли при ее контакте с поверхностью проведено в двухмерном пространстве и представлены визуальные данные.

В ходе математического моделирования определено, что при уменьшении силы поверхностного натяжения число Бонда увеличивается и вызывает дробление капли. В этой ситуации капля разрывается, что приводит к увеличению поверхности капли и вызывает более высокую скорость испарения. Показано, что число Архимеда не оказывает существенного влияния на скорость испарения. Уменьшение плотности жидкости ведет к уменьшению веса капли вместе со степенью ее деформации. В этом случае поверхность контакта между нагретой стенкой и жидкой частью уменьшается, что приводит к снижению скорости испарения.

В статье зарубежных исследователей [15] проведен обзор опубликованной литературы, связанной с взаимодействием капли топливной эмульсии и нагретой поверхности. Обзор делится на четыре части, каждая из которых основывается на одном из основных режимов теплопередачи: испарение пленки жидкости, пузырьковое кипение, режим переходного кипения, и режим кипения пленки жидкости [16,17]. На рисунке 3 изображена зависимость поведения падающей капли и температуры нагретой поверхности. Как видно из рисунка, существуют значительные различия между режимами. Таким образом, предприняты попытки количественно определить границы перехода между режимами с использованием как гидродинамических, так и теплообменных соображений [15].

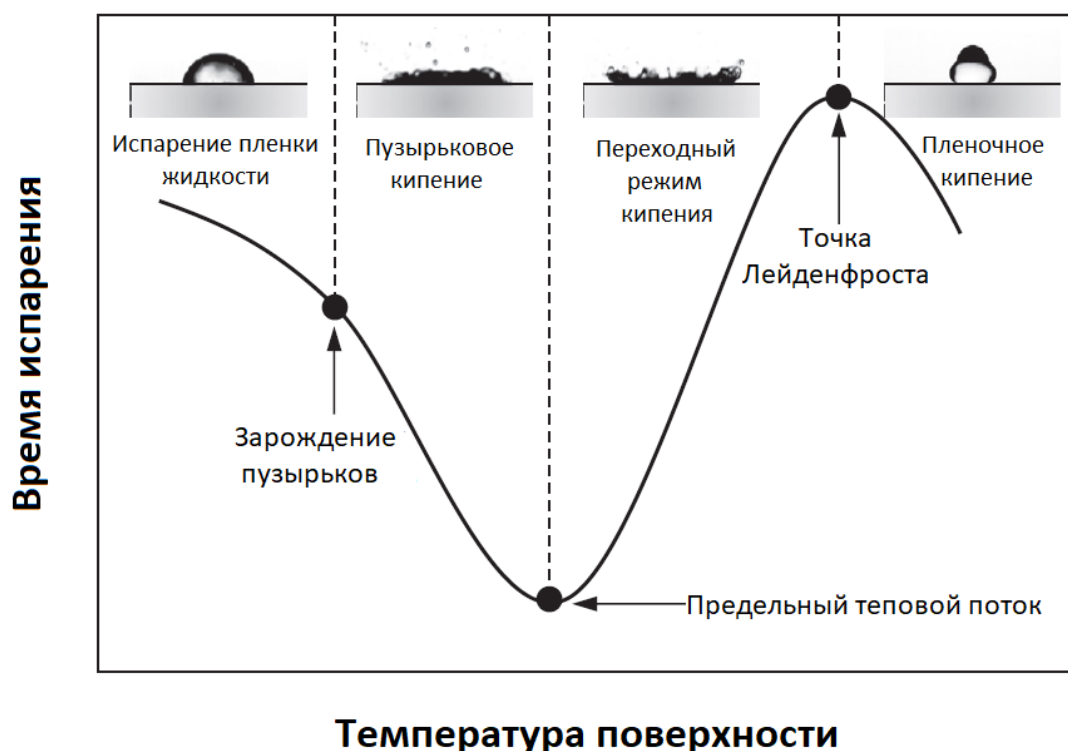


Рисунок 3 – Зависимость поведения падающей капли и температуры нагретой поверхности

Кипение пленки жидкости наблюдается в случае превышения температуры падающей капли над температурой нагретой поверхности или же когда температуры поверхности недостаточно для образования пузырьков. В данном случае капля при падении на поверхность растекается по ней и истончается со временем, на рисунке 4 изображена упрощенная схема данного процесса. Относительно данного режима поведения капли приведены исследования ученых со всего мира влияющих на данный процесс. Так, в работе [18] ученые предложили модель прогнозирования изменения объема капли и локального теплового потока на границе раздела жидкости и нагретой поверхности, основываясь на том, что паровая фаза генерируется только вдоль границы раздела фаз жидкость-пар. Влияние контактного угла на процесс испарения упавшей капли на нагретую поверхность исследовано в статье [19].

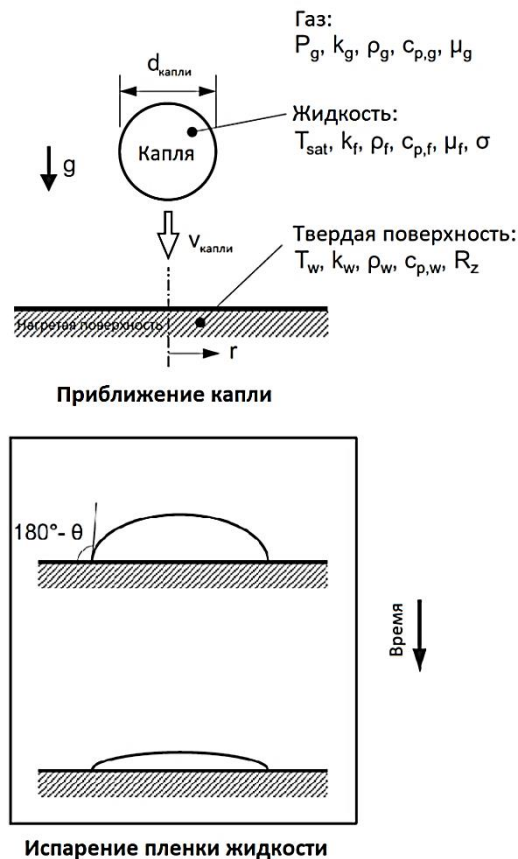


Рисунок 4 – Падение капли на нагретую поверхность

Процесс пузырькового кипения, как показано на рисунке 3, происходит с момента зарождения пузырьков кипения до момента достижения тепловым потоком критического значения. Предельный тепловой поток определяет температурный предел, при котором происходит изменение фазы жидкости во время нагрева, что резко снижает коэффициент теплопередачи, вызывая, таким образом, локальный перегрев поверхности.

Зависимость таких параметров как материал и толщина нагреваемой поверхности, объем капли, поверхностное натяжение рассмотрены рядом ученых. Российский ученый Накоряков и его соавторы в своей работе исследовали влияние на процесс кипения капли объем капли, а также толщину и материал нагреваемой поверхности. В результате проведенных исследований установлено, что с уменьшением объема капли или увеличением толщины стенки уменьшается время полного испарения капли. Что касается материала, то более длительное кипение капли наблюдалось на подложке из нержавеющей

стали, чем на изготовленной из меди. Это можно объяснить более низким значением температуропроводности [20]. В ходе проведения исследований, описанных в [21], определено, что капли с меньшим поверхностным натяжением подвержены более быстрому процессу закипания, а значит и к быстрому ее разрушению.

Процесс переходного кипения (область на рисунке 3, заключенная между точкой предельного теплового потока и точкой Лейденфроста) в данный момент мало изучен по причине того, что сложно определить режимы кипения в этой области.

При нагреве поверхности выше точки Лейденфроста, при падении капли на данную поверхность происходит образование изолирующего парового слоя, препятствующего быстрому кипению жидкости. Из-за этой «силы отталкивания» капля парит над поверхностью, а не вступает с ней в физический контакт.

Рассмотрение процесса падения капли на нагретую поверхность описано в статье [22]. В работе проведен анализ результатов при падении капли на поверхность, температура которой варьировалась от 140°C до 400°C. Установлено критическое число Вебера необходимое для разрушения падающей капли при контакте с нагретой поверхностью. Так, для режима пленочного кипения число Вебера находится в диапазоне от 50 до 80, что намного ниже, чем для сухой, не нагретой поверхности, где диапазон составляет от 200 до 260.

Взаимодействие капель топлива и нагретых поверхностей имеет большое значение во многих областях применения. В статье [23] описан численный метод, основанный на гидродинамике сглаженных частиц, для моделирования воздействия капли н-гептана на нагретую поверхность. Метод гидродинамики сглаженных частиц основан на использовании частицы Лагранжа, подчиняющиеся законам гидродинамики для описания потока жидкости. Данный метод может непосредственно моделировать как жидкую, так и паровую фазы и процесс фазового перехода между ними. Модель

подтверждена двумя экспериментами, связанными с ударным взаимодействием капли и нагретой поверхности при низких скоростях удара. Численный метод использован для прогнозирования взаимодействия капли при различных температурах и скоростях. В результате исследования выявлено, что модель в состоянии предсказать различные исходы, такие как отскок, всплеск, распад и феномен Лейденфроста, в соответствии с физическим пониманием. Исследования проводились при различных температурах поверхности.

Результаты взаимодействий между каплей и стенкой можно разделить на два режима в зависимости от того, распадется ли капля. При каждой температуре стенки существует критическое число Вебера, за пределами которого капля распадается, образуя вторичные капли. Чтобы определить критическое значение We , моделирование проводилось с использованием различных скоростей удара при падении для данной температуры стенки. В результате анализа результатов, сделан вывод о том, что для температур стенки ниже точки Лейденфроста критическая величина We уменьшается с увеличением температуры стенки, как показано на рисунке 5. В данном случае проведен анализ капли н-гептана с диаметром 1,5 мм. Над точкой Лейденфроста критическая величина We остается неизменной.

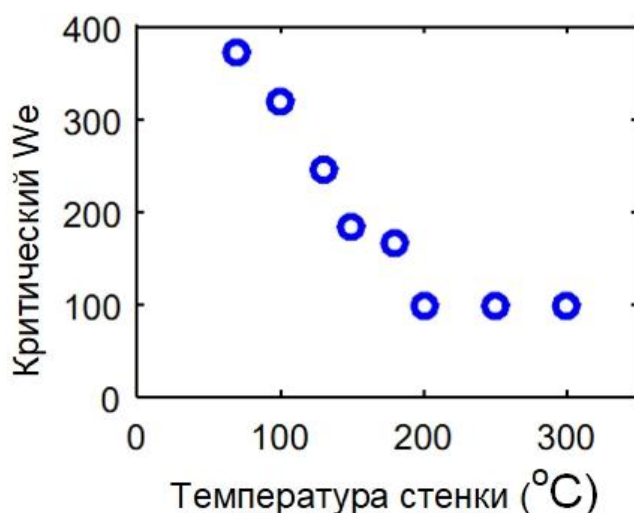


Рисунок 5 – Прогнозируемое критическое число Вебера как функция температуры

Поведение капли при критическом значении числа We во время падения ее на нагретую поверхность при температуре 350°C , показано на рисунке 6. При значении числа $We = 100$, распад капли происходит в момент ее отскока от нагретой поверхности. При значении $We = 115$, распад капли происходит в момент контакта с поверхностью, а на поверхности остаются субкапли крупного размера. При $We = 204$, капля распадается на аэрозоль, который отталкивается от поверхности.

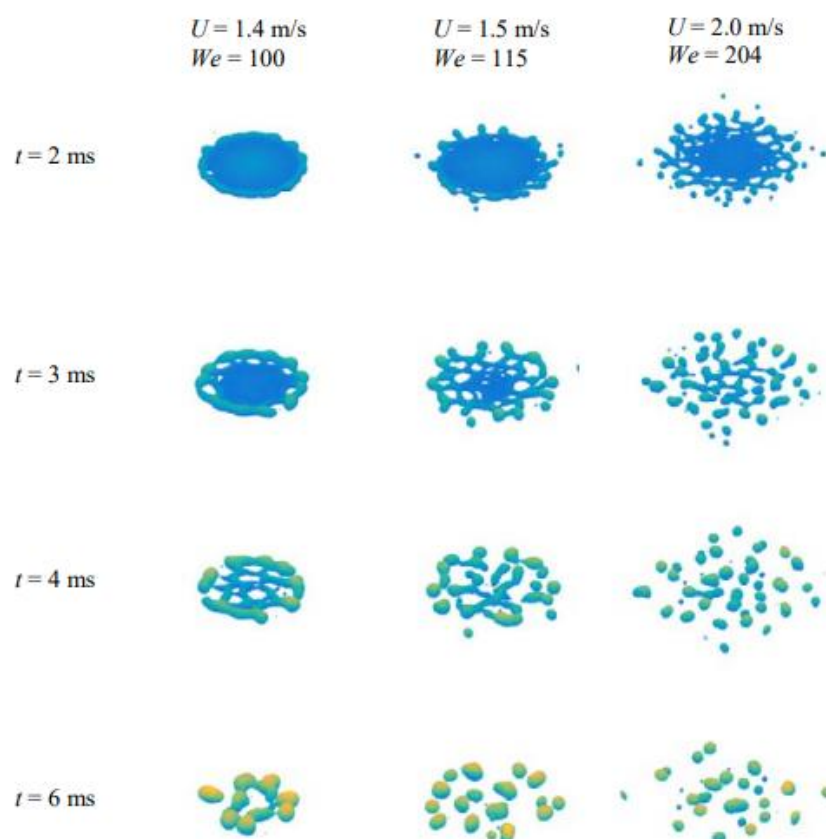


Рисунок 6 – Режимы распада капли н-гептана при ее соударении с нагретой поверхностью

Модель численного определения времени распада капли от конвективного нагрева позволяет вычислить время распада без проведения сложных и требующих большого времени опытов. Данная модель создана на основе экспериментальных данных описанных в статье [24]. В данном исследовании проводился анализ перемешанных и неперемешанных капель топливных составов разных объемов, где в качестве не горючего компонента применялась вода, а в качестве горючих дизельное топливо и рапсовое масло.

Концентрация компонентов в капле применялась 90 об.% – воды и 10 об.% – горючей жидкости; 10 об.% – воды и 90 об.% – горючей жидкости, а температура на подложке составляла 250°C, 350°C и 450°C.

В исследовании в качестве одного из горючих компонентов используется рапсовое масло, которое считается одним из видов сырья для создания биотоплива и изучение его характеристик зажигания является весьма важным аспектом для современной энергетики и машиностроения.

Так в статье [25] описаны в основном недостатки использования рапсового масла в камерах сгорания из-за его более высокой температуры кипения и вязкости, что препятствует распылению и способствует образованию различных отложений в камерах сгорания. Однако использование рапсового масла весьма экологично из-за сниженного количества выбросов углекислого газа в атмосферу по сравнению с дизельным топливом, а также из-за более простой технологии изготовления рапсовое масло дешевле дизеля. Таким образом, исследование и улучшение характеристик зажигания топлив на основе рапсового масла будет способствовать более широкому его распространению.

2 Основные результаты исследования и их анализ

2.1 Описание модели и решение тестовой задачи

Решение задачи нагрева капли при контакте с поверхностью описано в ранее проведенном исследовании, которое легло в основу создания модели. [24]. Исследование микро-взрывного распада топливных капель экспериментальным путем проводилось на установке, представленной на рисунке 7. Металлическая подложка, расположенная на индукционном нагревательном элементе, прогревалась до необходимой температуры за счет формирующихся вихревых токов. Измерение и поддержание желаемой температуры осуществлялось с использованием высокоскоростного комплекса для сбора данных National Instruments 9213 и двух малоинерционных хромель-алюмелевых термопар (температурный диапазон 0-1200°C, точность ± 1 °C и инерционность 0,1 с). Процесс распада топливной капли регистрировался при помощи высокоскоростной камеры, скорость съемки данной камеры составляла 1000 кадров секунду.

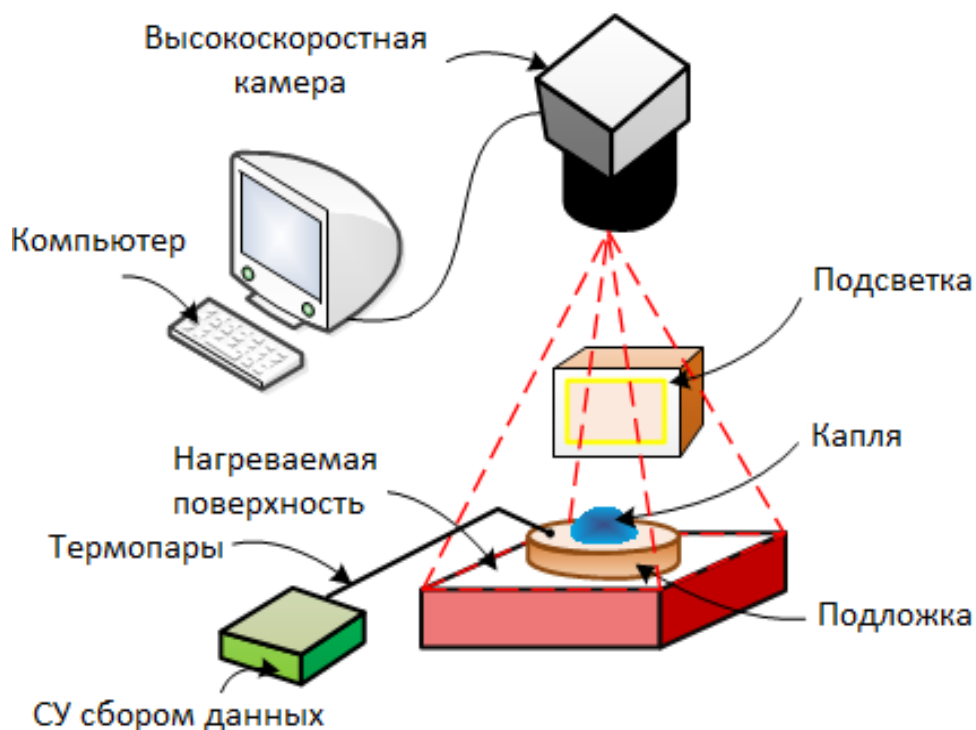


Рисунок 7 – Схема экспериментальной установки при исследовании кондуктивного нагрева двухкомпонентной капли

Моделирование процесса распада каплей выполнено в программном пакете Ansys Fluent, являющимся мощным инструментом для проведения вычисления, связанных с различными жидкостями. Ansys Fluent содержит в себе множество моделей, которые используются при расчетах для получения высокоточных результатов.

Расчет модели распада каплей в программном обеспечении ведется по методу конечных элементов (МКЭ). В данном методе, в качестве исходного объекта является материальное тело, в нашем случае капля, которая разбивается на части – конечные элементы. В результате разбивки образуется сетка, состоящая из границ элементов, а точки пересечения этих границ образуют узлы. Свойства конечных элементов задаются при помощи констант и опций [26]. Метод конечных элементов дает возможность приближенно численно решать широкий спектр физических задач, которые математически формулируются в виде системы дифференциальных уравнений или в вариационной постановке [27].

В качестве тестовой задачи решается задача теплопроводности двухслойной пластины из [28]. Графическая интерпретация задачи представлена на рисунке 8.

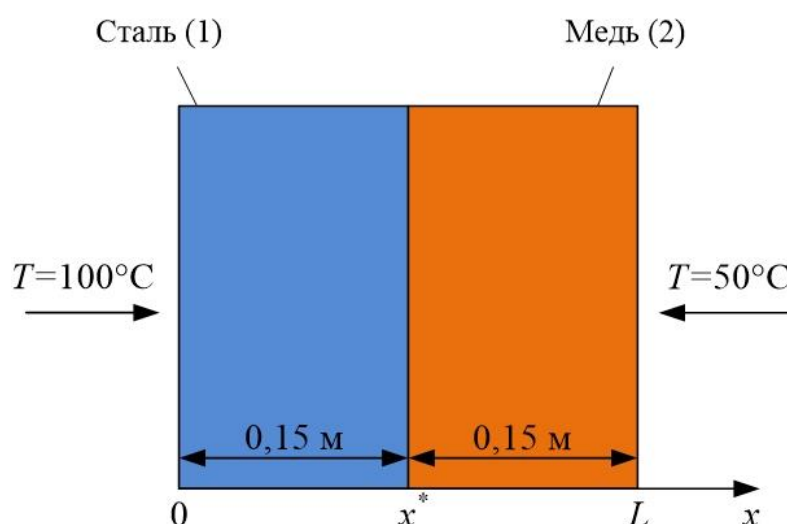


Рисунок 8 – Графическая интерпретация тестовой задачи

Условие задачи состоит в том, чтобы определить температурное поле в составной пластине через 30, 180 и 600 секунд. Толщина пластины 0,3 м,

принимается, что толщины островных частей одинаковые, то есть 0,15 м. Начальная температура 10°C. Одна часть пластины (1) – сталь, а другая (2) – медь, теплофизические свойства материалов указаны в таблице 1. На границе $x = 0$ м поддерживается постоянная температура равная 100°C, а на границе $x = L = 0,3$ м – 50°C.

Таблица 1 – Теплофизические свойства составляющих пластины для решения тестовой задачи [28]

	Теплопроводность, Вт/(м· °С)	Плотность, кг/м ³	Теплоемкость, Дж/(кг· °С)
Сталь	16,27	8030	502,48
Медь	387,6	8978	381

Математическая постановка задачи будет иметь вид:

$$\rho_1 C_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2}, 0 < x < x^*; \quad (1)$$

$$\rho_2 C_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2}, x^* < x < L; \quad (2)$$

где 1 соответствует пластине из стали, а 2 пластине из меди.

Начальные и граничные условия выглядят следующим образом:

$$t = 0: T = T_0, 0 \leq x \leq L; \quad (3)$$

$$x = 0: T = T_1, t > 0; \quad (4)$$

$$x = L: T = T_2, t > 0; \quad (5)$$

$$\begin{cases} T_1(t, x^*) = T_2(t, x^*), \\ -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} \Big|_{x=x^*} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} \Big|_{x=x^*}. \end{cases} \quad (6)$$

На рисунке 9 показано изменение температурного поля в двухслойной пластине в исследуемых промежутках.

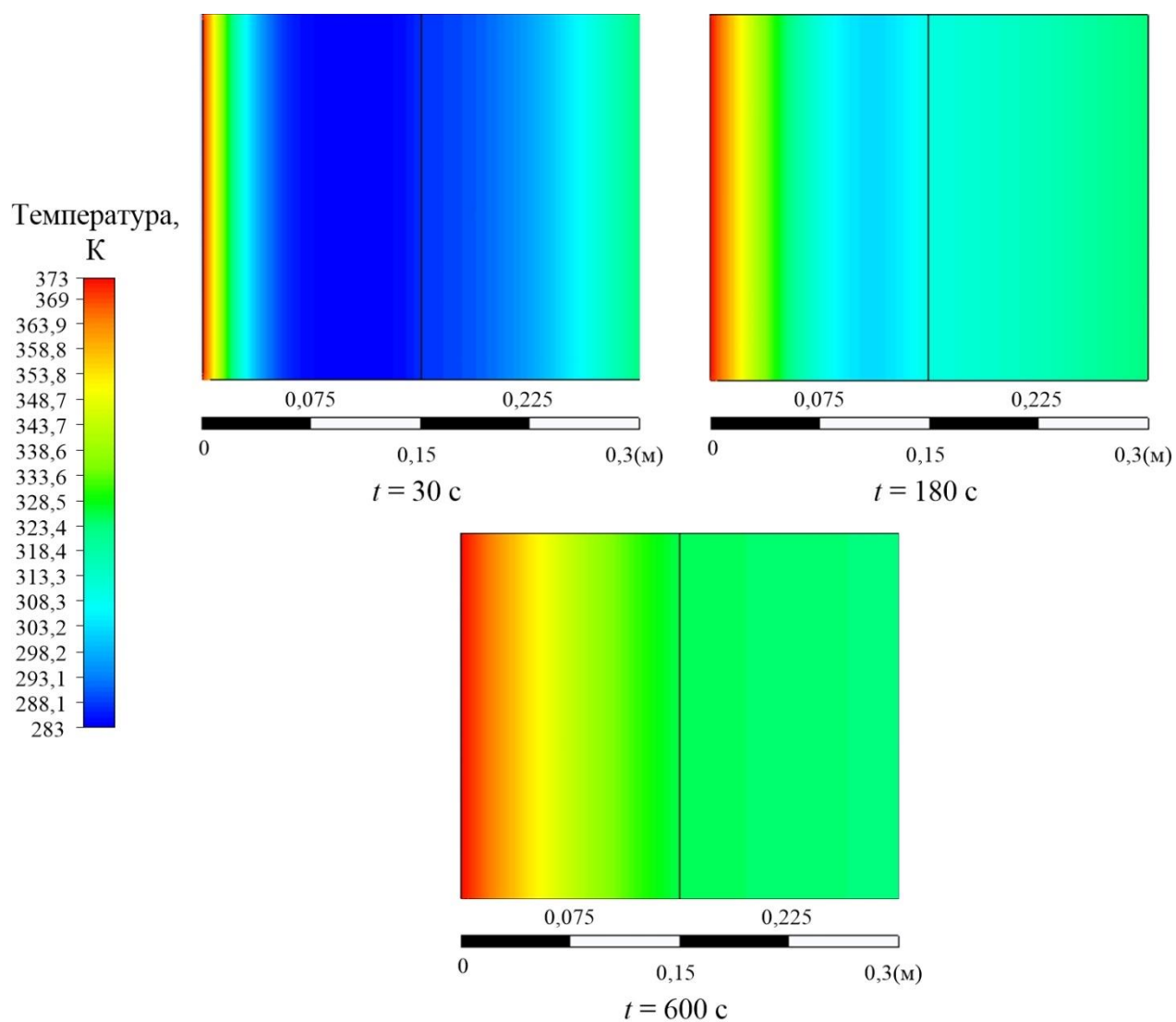


Рисунок 9 – Изменение температурного поля в двухслойной пластине в исследуемых промежутках времени

Для наглядного представления изменения температуры в толщине пластины построим графики зависимости изменения температуры от координаты x для исследуемых временных отрезков, который показан на рисунке 10.

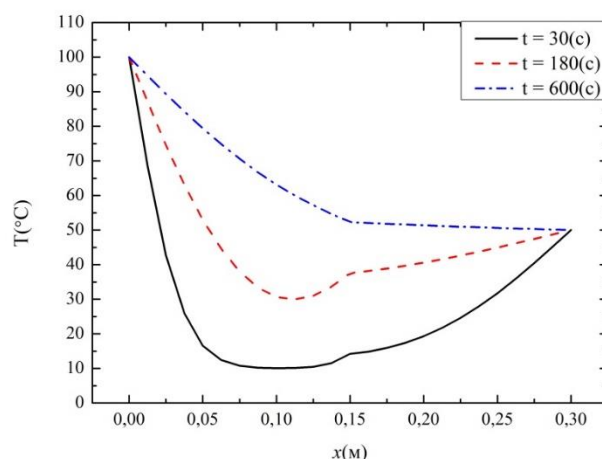


Рисунок 10 – Изменение температуры в толщине двухслойной пластины

Для анализа полученных результатов, приведем график зависимости температуры в толщине пластине при исследуемых температурных промежутках нагрева (рисунок 11) из [28], где расчет данной задачи проводился на языке программирования Pascal.

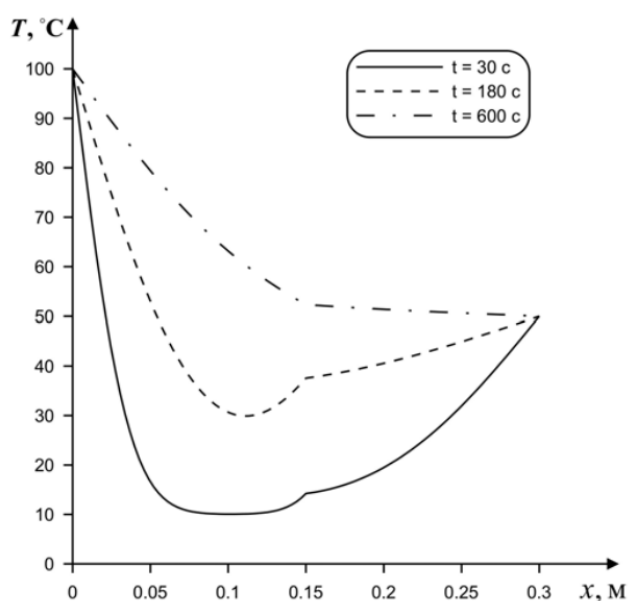


Рисунок 11 – Изменение температуры в толщине двухслойной пластины, построенный по расчету на языке Pascal авторами [28]

Как видно из представленных рисунков, графики зависимости изменения температуры, в толщине двухслойной пластины, построенные по расчету в программном пакете Ansys Fluent и на языке Pascal, одинаковы, что означает правильность решения задачи. Таким образом, изучив алгоритмы работы в программном пакете Ansys Fluent, можно начинать решение задач,

связанных с моделированием распада перемешанных и неперемешанных жидкостей при кондуктивном нагреве.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б5Б	Вяткину Александру Витальевичу

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ. И.Н.Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Теплоэнергетика и теплотехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклад инженера – 17000 руб. Оклад научного руководителя – 26300 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Нормы амортизации, нормы премии по счету заработной платы
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Социальные выплаты – 28% от фактической заработной платы

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Планирование работ научного исследования
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование сметы затрат на проект
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Анализ результатов научного исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора И.В.	К.Э.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б5Б	Вяткин А.В		

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данной главы является определение конкурентных качеств разрабатываемого проекта. Анализ конкурентных технических решений позволяет производить корректировки научного исследования для увеличения его конкурентоспособности, так как рынки сбыта находятся в постоянном движении. Проведение данного исследования основано на определении и оценки сильных и слабых сторон конкурирующих разработок.

Основные задачи, необходимые к решению в данном разделе:

1. SWOT-анализ проекта моделирования процессов микро-взрывного распада капель перемещенных и неперемешанных жидкостей при кондуктивном нагреве.
2. Разработка план график разработки проекта;
3. Расчет затрат проекта;
4. Определение эффективности исследования.

3.1 Оценка конкурентоспособности разработки

Конкурентоспособность разработки оценим с помощью технологии QuaD (Quality Advisor), которая представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и перспективность на рынке и позволяющее принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект. Проведение QuaD осуществляется табличным путем (Приложение А).

Оценку качества и перспективности по технологии QuaD можно определить по следующей формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i, \quad (23)$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Определив значения показателя P_{cp} , можно судить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Значение показателя $P_{cp} = 64,5$, перспективность моделирования процессов микро-взрывного распада капель перемещенных и неперемешанных жидкостей при кондуктивном нагреве. Это значит, что проект перспективен, и для дальнейшего улучшения необходимо инвестирование в работу.

3.2 SWOT – анализ

Проведение SWOT-анализа позволяет исследовать внешнюю и внутреннюю среду разрабатываемого проекта, определить его сильные и слабые стороны, выяснить возможности и вероятные угрозы.

Сильные стороны проекта подразумевают те качества разработки, которые подчеркивают его конкурентоспособные стороны, показывая, что у данной разработки существуют отличительные преимущества и особые ресурсы. Противоположностью сильных сторон являются слабые стороны разработки. Под слабыми сторонами стоит понимать недостатки, ограничения и упущения проекта.

Любая предпочтительная ситуация, возникающая в настоящем или будущем, влияющая на развитие и работоспособность проекта является возможностью. А угроза, напротив, является возникающей ситуацией, которая носить негативный характер в отношении разработки.

Разработку SWOT-анализа можно разбить на три этапа:

Первый этап включает в себя выявление сильных и слабых сторон разработки, через выявление видимых возможностей и угроз, которые могут появиться во внешней среде.

Второй этап определяет соответствие сильных и слабых сторон разрабатываемого проекта внешним условиям окружающей среды.

На третьем этапе составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в приложении Б.

В результате SWOT-анализа можно прийти к выводу о том, что у данного проекта существует масса преимуществ, позволяющий простым и быстрым путем определить параметры энерго-эффективного топлива, исследование поведения капель которого на нагретой поверхности описывается в данной работе.

Что касается сложностью в данном проекте, является незаинтересованность крупных компаний в участии в данном проекте, что повлечет снижение спроса к энерго-эффективным топливным смесям и окончание разработки модели.

3.3 Планирование научно-исследовательских работ

Структура работ в рамках научного исследования

Данная часть экономического раздела выпускной квалификационной работы направлено на определение основных свойств выполняемых работ:

- Определение структуры работ в рамках научного исследования;
- Определение участников каждого пункта работ;
- Определение продолжительности;
- Построение графика продолжительности проведенных работ.

Для начала определим перечень этапов, работ и распределим исполнителей на каждом этапе. Планирование проведения работ позволит разграничить обязанности каждого из исполнителей проекта, рассчитать заработную плату работников, а также гарантирует реализацию проекта в срок.

Основные задачи распределяются между двумя исполнителями проекта: руководителем проекта и инженером.

Последовательность и содержание работ, а также распределение исполнителей представлено в приложении В.

По результатам составления данной таблицы можно сделать вывод о том, что проект содержит 10 этапов, большую часть из которых выполняет инженер.

Определение трудоемкости выполнения работ

Так как основной частью стоимости разработки проекта состоит из трудовых затрат, то очень важно определить трудоемкость работ каждого из участников проекта.

Определить ожидаемое (среднее) значение трудоемкости возможно по следующей формуле:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \text{ чел. – дн.}, \quad (24)$$

где t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы, чел.–дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы, чел.–дн.;

Основываясь на ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях, учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Проведение данного расчета необходимо для обоснованного расчета заработной платы. Продолжительность одной работы определяется по формуле:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \text{ раб. дн.}, \quad (25)$$

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

Для удобства построения графика продолжительности работ, длительность каждого из этапов работ следует перевести в календарные дни. Для осуществления данного перевода существует следующая формула:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_k, \text{ к. дн.}, \quad (26)$$

где k_k – коэффициент календарности, расчет которого осуществляется по следующей формуле:

$$k_k = \frac{T_k}{T_k - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (27)$$

где T_k – количество календарных дней в году;

$T_{вых}$ – количество выходных дней в году;

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

В качестве примера приведем расчет для работы №1 «Составление и утверждение технического задания», выполнение которой осуществляет руководитель проекта

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости:

$$t_{ожi} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 7}{5} = 4 \text{ чел. – дн.}$$

Продолжительность одной работы определяется по формуле:

$$T_{pi} = \frac{4}{1} = 4 \text{ раб. дн.}$$

Для расчета коэффициента календарности примем, что руководитель проекта работает по шестидневной рабочей неделе, тогда:

$$k_k = \frac{365}{365 - 51 - 15} = 1,22.$$

Инженер работает по пяти дневной рабочей недели, тогда:

$$k_k = \frac{365}{365 - 102 - 15} = 1,47.$$

Расчет количества календарных дней:

$$T_{ki} = 4 \cdot 1,22 \approx 5 \text{ к. дн.}$$

Для наглядности и простоты построения диаграммы Ганта занесем рассчитанные значения для каждого вида работ каждым исполнителем (руководитель проекта (Р) и инженер (И)) в приложение Г. На основании данной таблицы построим календарный план-график (диаграмму Ганта), представленную в приложении Д.

На основании построенного графика продолжительности реализации проекта можно заключить, что продолжительность работ по выполнению задания составит около 14 недель. Начало разработки проекта намечено на первую неделю февраля, а окончание на третью неделю мая.

Значение реальной продолжительности работ может быть, как меньше (при благоприятных обстоятельствах) посчитанного значения, так и больше (при неблагоприятных обстоятельствах), так как трудоемкость носит вероятностный характер.

Общая длительность выполнения проекта в календарных днях составит 97 дней, из них инженер проработает 87 дней, а руководитель проекта 15 дней.

Бюджет затрат на проектирование

При планировании бюджета проекта необходимо учесть все виды расходов, которые связаны с его выполнением. Для формирования бюджета проекта используется следующая группа затрат

- материальные затраты проекта;
- основная заработная плата исполнителей проекта;

- дополнительная заработная плата исполнителей проекта;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

Расчет материальных затрат проекта

К материальным затратам относятся: приобретаемые со стороны сырье и материалы, покупные материалы, канцелярские принадлежности, картриджи и т.п. Список материальных затрат приведен в таблице 18.

Таблица 18 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, руб	Затраты на материалы $З_m$, руб.
Краска для принтера	шт.	1	550	550
Бумага для принтера формат А4 (500 листов)	пачка	2	210	420
Ручка шариковая	шт.	5	40	200
Карандаш	шт.	3	30	90
Итого				1260

В сумме материальные затраты составили 1260 рублей. Цены приняты средние по городу Томск.

Расчет затрат на амортизацию компьютерной техники

Амортизация – процесс переноса стоимости оборудования на созданную при его участии продукцию и создание источника для простого производства. К амортизируемому оборудованию относится оборудование, используемое для реализации данного проекта с первоначальной стоимостью более 10000 руб.

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$З_{ам} = \frac{T_{исп.}}{T_{к.}} \cdot Ц \cdot \frac{1}{T_{сл.}}, \text{ руб./год}, \quad (28)$$

где $T_{исп.}$ – время использования компьютерной техники, 87 дней;

$T_{к.}$ – календарное время, принимается равным 365 дней;

Ц – цена оборудования, принимаем цену компьютера 40000 руб.;

$T_{\text{сл.}}$ – срок службы оборудования, принимаем равным 5 лет;

$$З_{\text{ам}} = \frac{87}{365} \cdot 40000 \cdot \frac{1}{5} = 1906,8 \text{ руб./год.}$$

Основная и дополнительная заработная плата исполнителей проекта

Статья включает в себя основную и дополнительную заработную плату:

$$З_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}, \text{ руб.} \quad (29)$$

Основная заработная плата для руководителя проекта и инженера рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}}, \text{ руб.}, \quad (30)$$

где $T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.;

$З_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.;

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \text{ руб.}, \quad (31)$$

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

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 рабочих дня $M = 11,2$ месяца – пятидневная неделя;

при отпуске в 48 рабочих дня $M = 10,4$ месяца – шестидневная неделя;

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

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \text{ руб.}, \quad (32)$$

где $З_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3;

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок, принимаем 0,2;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, для города Томска равен 1,3;

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за

отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Дополнительная заработная плата:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \text{ руб.}, \quad (33)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, принимаем равным 0,135.

При расчете заработной платы каждого участника проекта оклады взяты в соответствии с занимаемыми должностями ТПУ.

Расчет заработной платы руководителя проекта, работающего по шестидневной рабочей неделе:

$$З_{\text{М}} = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.},$$

$$З_{\text{дн}} = \frac{51285 \cdot 10,4}{365 - 66 - 56} = 2194,9 \text{ руб.},$$

$$З_{\text{осн}} = 2194,91 \cdot 15 = 32923,7 \text{ руб.},$$

$$З_{\text{доп}} = 0,135 \cdot 32923,7 = 4444,7 \text{ руб.},$$

$$З_{\text{зп}} = 32923,7 + 4444,7 = 37368,4 \text{ руб.}$$

Расчет заработной платы инженера проекта, работающего по пятидневной рабочей неделе:

$$З_{\text{М}} = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.},$$

$$З_{\text{дн}} = \frac{33150 \cdot 11,2}{365 - 117 - 28} = 1687,6 \text{ руб.},$$

$$З_{\text{осн}} = 1687,6 \cdot 87 = 146824,7 \text{ руб.},$$

$$З_{\text{доп}} = 0,135 \cdot 146824,7 = 19821,3 \text{ руб.},$$

$$З_{\text{зп}} = 146824,7 + 19821,3 = 166646 \text{ руб.}$$

Результаты расчета заработной платы для руководителя и инженера проекта приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Расчет заработной платы участников проекта

Исполнитель проекта	$Z_{тс},$ руб.	$Z_{м},$ руб.	$Z_{дн},$ руб	$T_p,$ раб. дн.	$Z_{осн},$ руб	$Z_{доп},$ руб	$Z_{зп},$ руб
Руководитель	26300	51285	2194,9	15	32923,7	4444,7	37368,4
Инженер	17000	33150	1687,6	87	146824,7	19821,3	166646

В результате данных расчетов посчитана основная заработная плата у исполнителей проекта. Из таблицы 19 видно, что ставка руководителя наибольшая, но итоговая основная заработная плата получилась наибольшей у инженера, так как основная заработная плата зависит от длительности работы проекта.

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды включают в себя установленные законодательством Российской Федерации нормы органов государственного социального страхования (ФСС), пенсионный фонд (ПФ) и медицинское страхование (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величину отчислений во внебюджетные фонды определяется по формуле:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \text{руб.}, \quad (34)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

На 2019 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ вводятся пониженные тарифы страховых взносов для отдельных категорий плательщиков (для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность) в переходный период 2011 – 2027 годов равный 28 %.

Таким образом, отчисления во внебюджетные фонды для руководителя проекта составят:

$$Z_{внеб} = 0,28 \cdot (32923,7 + 4444,7) = 10463,2 \text{ руб.},$$

Отчисления во внебюджетные фонды для инженера проекта составят:

$$Z_{внеб} = 0,28 \cdot (146824,7 + 19821,3) = 46660,9 \text{ руб.}$$

Накладные расходы

Накладные расходы включают прочие затраты организации, которые не учтены в предыдущих статьях расходов: оплата услуг связи, электроэнергии, интернета и т.д. Накладные расходы проекта определяются по формуле:

$$З_{\text{накл}} = (З_{\text{м}} + \Sigma З_{\text{осн}} + \Sigma З_{\text{доп}} + \Sigma З_{\text{внеб}}) \cdot k_{\text{нр}}, \text{ руб.}, \quad (35)$$

$k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы, принимаем в размере 16 %.

$$З_{\text{накл}} = (1260 + 179748,4 + 24266 + 57124,1) \cdot 0,16 = 41983,7 \text{ руб.}$$

Формирование затрат на проектирование

Определение бюджета затрат на проект приведено в таблице 20.

Таблица 20 – Бюджет затрат на проект

№	Наименование статьи	Сумма, руб.	В % к итогу
1	Материальные затраты проекта	1260	0,4
2	Затраты на амортизацию компьютерной техники	1906,8	0,6
3	Затраты по основной заработной плате	179748,4	58,6
4	Затраты по дополнительной заработной плате	24266	7,9
5	Отчисления во внебюджетные фонды	57124	18,7
6	Накладные расходы	42288,8	13,8
Бюджет затрат на проектирование		306594	100,00

Суммарный бюджет проекта равен 306594 рублей, где наибольший процент бюджета составляют затраты по основной заработной плате в размере 179748,4 рублей или 58,6% к общей сумме бюджета.

3.4 Определение ресурсоэффективности проекта

В ходе оценки проекта с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения определяется его интегральный показатель ресурсоэффективности, позволяющий установить направление его дальнейшего

улучшения и осуществления. Для этого выбраны несколько критериев эффективности:

1. Технологичность;
2. Надежность;
3. Удобство и простота эксплуатации;
4. Экономичность;
5. Гибкость.

Определение ресурсоэффективности происходит на основе интегрального показателя ресурсоэффективности

$$I_{pi} = \sum(a_i \cdot b_i), \quad (36)$$

где a_i – весовой коэффициент проекта;

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

В таблице 21 наглядно показана значимость каждого критерия для данного проекта.

Таблица 21 – Сравнительная оценка характеристик разрабатываемого проекта

Критерий	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки
Технологичность	0,21	5
Надежность	0,16	4
Удобство и простота эксплуатации	0,14	4
Экономичность	0,12	5
Гибкость	0,37	5

Показатель ресурсоэффективности проекта

$$I_p = 0,21 \cdot 5 + 0,16 \cdot 4 + 0,14 \cdot 4 + 0,12 \cdot 5 + 0,37 \cdot 5 = 4,7.$$

Заключение по разделу

В результате выполнения данного раздела выпускной квалификационной работы определены сильные и слабые стороны проекта, выявлены его угрозы и возможности.

Построен календарный план-график проведения работ каждого исполнителя проекта. Общее количество дней на выполнение проектных работ составляет 97 дней. Затраты на проведение исследования 306594 рубля.

Показатель ресурсоэффективности по пятибалльной шкале равен $I_p = 4,7$, что говорит об эффективной реализации работ по исследованию характеристик распада различных видов топлива

На основании полученных результатов данного раздела делаем вывод о том, что работа по моделированию распада капель перемешанных и неперемешанных жидкостей является экономически целесообразной, конкурентно способной и успешной [33].

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б5Б	Вяткину Александру Витальевичу

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	И.Н. Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Теплоэнергетика и теплотехника

Тема ВКР:

Моделирование микровзрывного разрушения капель топливных эмульсий при интенсивном нагреве	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – моделирование процесса распада капель топливных эмульсий с помощью ПЭВМ в программном пакете Ansys Fluent.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	– Поражение электрическим током – Возгорание – Недостаток естественного света – Повышенная температура воздуха в помещении – Шум – Воздействие электромагнитного поля
3. Экологическая безопасность:	Вторичное использование и утилизация офисной техники
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Наиболее вероятный тип ЧС – пожар

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова А.А.	–		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б5Б	Вяткин А.В.		

4 Социальная ответственность

Введение

Выпускная квалификационная работа по теме «Моделирование процессов микро-взрывного распада капель перемещенных и неперемешанных жидкостей при кондуктивном нагреве» посвящена изучению процесса распада капель, состоящих из горючего и не горючего компонентов. В качестве негорючего компонента в модели используется вода, а в качестве горючего – дизельное топливо, так как имеет довольно широкое применение в различных сферах жизнедеятельности человека, и рапсовое масло, поскольку является одним из видов альтернативного сырья для создания био-топлива

Модель, созданная по ранее проведенным экспериментам [24], направлена на расчёт времени распада капли при кондуктивном нагреве при температурах подложки 250°C; 350°C; 450°C. Основной задачей данной работы является определения оптимальных параметров для создания топлив с наиболее эффективными параметрами горения. Использование таких, усовершенствованных, видов топлива также связано и с уменьшением вредных выбросов, например, как описано в [2, 25].

В данном разделе, будут отмечены все основные моменты, связанные с социальной ответственностью на каждом этапе разработки данного проекта.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Для каждой отрасли установлены свои требования по организации рабочих мест с учетом специфики трудовой функции, выполняемой работниками. Требования установлены к помещениям, в которых находятся рабочие места, к вентиляции и отоплению таких помещений. Определенным требованиям должна отвечать освещенность рабочих мест, а также их оснащенность оборудованием и инструментом.

Так как разработка модели процессов микро-взрывного распада капель перемещенных и неперемешанных жидкостей при кондуктивном нагреве ведется на компьютере, то для рабочих мест, оборудованных персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ) предъявляются

соответствующие требования, которые регламентируются следующими документами:

1. Трудовой кодекс РФ
2. «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03)
3. «Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере» (ТОИ Р-45-084-01).

Требования к рабочим местам установлены СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. При обустройстве рабочей зоны необходимо учитывать следующее:

- Рабочее место должно располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку, преимущественно слева
- Искусственное освещение в помещениях для работы ПК должно обеспечиваться общей равномерной системой освещения
- В качестве источников искусственного освещения следует использовать люминесцентные лампы типа ЛБ и компактные люминесцентные лампы (КЛЛ).

При устройстве отраженного освещения в производственных и административных общественных помещениях разрешено использовать металлогалогенные лампы. В светильниках местного освещения должны использоваться лампы накаливания, в том числе галогенные. Для того, чтобы обеспечить нормируемые значения освещенности в помещении с ПЭВМ должны проводиться уборки с чисткой стеклянных окон и светильников не реже двух раз в год. Окна в комнатах, в которых работают с компьютерами должны быть предпочтительно ориентированы на север и северо-восток.

- Монитор, корпус компьютера и клавиатура должны находиться прямо перед оператором; высота рабочего стола с клавиатурой должна находиться в пределах от 680 до 800 мм надо уровнем пола, а высота нижней границы экрана от 900 до 1280 мм;

- Монитор следует расположить на расстоянии 60-70 см на 20 градусов ниже уровня глаз оператора;

Пространство для ног должно отвечать следующим требованиям: высота – не менее 600 мм, ширина – не менее 500 мм, глубина – не менее 450 мм. Следует также предусмотреть подставку для ног работающего шириной не менее 300 мм с возможностью регулировки угла наклона. При работе ноги должны быть согнуты под прямым углом.

Время перерыва зависит от вида и сложности осуществляемой работы путем деления на группы. Выделяют 3 группы: А (работа по считыванию информации с экрана компьютера с предварительным запросом), Б (работа по вводу информации), В (творческая работа в режиме диалога с компьютером).

В зависимости от сложности работы установление числа и длительности перерывов происходит следующим образом:

1. для группы А (не свыше 60000 считываемых знаков за смену) перерыв составляет 15 минут, предоставляется два раза – через два часа после начала работы и перерыва на обед;
2. для группы Б (не свыше 40000 вводимых знаков за смену) перерыв составляет 10 минут через каждый трудовой час;
3. для группы В (не свыше шести 6 часов за смену) перерыв составляет 15 минут через каждый трудовой час.

4.2 Производственная безопасность

При разработке модели микровзрыва капле работа в основном ведется за персональным компьютером, из-за чего могут возникнуть различные вредные и опасные факторы. Обеспечение комфортных условий труда в значительной степени оказывает влияние на производительность труда и снижение профессиональных заболеваний. К ним относятся меры, связанные с исключением травматизма, антисанитарии и возгораний [34]. Наиболее вероятные факторы воздействия представлены в таблице 22.

Таблица 22 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изгото вление	Эксплу атация	
1. Отсутствие или недостаток естественного света	+			• Требование к освещению рабочего места – СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. • Требование к микроклимату в помещении – СанПиН 2.2.4.548-96. • Требования к шуму в помещении – ГОСТ 12.1.003-83. • Требования к излучению ЭМ полем – СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. • Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. – ГОСТ 12.1.038-82. • Пожарная безопасность. Общие требования – ГОСТ 12.1.004-91, СС5Т
2.Повышенная температура воздуха в помещении	+			
3.Превышение уровня шума	+			
4.Воздействие электромагнитного поля	+			
5.Поражение электрическим током	+			
6. Возгорание	+			

4.2.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов

Недостаток естественного света

Отсутствие или недостаток естественного света на рабочем мест может вызвать ухудшение самочувствия, привести к потере сна и ухудшению здоровья человека. Таким образом, необходимо уделять особое внимание вопросу наличия естественного света на рабочем мест работника.

В зависимости от напряжения зрительного аппарата при выполнении работы освещенность на предприятиях делят на восемь разрядов - от наивысшей точности до общего наблюдения за ходом производственного процесса.

Согласно санитарно-гигиеническим требованиям рабочее место инженера должно освещаться естественным и искусственным светом.

При работе за персональным компьютером и работе с необходимой документацией минимальная искусственная освещенность рабочего места должна составлять 200 лк [35]. В данных условиях разряд зрительной работы – 4г (работа средней точности) [35]. Согласно [36], к рабочим местам, оборудованным персональным компьютером, применяются следующие требования (таблица 23)

Таблица 23 – Требования к освещению рабочего места, оборудованного ПК

Параметр	Значение параметра
Освещенность на рабочем столе, лк	300-500
Освещённость на экране, лк	не выше 300
Блики на экране, кд/м ²	не выше 40
Прямая блёскость источника света, кд/м ²	200
Показатель ослеплённости	не более 20
Показатель дискомфорта	не более 15
Отношение яркости:	
между рабочими поверхностями	3:1-5:1
между поверхностями стен и оборудования	10:1
Коэффициент пульсации, %	не более 5

Микроклимат помещения

Состояние климата в рабочем помещении нормируется согласно [37]. Согласно классификации, работу, связанную с разработкой модели микро взрывного разрушения капель можно отнести к категории Ia - работа с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимая сидя и сопровождающаяся незначительным физическим напряжением. Таким образом, параметры микроклимата для данной категории работ должны соответствовать требованиям, представленным в таблице 24.

Таблица 24 – Допустимы параметры микроклимата рабочего помещения

Сезон года	Категория тяжести работ	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/сек
Холодный	Ia	(20÷25)	(15÷75)	0,1
Теплый		(21÷28)	(15÷75)	0,1

Шум

Акустический шум является одним из раздражителей организма человека при длительном воздействии. При шумовом воздействии учащается пульс, дыхание, повышается артериальное давление, возникают головные боли, ослабляется внимание и замедляются психические реакции, что в конечном итоге приводит к снижению работоспособности человека. Источниками шума на рабочем месте могут быть различные двигатели и механизмы, используемые в офисной технике.

Для категории тяжести работ Ia уровень шума на рабочем месте трудящегося не должен превышать 50 Дб [38]

Электромагнитное поле

Основное рабочее оборудование – персональный компьютер, является источником электромагнитного излучения. Как и шум, электромагнитное поле своим воздействием может быть причиной учащенного пульса, дыхания, повышения артериального давления, возникновения головных болей, ослабления внимания и замедления реакции, что снижает общую работоспособности человека.

Электромагнитное поле, создаваемое персональным компьютером, имеет сложный спектральный состав в диапазоне частот от 0 Гц до 1000 МГц, и в том числе мощность экспозиционной дозы мягкого рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана при любых положениях ПК не должна превышать 100 мкР/ч [39]. Таким образом, время работы по санитарным нормам не должно превышать 4 часа.

Электробезопасность на рабочем месте

Поражение персонала электрическим током, работающего с электроустановками, является опасным для жизни человека и наступает при соприкосновении его с сетью не менее чем в двух точках. Все производственные помещения можно разделить на три категории по опасности поражения электрическим током [40]:

- Помещения с повышенной опасностью;
- Особо опасные помещения;
- Без повышенной опасности.

Помещение, в котором установлен ПК для моделирования относится к третьей группе помещений – помещение без повышенной опасности. В данном помещении необходимо применение основных коллективных способов и средств электрозащиты: изоляция проводов и её непрерывный контроль; предупредительная сигнализация и блокировка; использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов; защитное заземление и защитное отключение.

Пожаробезопасность на рабочем месте

Пожар, из-за непосредственной связи с техническими объектами, классифицируют как непреднамеренную чрезвычайную ситуацию техногенного характера. [41]

Пожаробезопасность в производственном помещении направлена на сохранение материальных ценностей, жизни и здоровья людей от неконтролируемого процесса горения. Для определения способов осуществления пожаробезопасности необходимо определить категории помещений определяются, исходя из вида находящихся в помещениях горючих веществ и материалов, их количества и пожароопасных свойств, а также, исходя из объемно-планировочных решений и помещений и характеристик проводимых в них технологических процессов [42]. Таким образом, рабочее помещение можно отнести к классу Д – пониженная пожароопасность, так как

в помещении находятся негорючие веществ и материалы в холодном состоянии.

4.2.2 Обоснование мероприятий по снижению воздействия

Недостаток естественного света

На рабочих местах, где трудовая деятельность ведется в условиях отсутствия естественного освещения, необходимо проводить мероприятия, направленные на уменьшение уровня вредности условий труда. В их число входят следующие:

- улучшение условий путем использования искусственного освещения;
- защита временем, то есть сокращение продолжительности пребывания работников в помещении без естественного освещения;
- профилактическое ультрафиолетовое облучение работников. В этом случае источники ультрафиолетового излучения устанавливают рядом с обычными осветительными лампами, за счет чего достигается обогащение обычного искусственного освещения ультрафиолетовым излучением.

При недостатке естественного освещения в помещениях также возможно принятие следующих мер:

- анализ степени загрязненности стекол в светопроемах, их очистка и дальнейшие контрольные измерения коэффициента естественной освещенности, который показывает, какая часть наружного освещения попадает на рабочие места производственного помещения;
- при наличии в помещении зон с недостаточным и достаточным уровнем естественного освещения изменение размещения рабочих мест с их переносом в зону с достаточным уровнем естественного освещения;
- косметический ремонт помещения с применением светлых отделочных материалов.

Микроклимат помещения

Чтобы поддерживать фактические параметры микроклимата в рамках допустимых значений применяется система отопления и вентиляции.

Шум

В качестве методов борьбы с посторонним шумом от оборудования используют специальные приспособления непосредственно на устройствах или шумопоглощающие экраны, предотвращающие распространение негативного воздействия по помещению.

Электромагнитное поле

Защиту от действия электромагнитного поля можно свести к следующему:

- Экранирование (активное и пассивное; источника электромагнитного излучения или же объекта защиты; комплексное экранирование).
- Удаление источников из ближней зоны; из рабочей зоны.
- Конструктивное совершенствование оборудования с целью снижения используемых уровней ЭМП, общей потребляемой и излучаемой мощности оборудования.
- Ограничение времени пребывания операторов или населения в зоне действия ЭМП.

Электробезопасность на рабочем месте

Современная система электробезопасности обеспечивает защиту от поражения в двух наиболее вероятных и опасных случаях:

- при прямом прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;
- при косвенном прикосновении.

Для защиты человека от прямого прикосновения к токоведущим частям, согласно [43] применяется изоляция токоведущих частей, установка ограждений и оболочек, применение барьеров, размещение вне зоны досягаемости, устройства защитного отключения (УЗО).

Для защиты от косвенного прикосновения применяются: защитное заземление и защитное зануление [43].

Под косвенным прикосновением к электрической цепи стоит понимать прикосновение человека к открытым проводящим частям оборудования, на которых в исправном состоянии электроустановки отсутствует электрический потенциал, но при возможных неисправностях, вызвавших нарушение изоляции или ее пробой на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала.

При поражении человека электрическим током необходимо освободить пострадавшего от его воздействия. Далее пострадавший должен быть осмотрен врачом с заключением о состоянии здоровья, при его нормальном самочувствии.

В случае если пострадавшего невозможно быстро отключить от вредного воздействия, освобождение от электричества пострадавшего необходимо производить, изолировав себя диэлектрическими перчатками или галошами. При необходимости перерезать провода (каждый в отдельности) инструментом с изолированными ручками. Если есть необходимость (при потере сознания, остановке сердца и т.п.) оказания первой помощи, то до прибытия медработника необходимо начать делать: наружный массаж сердца, искусственное дыхание.

Пожаробезопасность на рабочем месте

Помещение оснащено системой с дымовыми извещателями. Сигналы извещателей включают систему протоколирования информации, формируют управляющую систему тревоги и систему оповещения о пожаре, для своевременной эвакуации людей.

Выбор типа и расчет необходимого числа огнетушителей производится в зависимости от их огнетушащей способности. Из пяти таких классов, лаборатории подходит класс А (пожар твердых веществ) и класс Е (горение электроустановок) [40].

4.3 Экологическая безопасность проекта

Основной причиной экологического вреда природе при использовании офисной техники может возникнуть при ее утилизации.

Утилизация таких отходов возложена на специализированные лицензированные организации. Причиной этому является то, что в технике находятся различные вредные составляющие: тяжелые металлы, печатные платы с замедлителями горения, которые при горении могут выделять опасные диоксиды. Для опасных отходов используют теплоту сжигания, то есть специальные печи, такой способ не исключает образования токсичных выбросов. Отходы, которые не подлежат переработке, утилизации и вторичному использованию, подлежат захоронению на полигонах или в почве.

4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Пожар – как источник ЧС

Перегрузка проводов, короткое замыкание, искрение и неисправности оборудования могут послужить причиной возникновения пожара в рабочем помещении.

Исходя из [44] пожарная профилактика обеспечивается: системой предотвращения пожара; системой противопожарной защиты; организационно - техническими мероприятиями. К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления); применение искробезопасного оборудования; применение устройства молниезащиты здания; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности.

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей; средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара; системы автоматической пожарной сигнализации; порошковых или углекислотных огнетушителей.

При обнаружении загорания рабочий немедленно сообщает по телефонам 01, 101 или 112 в пожарную охрану, сообщает руководителю, приступают к эвакуации людей и материальных ценностей. Тушение пожара организуется первичными средствами с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается скорая медицинская помощь.

Заключение по разделу

В данном разделе ВКР проведен анализ основных вредных и опасных факторов, к которым можно отнести: недостаток естественного освещения на рабочей зоне, повышенный уровень шума, воздействие на работника электромагнитного излучения. К числу опасных факторов, непосредственно влияющих на жизнь человека, отнесено поражение электрическим током и возникновение пожара. В отношении всех негативных факторов были описаны способы противодействия. Помимо этого рассмотрено негативное воздействие на окружающую среду от офисной техники, которая является основным инструментом в создании данной работы.

Заключение

В выпускной квалификационной работе представлена математическая модель в первом приближении предназначенная для исследования характеристик распада перемешанных и неперемешанных капель, состоящих из горючего и негорючего компонента в различных концентрациях. По результатам численного моделирования установлено, что:

1) Распад неперемешанной капли с концентрацией компонентов 90 об.% воды и 10 об.% горючей жидкости происходит значительно медленнее чем при концентрации 10 об.% воды и 90 об.% горючей жидкости. Это связано с величиной слоя негорючего компонента, что ведет к увеличению времени прогрева.

2) При исследовании состава неперемешанной капли, состоящей из 90 об.% – воды и 10 об.% – дизельного топлива, установлено, что увеличение температуры подложки и уменьшение общего объема капли ведет к уменьшению времени распада капли. При уменьшении объёма капли также наблюдалось лучшее схождение данных для экспериментальных и численных значений во всем диапазоне температур.

3) Анализируя полученные данные при изучении поведения капли с концентрацией 10 об.% воды и 90 об.% дизельного топлива можно сделать вывод о том, что при температуре 250°C и исследуемых объемах значения времени распада, определённое в ходе математического моделирования очень близко к значениям, полученным в результате эксперимента. В ходе роста температуры подложки и уменьшении объема капли, наблюдается увеличение погрешности между временами распада.

4) При рассмотрении капли из 90 об.% воды и 10 об.% рапсового масла проведен анализ только для объема 10 мкл., из-за отсутствия необходимого количества экспериментальных данных. Исходя из полученных данных, как и в исследовании капли с концентрацией 10 об.% воды и 90 об.% дизельного топлива, разница между значениями времен распада увеличивается при увеличении температуры подложки, а наиболее близкие значения

наблюдаются при температуре 250°C. Однако, в данном исследовании форма зависимостей практически одинакова, что говорит о том, при учете дополнительных факторов, возможно получение аналогичных результатов.

5) При концентрации компонентов 10 об.% воды и 90 об.% рапсового масла проведен анализ также для объема 10 мкл. При анализе результатов наблюдается обратная ситуация, то есть сходимость результатов наблюдается при увеличении температуры подложки.

6) После исследовании простой модели без учета фактора испарения воды, для достижения максимальной сходимости при исследовании капель различных концентраций компонентов в модели учтен переход негорючего компонента из жидкого в газообразное состояние. Данное исследование проводилось для всех капель объемом 10 мкл. в исследуемом диапазоне температур. Подбирая частоту испарения для каждого конкретного случае были достигнуты значения, практически полностью совпадающие с теми, которые получены экспериментальным путем.

7) Исследование перемешанного состава возможно только для капли с концентрацией компонентов 10 об.% – воды и 90 об.% – дизеля и объеме 10 мкл., из-за того, что времена распада капель других концентраций и объемов очень велики. Так как молекулы воды в капле распространены во всем объеме, то начало распада возможно в любой точке, поэтому в качестве исследуемого места распада с опорой на экспериментальные данные была выбрана точка, при температуре подложки 350°C. В результате чего установлено, что времена разрушения капли при температуре 350°C и 450°C идентичны для численных и экспериментальных данных. Для температуры подложки равной 250°C нагревание капли до принятой температуры распада занимает гораздо больше времени, чем при эксперименте. Таким образом, значения времен распада различаются более чем в два раза. Такое различие в значениях при температуре подложки 250°C для данных условий и для других условий проведения исследований (другие концентрации и температуры подложки) объясняется

тем, что в первом приближении модель не учитывает поведение капли на поверхности.

Так как в данной работе проведен анализ модели в первом приближении, то в перспективе следующих работ будут рассмотрены капли в пространстве и с учетом падения на нагретую поверхность. Таким образом, будет создан полная физическая модель реальному процессу, что даст более точные результаты исследования.

Помимо этого, проведен анализ данного проекта с экономической точки зрения. В результате чего определены сильные и слабые стороны проекта, выявлены его угрозы и возможности. В процессе написания раздела, связанного с социальной ответственностью, установлены основные вредные и опасные факторы для разработчика, а также для окружающей среды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Performance, combustion, and emissions in a diesel engine operated with fuel-in-water emulsions based on lignin / D. Ogunkoya, S. Li, O. Rojas et al. // *Applied Energy*. 2017. № 2015 (154). С. 851–861.
2. Debnath B.K. A comprehensive review on the application of emulsions as an alternative fuel for diesel engines / B.K. Debnath, U.K. Saha, N. Sahoo // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. (42). С. 196–211.
3. Abu-Zaid M. Performance of single cylinder, direct injection Diesel engine using water fuel emulsions // *Energy Conversion and Management*. 2004. № 5 (45). С. 697–705.
4. Antonov D.V. Breakup and explosion of droplets of two immiscible fluids and emulsions / D.V. Antonov, M.V. Piskunov, P.A. Strizhak // *International Journal of Thermal Sciences*. 2019. № September 2018 (142). С. 30–41.
5. Antonov D.V. Differences of two-component droplets breakup at the high temperatures / D.V. Antonov, G. V. Kuznetsov, P.A. Strizhak // *Journal of the Energy Institute*. 2019. № xxxx. С. 1–16.
6. Physics of puffing and microexplosion of emulsion fuel droplets / J. Shinjo, J. Xia, L. Ganippa et al. // *Physics of Fluids*. 2014. № 10 (26).
7. Modeling Temperature Distribution Inside an Emulsion Fuel Droplet Under Convective Heating: a Key To Predicting Microexplosion and Puffing / J. Shinjo, J. Xia, L. Ganippa et al. // *Atomization and Sprays*. 2016. № 6 (26). С. 551–583.
8. Shinjo J. Combustion characteristics of a single decane/ethanol emulsion droplet and a droplet group under puffing conditions / J. Shinjo, J. Xia // *Proceedings of the Combustion Institute*. 2017. № 2 (36). С. 2513–2521.
9. Shinjo J. Numerical simulation of secondary atomization of an emulsion fuel droplet due to puffing: Dynamics of wall interaction of a sessile droplet and comparison with a free droplet / D. Tanimoto, J. Shinjo // *Fuel*. 2019. № March (252). С. 475–487.

10. Zeng Y. Modeling droplet breakup processes under micro-explosion conditions / Y. Zeng, C.F.F. Lee // Proceedings of the Combustion Institute. 2007. (31 II). C. 2185–2193.
11. Yoon J.H. Analysis of precise behavior characteristics of emulsified fuel / J.H. Yoon, J.K. Yeom // Journal of Mechanical Science and Technology. 2018. № 2 (32). C. 897–906.
12. Zeng Y. Modeling of micro-explosion for multicomponent droplets / Y. Zeng, C. Lee // 11th International Multidimensional Engine Modeling User's Group Meeting Agenda. 2001. C. 1–6.
13. International Journal of Heat and Mass Transfer A simple model for puffing/micro-explosions in water-fuel emulsion droplets / S.S. Sazhin, O Rybdylova, C. Crua et al. // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2019. (131). C. 815–821.
14. Karami N. Numerical simulation of droplet evaporation on a hot surface near Leidenfrost regime using multiphase lattice Boltzmann method / N. Karami, M.H. Rahimian, M. Farhadzadeh // Applied mathematics and computation. 2017. (312). C. 91–108.
15. Liang G. International Journal of Heat and Mass Transfer Review of drop impact on heated walls / G. Liang, I. Mudawar // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2017. (106). C. 103–126.
16. Ko Y.S. An experiment on the breakup of impinging droplets on a hot surface / Y.S. Ko, S.H. Chung // Experiments and Fluids. 1996. (21). C. 118–123.
17. Naber J.D. Hydrodynamics of droplet impingement on a heated surface / J.D. Naber, P.V. Farrell // SAE Technical Papers. 1993.
18. Marzo M. Di Evaporation of a water droplet deposited on a hot high thermal conductivity surface / M. Di Marzo, D.D. Evans // Journal of Heat Transfer. 1989. № 1 (111). C. 210–213.
19. Contact angle temperature dependence for water droplets on practical aluminum surfaces / J. Bernardin, I. Mudawar, C. Walsh et al. // International Journal of Heat and Mass Transfer. 1997. № 5 (40). C. 1017–1033.

20. The behavior of water droplets on the heated surface / V.E. Nakoryakov, S.Y. Misyura, S.L. Elistratov et al. // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2012. № 23–24 (55). С. 6609–6617.
21. Moita A.S. Boiling Morphology and Heat Removal of Impinging Coolant Droplets / A.S. Moita, A.L.N. Moreira // ILASS. 2008.
22. Akhtar S.W. Characteristics of water droplet impaction behavior on a polished steel heated surface: Part II / S.W. Akhtar, G.G. Nasr, A.J. Yule // Atomization and Sprays. 2007. № 8 (17). С. 683–729.
23. SPH simulation of fuel drop impact on heated surfaces / X. Yang, M. Ray, S. Kong et al. // Proceedings of the Combustion Institute. 2019. № 3 (37). С. 3279–3286.
24. Antonov D.V. Explosive disintegration of two-component drops under intense conductive, convective, and radiant heating / D.V. Antonov, M.V. Piskunov, P.A. Strizhak // Applied Thermal Engineering. 2019. С. 409–419.
25. Останин Л.М. Рапсовое масло – сырье для производства биотоплива // Вестник казанского технологического университета. 2014. С. 227-228.
26. Инженерный анализ в Ansys Workbench: Учеб. пособ. / В.А. Бруйка, В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова, Н.А. Глазунова, И.Е. Адеянов. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 271 с.: ил.
27. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / Пер. с англ. – М.: Мир, 1975. – 541 с
28. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. Разностные методы решения задач теплопроводности: учебное пособие // Томск: Изд-во ТПУ. 2007. 172 с.
29. Курочкин А.А. Подогрев рапсового масла как способ повышения эффективности использования его в качестве топлива / А.В. Жосан, Ю.Н. Рыжов, А.А. Курочкин // Вестник Орел ГАУ. 2013. С. 209-212.
30. Poling B.E. The Properties of Gases and Liquids / B.E. Poling, J.M. Prausnitz, J.P. O’Connel // Physics Today. 2009. № 12 (4). С. 38–40.
31. Reynolds W. Thermodynamic Properties in SI // 1979. 14–21 с.
32. ANSYS-Fluent. Theory guide. 2013. November (15317). С. 724–746.

33. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
34. ГОСТ 12.0.003-74 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация – М.: ИПК Издательство стандартов, 1992. – 4 с.
35. СП 52.13330.2011. Свод правил. Естественное и искусственное освещение. – М.: Минздрав России, 2011. – 43 с.
36. Назаренко О.Б. Расчет искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей. – Томск: Изд. ТПУ, 2001. – 15 с.
37. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав России, 1997. – 15 с.
38. ГОСТ 12.1.003-83. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. – М.: Стандартиформ, 2008. – 11с.
39. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарные правила и нормы. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы – М.: Минздрав России, 2003. – 37с.
40. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов – М.: Стандартиформ, 2001. – 4с.
41. Теоретические основы безопасности жизнедеятельности / Р. И. Айзман, С. В. Петров, В. М. Ширшова. — Новосибирск: АРТА, 2011. — 208 с. — (Серия «Безопасность жизнедеятельности»).
42. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – М.: МЧС России, 2009. – 35 с.
43. ГОСТ Р 50571.3-94 «Электроустановки зданий. Часть 4. Защита от поражения электрическим током» . – М.: Госстандарт России, 1995. – 28 с.

44. ГОСТ 12.1.004-91, ССБТ «Пожарная безопасность. Общие требования». – М.: МВД России, 1992. – 25 с.

Приложение А – Оценочная карта качества и перспективности разработки по
технологии QuaD

Критерии оценки	Вес критер ия	Баллы	Максималь ный балл	Относитель ное значение	Средневзвеше нное значение
Показатели оценки качества разработки					
Энергоэффект ивность	0,07	90	100	0,9	6,3
Надежность	0,05	70	100	0,7	3,5
Унифицирован ность	0,12	30	100	0,3	3,6
Потребность в ресурсах памяти	0,05	90	100	0,9	4,5
Функциональн ая мощность (предоставляе мые возможности)	0,12	30	100	0,3	3,6
Простота эксплуатации	0,05	60	100	0,6	3
Качество интеллектуаль ного интерфейса	0,05	60	100	0,6	3

Продолжение приложения А

Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
Конкурентоспособность продукта	0,11	70	100	0,7	7,7
Уровень проникновения на рынок	0,05	70	100	0,7	3,5
Перспективность рынка	0,07	80	100	0,8	5,6
Цена	0,08	80	100	0,8	6,4
Послепродажное обслуживание	0,06	90	100	0,9	5,4
Финансовая эффективность научной разработки	0,04	90	100	0,9	3,6
Срок выхода на рынок	0,04	80	100	0,8	3,2
Наличие сертификации разработки	0,04	40	100	0,4	1,6
Итого	1				64,5

Приложение Б – SWOT-анализ проекта

	Сильные стороны проекта:	Слабые стороны проекта:
	С1: Низкая стоимость, по сравнению с проведением экспериментальных исследований. С2: Более точный и быстрый результат, по сравнению с проведением экспериментальных исследований. С3: Наличие бюджетного финансирования. С4: Квалифицированный персонал. С5. Малые трудовые ресурсы.	Сл1: Отсутствие прототипа научной разработки. Сл2: Перед созданием модели необходима экспериментальная база данных. Сл3: Высокая стоимость программного обеспечения для разработки проекта. Сл4: Отсутствие инжиниринговой компании, способной осуществить разработку модели.

Продолжение приложения Б

Возможности:	Описанные стороны	Слабые стороны, такие
В1: Использование инновационной инфраструктуры ТПУ.	проекта позволяют осуществить возможности. Так,	как необходимость использования экспериментальной базы
В2: Появление дополнительного спроса на данный продукт.	использование вычислительных мощностей и знания	для создания модели способно значительно затормозить развитие и
В3: Повышение стоимости конкурентах разработок.	ученых ТПУ, позволит выявить новые методы создания модели, что	увеличить стоимость проекта, что добавится к высокой стоимости
В4: Улучшение методов моделирования	приведет к ускорению вычислений, увеличению точности и снижению стоимости конечного продукта.	программного обеспечения

Продолжение приложения Б

Угрозы:	Основная угроза проекта	Наличие весьма
У1: Отсутствие спроса на новые энерго-эффективные технологии.	видится в отсутствии спроса на энерго-эффективные технологии, которые	дорогостоящего лицензионного программного обеспечения для
У2: Введение дополнительных требований к программному обеспечению.	могут быть не востребованы в различных отраслях энергетики. Однако передовые компании,	разработки модели может снизить спрос на данную разработку и свести финансирование к нулю.
У3: Несвоевременное финансирование проекта	заинтересовавшись данной разработкой, могут поспособствовать с решением вопросами о программном обеспечении проекта и о его финансовом обеспечении	

Приложение В – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель проекта
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение теоретического материала по данной теме	Инженер
	3	Выбор направления исследований	Руководитель проекта, инженер
	4	Составление календарного плана работ	Руководитель проекта, инженер
Проведение исследование	5	Создание расчетной модели	Инженер
	6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер
	7	Анализ результатов и сопоставление теоретических и экспериментальных исследований	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер
Контроль и координирование проекта	9	Контроль качества выполнения проекта и консультирование инженера	Руководитель проекта
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Инженер

Приложение Г – Временные показатели проведения работ

№ раб	Название работы	Трудоемкость работ						Длительно сть работ в рабочих дня		Длительнос ть работ в календарны х дня	
		$t_{\min i}$, чел.- дн.		$t_{\max i}$, чел.- дн.		$t_{\text{ож} i}$, чел.- дн.					
		Р	И	Р	И	Р	И	Р	И	Р	И
1	Составление и утверждение технического задания	2	0	7	0	4	0	4	0	5	0
2	Подбор и изучение теоретического материала по данной теме	0	10	0	20	0	14	0	14	0	21
3	Выбор направления исследований	2	2	7	7	4	4	2	2	2	3
4	Составление календарного плана работ	2	2	7	7	4	4	2	2	2	3
5	Создание расчетной модели	0	2	0	7	0	4	0	4	0	6
6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	0	5	0	10	0	7	0	7	0	10
7	Анализ результатов и сопоставление теоретических и экспериментальных исследований	0	10	0	20	0	14	0	14	0	21
8	Оценка эффективности полученных результатов	0	5	0	10	0	7	0	7	0	10
9	Контроль качества выполнения проекта и консультирование инженера	2	0	7	0	4	0	4	0	5	0
10	Составление пояснительной записки	0	7	0	12	0	9	0	9	0	13

Приложение Д – Календарный план-график реализации проекта (диаграмма Ганта)

№ раб.	Название работы	Исп.	T _{к_г} , дн.	Февраль				Март				Апрель				Май			
				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Составление и утверждение технического задания	Р	5	■															
2	Подбор и изучение теоретического материала по данной теме	И	21		■	■	■												
3	Выбор направления исследований	Р	2				■												
		И	3				■												
4	Составление календарного плана работ	Р	2					■											
		И	3					■											
5	Создание расчетной модели	И	6						■	■									
6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	И	10							■	■								
7	Анализ результатов и сопоставление теоретических и экспериментальных исследований	И	21								■	■	■	■	■				
8	Оценка эффективности полученных результатов	И	10										■	■					
9	Контроль качества выполнения проекта и консультирование инженера	Р	5												■				
10	Составление пояснительной записки	И	13														■	■	■