

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность
Отделение контроля и диагностики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Математическое моделирование возникновения и распространения природных пожаров

УДК 614.841.42:519.876

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1E81	Фенько Владислав Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов Валерий Афанасьевич	д.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСТН	Гасанов Магеррам Али оглы	д.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Авдеева Ирина Ивановна	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП 20.03.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Вторушина А.Н.	к.х.н.		

Томск – 2022 г.

Планируемые результаты освоения образовательной программы по направлению 20.03.01 Техносферная безопасность

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способность учитывать современные тенденции развития техники и технологий в области обеспечения техносферной безопасности, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Способность использовать основы экономических знаний при оценке эффективности результатов профессиональной деятельности
ОПК(У)-3	Способность ориентироваться в основных нормативно-правовых актах в области обеспечения безопасности
ОПК(У)-4	Способность пропагандировать цели и задачи обеспечения безопасности человека и окружающей среды
ОПК(У)-5	Готовность к выполнению профессиональных функций при работе в коллективе
ДОПК(У)-1	Способность ориентироваться в основных методах и системах обеспечения техносферной безопасности, обоснованно выбирать известные устройства, системы и методы защиты человека и окружающей среды от опасностей
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-9	Готовность использовать знания по организации охраны труда, охраны окружающей среды и безопасности в чрезвычайных ситуациях на объектах экономики
ПК(У)-10	Способность использовать знание организационных основ безопасности различных производственных процессов в чрезвычайных ситуациях
ПК(У)-11	Способность организовать, планировать и реализовать работу

	исполнителей по решению практических задач обеспечения безопасности человека и окружающей среды
ПК(У)-12	Способность применять действующие нормативные правовые акты для решения задач обеспечения объектов защиты
ПК(У)-14	Способность определять нормативные уровни допустимых негативных воздействий на человека и окружающую среду
ПК(У)-15	Способность проводить измерения уровней опасностей в среде обитания, обрабатывать полученные результаты, составлять прогнозы возможного развития ситуации
ПК(У)-16	Способность анализировать механизмы воздействия опасностей на человека, определять характер взаимодействия организма человека с опасностями среды обитания с учетом специфики механизма токсического действия вредных веществ, энергетического воздействия и комбинированного действия вредных факторов
ПК(У)-17	Способность определять опасные, чрезвычайно опасные зоны, зоны приемлемого риска
ПК(У)-18	Готовность осуществлять проверки безопасного состояния объектов различного назначения, участвовать в экспертизах их безопасности, регламентированных действующим законодательством Российской Федерации

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность
Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
20.03.01 Техносферная безопасность
_____ А.Н. Вторушина
04.02.2022 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
1E81	Фенько Владиславу Владимировичу

Тема работы:

Математическое моделирование возникновения и распространения природных пожаров	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	От 12.01.2022 №12-30/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	02.06.2022 г.
------------------------------------------	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования в данной работе являются верховые природные пожары.</p> <p>Предметом исследования является математическое моделирование возникновения и распространения верховых природных пожаров. В качестве исходных данных для анализа поведения лесных пожаров рассматривались: запас лесных горючих материалов, влагосодержание, высота лесного массива, скорость ветра.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с</i></p>	<ol style="list-style-type: none">1. Обзор литературы и экспериментальных работ по моделированию природных пожаров;2. Постановка физической задачи о возникновении и распространении природных пожаров;

<p>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).</p>	<p>3. Разработка математической модели возникновения и распространения природных пожаров; 4. Изучение методов численного решения задачи; 5. Проведение численных расчетов процессов возникновения и распространения природных пожаров; 6. Анализ полученных результатов.</p>
<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>Таблицы, рисунки расчетной области, применяемого метода численного решения, графики зависимостей.</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Профессор ОСГН Гасанов Магеррам Али оглы
Социальная ответственность	Авдеева Ирина Ивановна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	04.02.2022 г.
-------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов Валерий Афанасьевич	д.ф.-м.н.		04.02.2022 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1E81	Фенько Владислав Владимирович		04.02.2022 г.

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность
Уровень образования бакалавриат
Отделение контроля и диагностики
Период выполнения весенний семестр 2021/2022 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	02.06.2022 г.
------------------------------------------	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
14.03.2022	Обзор литературных источников по теме исследования, разработка физической и математической постановки задачи	20
31.03.2022	Создание математической модели в программе MATLAB	10
10.04.2022	Изучение метода численного решения задачи	15
24.04.2022	Проведение расчетов в программе и обработка полученных результатов	15
14.05.2022	Анализ полученных данных и построение графиков	10
20.05.2022	Разработка разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
07.06.2021 г.	Оформление и представление ВКР	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов В. А.	д.ф-м.н.		04.02.2022

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП 20.03.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Вторушина А.Н.	к.х.н.		04.02.2022

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 1E81		ФИО Фенько Владислав Владимирович	
Школа	Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности	Отделение (НОЦ)	Контроля и диагностики
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/ специальность	20.03.01 Техносферная безопасность

Тема ВКР:

Математическое моделирование возникновения и распространения природных пожаров	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
Введение	<p><i>Объект исследования:</i> природный пожар, моделируемый с помощью программного обеспечения на компьютере</p> <p><i>Область применения:</i> математическое моделирование, гражданская оборона и защита населения от лесных пожаров</p> <p><i>Рабочая зона:</i> офис</p> <p><i>Размеры помещения:</i> 5*4 м</p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> персональный компьютер (ПЭВМ) – 1 шт.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:	<p>Федеральный закон "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" от 30.03.1999 N 52-ФЗ;</p> <p>СП 2.2.3670-20 Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда;</p> <p>ТК РФ Статья 100. Режим рабочего времени;</p> <p>ТК РФ Статья 108. Перерывы для отдыха и питания;</p> <p>ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования;</p> <p>ГОСТ Р 52324-2005 (ИСО 13406-2:2001) Эргономические требования к работе с визуальными дисплеями, основанными на плоских панелях. Часть 2. Эргономические требования к дисплеям с плоскими панелями;</p> <p>ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.</p>
2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:	<p>Опасные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий; 2. Повышенный уровень статического электричества; 3. Короткое замыкание. <p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Повышенный уровень общей вибрации; 2. Повышенный уровень шума;

	<p>3. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;</p> <p>4. Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего;</p> <p>5. Нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса;</p> <p>6. Длительность сосредоточенного наблюдения.</p> <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: архитектурно-планировочные изменения расположения оборудования, защита расстоянием, использование устройств звукоизоляции, установка на оборудование шумоглушащих коробов, щитов, кожухов, размещение искусственных источников света непосредственно над рабочим местом работающего.</p>
<p>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения</p>	<p>Воздействие на селитебную зону: не оказывает</p> <p>Воздействие на литосферу: утилизация комплектующих частей персонального компьютера, люминесцентных ламп, макулатуры.</p> <p>Воздействие на гидросферу: продукты жизнедеятельности персонала.</p> <p>Воздействие на атмосферу: токсические вещества, содержащиеся в компьютерных компонентах, при горении ПК.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения</p>	<p>Возможные ЧС: Техногенные – возгорание шнуров, сетевого фильтра или комплектующих ПК, приведшее к пожару, аварии на коммунальных системах жизнеобеспечения населения, несанкционированное проникновение посторонних лиц на рабочее место.</p> <p>Наиболее типичная ЧС: пожар</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику 1.03.2022</p>	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Авдеева Ирина Ивановна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1E81	Фенько Владислав Владимирович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1E81	Фенько Владислав Владимирович

Школа	Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности	Отделение школы (НОЦ)	Контроля и диагностики
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	20.03.01 Техносферная безопасность

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оклад руководителя – 30000 руб. Оклад инженера – 15000 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Премимальный коэффициент руководителя 30%; Премимальный коэффициент инженера 20%; Доплаты и надбавки руководителя 30%; Доплаты и надбавки инженера 30%; Дополнительной заработной платы 12%; Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 1,3%.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30,2 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Определение потенциального потребителя результатов исследования, SWOT-анализ разработанной стратегии
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Определение структуры работы. Расчет трудоемкости выполнения работ. Подсчет бюджета исследования
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Рассчитать показатели финансовой эффективности, ресурсоэффективности и эффективности исполнения

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Альтернативы проведения НИ</i>
4. <i>График проведения и бюджет НИ</i>
5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	04.03.2022
-------------------------------------------------------------	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор ОСГН	Гасанов М.А.	Д.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1E81	Фенько Владислав Владимирович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 77 с., 15 рис., 15 табл., 24 источника.

Ключевые слова: математическая модель, природные пожары, распространение верхового пожара, метод контрольного объема.

Объектом исследования являются лесные пожары, моделируемые с помощью программного обеспечения на персональном компьютере (ПК).

Цель работы – разработка математической модели возникновения и распространения верховых лесных пожаров.

В процессе исследования с помощью программного обеспечения MATLAB проводилось описание процесса возникновения и развития лесного пожара в рамках математической постановки, Учитывалось влияние метеорологических условий, состояние и основные характеристики лесного массива.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: применима к ЭВМ на операционных системах Windows.

Степень внедрения: программное обеспечение (ПО) в области прогнозирования лесных пожаров.

Область применения: научно-исследовательские институты, высшие учебные заведения, МЧС, лесохозяйственные формирования.

Экономическая значимость работы заключается в том, что результаты, полученные при численном решении задачи возникновения и распространения природного пожара с помощью программы MATLAB, могут быть использованы пожарными для заблаговременного принятия мер по локализации пожара, спасению и эвакуации людей близлежащих районов.

Сокращения и обозначения

ПО – программное обеспечение

ЛГМ – лесные горючие материалы

МЧС – Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	14
1. Литературный обзор	16
1.1 Лесные пожары, определение и виды	16
1.2 Причины распространения пожара	20
1.2.1 Горючие материалы	20
1.2.2 Погодные условия	21
1.3 Способы борьбы с лесными пожарами	21
2. Физико-математическая постановка задачи	23
2.1 Физическая постановка задачи	23
2.2 Математическая постановка задачи	24
3. Метод численного решения и результаты расчетов	28
3.1 Метод контрольного объема	28
3.2 Результаты численного решения одномерной задачи и их анализ	32
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	42
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	43
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений	43
4.1.2 SWOT-анализ	44
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	48
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	48
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования	49
4.3 Бюджет научно-технического исследования	53
4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования	54
4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования	55
4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	56
4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	58
4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	58

4.3.6 Накладные расходы.....	59
4.3.7 Бюджетная стоимость НИР	60
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	60
5. Социальная ответственность	61
5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	61
5.1.1 Правовые нормы трудового законодательства.....	61
5.1.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны	62
5.2 Производственная безопасность	64
5.2.1 Отклонение показателей микроклимата в помещении	65
5.2.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны	66
5.2.3 Повышенный уровень шума на рабочем месте	66
5.2.4 Повышенный уровень вибрации	67
5.2.5 Психофизические факторы.....	68
5.2.6 Поражение электрическим током.....	69
5.2.7 Короткое замыкание	70
5.3 Экологическая безопасность	70
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	71
Заключение.....	74
Список литературы	76

ВВЕДЕНИЕ

Значительная территория земной поверхности занята лесами. Их основная функция заключается в очистке атмосферы, а также они необходимы в промышленности как источники кислорода и сырьевой базы, к тому же их роль существенна в сельхозпроизводстве.

Лесной пожар, как природный, так и порожденный деятельностью человека фактор, для леса является серьезнейшим врагом. Он изменяет функционирование леса и его состояние. В результате природных пожаров ущерб получают и отрасли экологии, и экономики, а также лесные пожары – опаснейшая угроза для человеческой жизни. Так, на сегодняшний день на территории Российской Федерации по данным космического мониторинга зафиксировано 12743 лесных пожаров (термических аномалий) [1]. Из них на территорию Дальневосточного федерального округа приходится 4743 лесных пожаров, что составляет 37% от общего числа. Чуть большее количество термических аномалий приходится на Сибирский федеральный округ, где количество лесных пожаров достигает 3976, что составляет 38% от общего числа природных пожаров [1].

С помощью метода математического моделирования могут быть получены значения тех или иных величин, описывающих процесс возникновения лесного пожара и его дальнейшее распространения. На основе полученных данных могут быть разработаны меры профилактики и борьбы с данным стихийным бедствием.

Цель данной работы – разработка одномерной математической модели возникновения и распространения природных пожаров при различных состояниях и характеристиках лесного массива.

Для достижения поставленной цели был поставлен ряд задач:

1. Разработать физико-математическую постановку задачи возникновения и распространения лесного пожара;
2. Применить метод контрольного объема для получения дискретного аналога;
3. Провести численные расчеты процессов возникновения и распространения лесного пожара;
4. Изучить влияние состояния лесного массива (запаса и влагосодержания ЛГМ), скорости ветра и размеров противопожарных разрывов на условия распространения фронта лесного пожара;
5. Построить графики распределения полей скорости, температуры и концентраций компонентов газовой и конденсированной фазы.

Объектом исследования являются лесные пожары. Предметом исследования является математическое моделирование возникновения и распространения верховых природных пожаров.

Практическая новизна работы заключается в создании математической модели, учитывающей температуру газовой и конденсированной фазы и многофазность реагирующей среды, с помощью которой можно провести исследование зависимости условий распространения фронта лесного пожара от основных характеристик и состояния лесного массива. Полученные результаты могут быть использованы для проведения пожарной профилактики и противопожарной защиты в лесах, тушения лесных пожаров, повышения безопасности пожарных и населения, снижения риска и минимизации ущерба.

Так, зная параметры конкретного лесного массива, а также полученные на их основе распределения величин, например, распространение фронта пожара, лесохозяйственные формирования или МЧС могут принять оперативные меры, направленные на ликвидацию лесных пожаров в кратчайшее время.

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Лесные пожары, определение и виды

Лесной биогеоценоз, как совокупность организмов с их средами обитания, представляет собой наполненный множеством элементов структурный слой. При этом все элементы слоя рассматриваются как отдельный горючий материал. Учитывая механику сплошной среды, лес может быть представлен как определенный слой с наличием большого числа компонентов и фаз, внутри которого могут протекать реакции. Другими словами, лес – это сплошная масса, в которой свойства в вертикальном и горизонтальном направлениях неоднородны [2].

Определение термина лесного пожара дано в работе [2]. Важно понимать и знать, какие процессы протекают при лесном пожаре. Автор выделяет нагревание, сушку и пиролиз ЛГМ, горение газообразных продуктов пиролиза и догорание конденсированных, процессы переноса энергии и вещества из зоны пожара.

Лес богат горючими материалами и кислородом воздуха. Источник высокой температуры (огня), который может вызвать горение, попадает извне. Но при возгорании лесного массива и возникновении лесного пожара, последний сам поддерживает реакцию горения, так как уже является источником тепла для протекания реакции.

Согласно [3] существует последовательность фаз, которую проходит процесс горения. В первой фазе горючие материалы предварительно нагреваются и подсушиваются. Во второй фазе те же материалы высыхают и выделяют водяные пары, затем при 120°C воспламеняются и горят, а при достижении температуры в 260°C происходит горение кислот и смол. Третья фаза характеризуется воспламенением газов при температуре от 315°C до 425°C, а в диапазоне температур от 650°C до 1095°C наблюдается пламенное горение и выделение дыма, CO₂, водяных паров и несгоревших газов.

В работе [2] отражено определение понятия пиролиза ЛГМ. Также автор указывает, что при протекании реакции пиролиза выделяется конденсированный продукт, называемый коксиком. Коксик состоит из практически чистого углерода. Также примером более простых веществ являются газообразные горючие и негорючие продукты CH_4 , H_2 , CO , H_2O [4].

Процесс горения газообразных продуктов пиролиза протекает в диффузионном режиме. Из этого следует, что зона горения ограничена в поступлении продуктов пиролиза и кислорода воздуха как окислителя. Горение летучих продуктов преобладает на первом этапе процесса, а горение конденсированного продукта пиролиза – на завершающем, втором. Процесс пиролиза древесины является многостадийным. Вначале, в результате первой реакции разложения образуются первичные летучие, первичный кокс и жидкая смола, которая затем разлагается на вторичные летучие, а также на вторичный кокс и летучие третьего сорта, которые получают при разложении первичных летучих. Первая стадия – эндотермическая, вторая и третья – экзотермическая.

Экспериментально доказано, что в процессе горения лесного массива энергия из зоны горения в виде тепла расходуется на нагрев, сушку и пиролиз органической массы. Затем происходит сгорание летучих и конденсированных продуктов пиролиза и, соответственно, снова выделяется энергия. Аналогично, по указанному принципу, повторяется процесс. Расход тепла выражен переносом энергии кондукцией, конвекцией, излучением и переносом частиц из фронта пожара. В зависимости от того, какой объект горит в многоярусном растительном покрове, выделяют три вида лесных пожаров: низовой, верховой и почвенный [5].

Низовой пожар характеризуется распространением огня по напочвенному покрову. Горит: лесной опад, состоящий из мелких ветвей, коры, хвои, листьев; лесная подстилка, высохшая трава и травянистая растительность; живой напочвенный покров из трав, мхов; мелкий подрост и кора в нижней

части древесных стволов. По скорости распространения огня и характеру горения низовые пожары бывают беглые и устойчивые.

Беглый низовой пожар развивается в весенний период, когда подсыхает лишь самый верхний слой мелких горючих материалов напочвенного покрова и прошлогодняя травянистая растительность. Скорость распространения огня 180...300 м/ч и находится в прямой зависимости от скорости ветра в приземном слое [3].

Устойчивый низовой пожар характеризуется полным сгоранием напочвенного покрова и лесной подстилки. Эти пожары возникают в середине лета, когда подстилка просыхает по всей толщине залегания. Полностью сгорают подрост, подлесок, лесная подстилка, обгорают корни и кора деревьев. Скорость распространения огня в случае устойчивого низового пожара принимает значения от нескольких метров в час до 180 м/ч. Статистика показывает, что доля низовых пожаров составляет от 97% до 98% при охваченной ими площади в значение около 90% всех зарегистрированных инцидентов природных пожаров [3].

Верховой пожар (беглый и устойчивый) распространяется по кронам деревьев. Зачастую, верховые пожары в древостоях с низкоопущенными кронами, в разновозрастных хвойных, в многоярусных и с обильным подростом насаждениях, а также в горных лесах, развиваются вследствие низовых. Скорость распространения верхового устойчивого пожара варьируется в пределах от 300 м/ч до 1500 м/ч, а беглого – от 4000 м/ч до 5000 м/ч. К счастью, доля верховых пожаров значительно меньше доли низовых и составляет порядка 2%, а пройденная ими площадь – около 12% площади всех пожаров [3].

В случае, когда горит лесная подстилка и сухой слой торфяного горизонта, а процесс горения распространяется на всю глубину торфяного слоя почвы, мы имеем дело с почвенным (подземным) пожаром. При почвенном

пожаре сгорают корни, деревья вываливаются и падают, как правило, вершинами к центру пожара. Пожарище в большинстве случаев имеет круглую или овальную форму. Скорость распространения огня небольшая – от нескольких десятков сантиметров до нескольких метров в сутки. Доля же подземных пожаров еще меньше доли верховых и колеблется в пределах от 0,5% до 1%, а пройденная ими площадь – не более 1% площади всех пожаров [3].

Основные причины возникновения лесного пожара давно известны, среди них имеется ряд природных предпосылок, которые играют решающую роль в поведении природного пожара. Так, к природным факторам, влияющим на возникновение и развитие пожара, относится совокупность, называемая средой пожара, которая состоит из воздушных масс, горючих материалов и рельефа местности.

Особенностью и в то же время трудностью для пожарных и человека, занимающимся моделированием природных пожаров, является непостоянство среды пожара. Ее параметры изменяются и в пространстве, и во времени. Размер и характер конкретного пожара сам задает и изменяет протяженность данной среды.

Изменения параметров и факторов среды одной группы приводят к изменениям факторов в других, это объясняется их тесной связью в среде пожара. Специфика распространения и развития природных пожаров заключается в том, что они за время действия могут несколько раз переходить из закрытой среды в открытую и обратно. В случае сильного пожара, который распространяется на значительной территории, часть участков кромки находится в закрытой среде, а другая часть – в открытой [6].

1.2 Причины распространения пожара

Как уже было отмечено ранее, для процесса горения характерно выделение большого количества тепла, которое, в свою очередь, путем конвекции, излучения и проводимости передается окружающей среде.

В целом, и конвекция, и излучение, и проводимость – это различного рода распространение высоких температур. В случае конвекции распространение происходит подъемом массы горячего воздуха конвекционной колонкой над зоной горения. При излучении – лучистой энергией, которая от источника горения передается радиально во всех направлениях. Распространение высоких температур проводимостью происходит по горючим материалам.

1.2.1 Горючие материалы

Согласно [3] горючие материалы делятся на две основные группы: 1) легковоспламеняющиеся и быстрогорящие, 2) медленновоспламеняющиеся.

К первой группе относятся: сухая трава, отмершие листья, хвоя, мелкие ветки, сучья, некоторые кустарники, самосев и др. Благодаря им обеспечивается быстрое перекидывание огня, а также данная группа служит воспламенителем для второй группы горючих материалов.

Представители второй группы горючих материалов: валежники, пни, нижние слои лесной подстилки, кустарники и деревья. В процессе горения этой группы выделяется большое количество тепла, что способствует дальнейшему развитию пожара.

На интенсивность горения, определяющую скорость распространения природного пожара, большое влияние оказывает вид, количество, состояние и распределение ЛГМ в лесном массиве.

1.2.2 Погодные условия

Решающим значением, оказывающим влияние на распространение природного пожара, являются погодные условия. Ограничение и прекращение горения достигается в условиях дождей и высокой влажности. Распространение огня усиливается при увеличении скорости ветра. Напротив, безветренная погода и пониженные температур воздуха производят стабилизацию горения и снижение его интенсивности. Самые подходящие условия для возникновения и распространения пожара наступают в случае сухой жаркой погоды. Такие погодные факторы, как ветер, температура и влажность воздуха являются основными учитываемыми при анализе и прогнозе лесного пожара. Вполне логично, что при большей скорости ветра распространение фронта пожара так же больше. Связано это с дополнительным поступлением кислорода, перекидыванием пламени на расположенные по направлению ветра впереди ЛГМ, что вызывает образование новых очагов возгорания, перебрасывая искры, горящую золу за кромку основного слоя [3].

Влага, состоящая из водяных паров, всегда присутствует в воздухе. Когда ЛГМ сырой, он не горит, это доказывает, что влажность материалов в лесном массиве оказывает колоссальное влияние на возникновение и распространение лесных пожаров. Обычно, ночью воздух более влажный, чем днем, поэтому в ночное время, при обычных условиях, процессы горения протекают медленнее, и распространение пожара так же меньше [3].

Доказательство немаловажности фактора температуры воздуха: нагретый солнечными лучами лесной горючий материал теряет влагу быстрее, а значит и горит с большей скоростью. Также не стоит забывать о том, что температура поверхности почвы влияет на движение воздушных потоков.

1.3 Способы борьбы с лесными пожарами

Согласно [2] все имеющиеся способы борьбы с природными пожарами бывают активные и пассивные. Разница их заключается в том, что активные

способы воздействуют на саму структуру фронта, а пассивные применяются для локализации.

Представители активного способа борьбы – это метод «захлестывания» кромки низового пожара свежесломанными ветками лиственных пород, который активно используется на практике. Также к активному способу относится тушение очага водой. Кстати говоря, представленные методы борьбы с пожаром структурно образуют физико-химический способ локализации и тушения.

Следующим представителем активного способа борьбы является метод взрывных и ударных волн, направленных на фронт пожара. Согласно [8] данный метод является наиболее эффективным при тушении и локализации природного пожара. Изначально, данные приемы использовались для тушения горящих скважин нефти и газа. А с течением времени они же использовались при борьбе с низовыми пожарами в лесу. Для этого применялись накладные шланговые заряды типа ПЖВ-20 и ЭШ-1П для прокладки полос разрыва [8].

Последним представителем активного способа стал представитель химического метода борьбы – доставка огнетушащих веществ во фронт пожара при их метании взрывом, а также использование противопожарных мин и снарядов, а также ракет.

Пассивные способы борьбы, или, как уже было сказано ранее, способы локализации, представлены такими мероприятиями, как отжиг ЛГМ, прокладка минерализованных полос с использованием химических средств и накладных зарядов. Отметим, что отжиг ЛГМ является химическим методом в связи с использованием химической реакции горения [7].

В источнике [9] описываются мероприятия в области защиты и охраны лесов от природных пожаров. Они заключаются в создании лесопожарных разрывов и заслонов, препятствующих распространению как верховых, так и низовых пожаров. Лесопожарный разрыв – полоса, в которой отсутствует

лесная растительность и напочвенный покров. А лесопожарный заслон – это лесная полоса из лиственных и негоримых пород деревьев. Также на практике заслон может быть создан переувлажненной полосой перед фронтом пожара из тех же пород деревьев, что и основной участок.

На практике встречаются ситуации, в которых применяется комбинирование лесопожарных барьеров, например, использование лесопожарного разрыва шириной, равной 4 метра, с лесопожарными заслонами шириной, равной 2 метра с использованием лиственных пород деревьев по краям этого разрыва [10].

2. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

2.1 Физическая постановка задачи

Рассмотрим нестационарную задачу о зажигании лесного массива и возникновения верхового лесного пожара. В рассматриваемой области в начальный момент времени $t = 0$ задано распределение температуры $T = T_e$.

Пусть очаг зажигания имеет конечные размеры. Начало системы координат XOZ связано с центром очага. OX -ось, совпадающая с направлением ветра, направлена параллельно поверхности земли, а ось OZ вертикально вверх. При этом в момент $t=0$ заданы координаты области повышенной температуры (очага зажигания). В результате воздействия ветра данный очаг верхового лесного пожара начинает распространяться вдоль лесного массива. На рисунке 1 схематично изображен изучаемый процесс. На данном рисунке Γ_0 – контрольная поверхность, отделяющая зону пожара от остальной части пространства, где под зоной пожара, в соответствии с [11], понимается часть пространства, в которой параметры отличаются от своих равновесных значений.

Необходимо построить математическую модель и изучить процесс возникновения и распространения верхового лесного пожара.

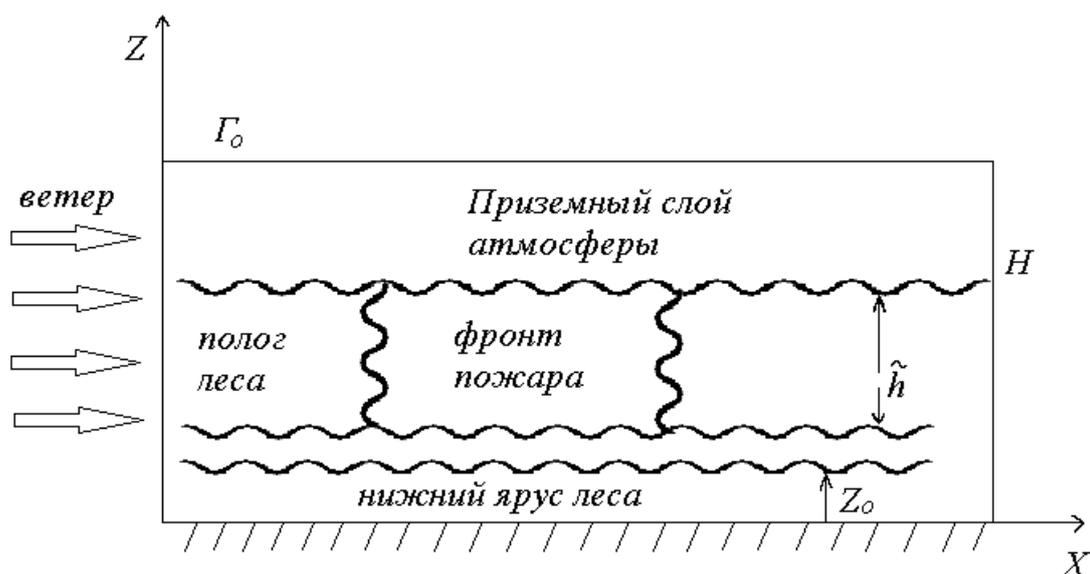


Рисунок 1 – Схема зоны двумерного пожара

2.2 Математическая постановка задачи

Являясь дополненной и измененной моделью, приведенной в работе [2], математическая постановка исследуемой задачи основывается на физической постановке. Существует ряд принятых основных допущений, используемых при выводе системы уравнений, а также уравнений начальных и граничных условий. К ним относят:

1. Направление ветра вдоль OX ;
2. Характер течения – развитый турбулентный, молекулярным переносом, по сравнению с турбулентным, пренебрегаем;
3. Полог используемого в модели леса – среда недеформируемая, пористо-дисперсная;
4. Среда полога леса – двухтемпературная, имеются температуры газовой и конденсированной фаз;
5. Лесной массив продуваем. По сравнению с объемной долей газовой фазы, в которую входят компоненты воздуха и газообразные продукты пиролиза и горения, объемной долей конденсированной фазы ЛГМ, которая состоит из сухого органического вещества, воды в жидко-капельном состоянии и золы, можно пренебречь;

6. Известна скорость движения воздушных масс над пологом леса в стационарном состоянии;
7. Давление не влияет на плотность газовой фазы. Связано с тем, что скорость звука гораздо больше скорости течения;
8. Перенос энергии происходит за счет турбулентной конвекции и излучения;
9. Для описания процесса переноса энергии излучением используется диффузионное приближение. Для описания конвективного переноса, обусловленного действием силы тяжести, используется уравнение Рейнольдса.

Процесс тепломассопереноса в лесном массиве описываемый общей системой дифференциальных уравнений [2]. Размеры массива леса в вертикальном направлении несопоставимо меньше горизонтальных размеров. В связи с этим систему уравнений, предварительно приведенную к дивергентному виду и проинтегрированную по высоте, можно проинтегрировать по Z-вертикальной координате. Причем высота h – уровень осреднения, то есть:

$$\int_0^h \phi dz = \bar{\phi}h,$$

где $\bar{\phi}$ – среднее значение величины ϕ .

Проинтегрированная система уравнений, используемая в данной работе, выглядит следующим образом (формулы (1)-(14)):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) = \dot{m} - \frac{(\dot{c}^- - \dot{c}^+)}{h}, \quad (1)$$

$$\rho \frac{du}{dt} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}(-\rho \overline{u'^2}) - \rho s c_d u |\vec{V}| - \dot{m}u + \frac{(\tau_x^- - \tau_x^+)}{h}, \quad (2)$$

$$\rho \frac{dv}{dt} = -(p_{z=h} - p_{z=0}) + \frac{\partial}{\partial x} (-\rho \overline{u'v'}) - \rho s c_d v |\vec{V}| - \dot{m}v + \frac{(\tau_y^- - \tau_y^+)}{h}, \quad (3)$$

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_t \frac{\partial T}{\partial x} \right) + q_5 R_5 + \alpha_v \cdot (T_s - T) - \frac{\alpha}{h} (T - T_e) + \kappa (c U_R - 4\sigma T^4), \quad (4)$$

$$\rho \left(\frac{\partial C_1}{\partial t} + u \frac{\partial C_1}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial x} (\rho v_1 \frac{\partial C_1}{\partial x}) - R_5 - \frac{M_1}{2M_c} R_3 - \frac{\alpha}{c_p h} (C_1 - C_{1e}), \quad (5)$$

$$\rho \left(\frac{\partial C_2}{\partial t} + u \frac{\partial C_2}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial x} (\rho v_1 \frac{\partial C_2}{\partial x}) - R_5 + v_g (1 - \alpha_c) R_1 - \frac{\alpha}{c_p h} (C_2 - C_{2e}), \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{c}{3\kappa} \frac{\partial U_R}{\partial x} \right) - \kappa (c U_R - 4\sigma T^4) = 0, \quad k = k_g + k_s, \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^3 \rho_i C_{pi} \phi_i \frac{\partial T_s}{\partial t} = q_3 R_3 - q_2 R_2 - k_s (c U_R - 4\sigma T^4) + \alpha_v \cdot (T - T_s), \quad (8)$$

$$\rho_1 \frac{\partial \phi_1}{\partial t} = -R_1; \quad \rho_2 \frac{\partial \phi_2}{\partial t} = -R_2; \quad \rho_3 \frac{\partial \phi_3}{\partial t} = \alpha_c R_1 - \frac{M_c}{M_1} R_3, \quad (9)$$

$$\sum_{\alpha=1}^3 c_\alpha = 1, \quad p_e = \rho RT \sum_{\alpha=1}^3 \frac{c_\alpha}{M_\alpha}; \quad \dot{m} = (1 - \alpha_c) R_1 + R_2 + \frac{M_c}{M_1} R_3, \quad (10)$$

$$R_1 = k_1 \rho_1 \phi_1 \exp\left(-\frac{E_1}{RT}\right), \quad (11)$$

$$R_2 = k_2 \rho_2 \phi_2 T^{-0.5} \exp\left(-\frac{E_2}{RT}\right), \quad (12)$$

$$R_3 = k_3 \rho_3 \phi_3 S_\sigma C_1 \exp\left(-\frac{E_3}{RT}\right), \quad (13)$$

$$R_5 = k_5 M_2 \left(\frac{C_1 M}{M_1}\right)^{0.5} \left(\frac{C_2 M}{M_2}\right) T^{-2.25} \exp\left(-\frac{E_5}{RT}\right). \quad (14)$$

Здесь $R_1 - R_5$ – массовые скорости пиролиза лесных горючих материалов, испарения влаги, горения конденсированных и летучих продуктов пиролиза, образования сажи и пепла и образования α – компонентов газодисперсной фазы; $C_{pi}, \rho_i, \varphi_i$ – удельные теплоемкости, истинные плотности и объемные доли i -ой фазы (1 – сухое органическое вещество, 2 – вода в жидко-капельном состоянии, 3 – конденсированные продукты пиролиза, 4 – минеральная часть, 5 – газовая фаза); T, T_S – температура газовой и конденсированной фаз; C_α – массовые концентрации ($\alpha = 1$ – кислород, 2 – CO, 3 – сажа, 4 – пепел, 5 – инертные компоненты воздуха); p – давление; U_R – плотность энергии излучения; σ – постоянная Стефана-Больцмана; k – коэффициент ослабления излучения; k_g, k_s – коэффициенты поглощения для газодисперсной и конденсированной фаз; α_v – коэффициент обмена фаз; q_i, E_i, k_i – тепловые эффекты, энергии активации и предэкспоненты реакций пиролиза, испарения, горения кокса и летучих продуктов пиролиза; S_σ – удельная поверхность элемента лесных горючих материалов; M_α, M_c, M – молекулярные веса индивидуальных компонентов газовой фазы, углерода и воздушной смеси; sc_d – удельная поверхность фитомассы и эмпирический коэффициент полога леса; c – скорость света; u – проекция скорости на ось x ; α_c, ν – коксовое число и массовая доля горючих газов в массе летучих продуктов пиролиза, \dot{m} – массовая скорость образования газодисперсной фазы.

Термодинамические, теплофизические и структурные характеристики соответствуют ЛГМ основного леса и численно равны [2]:

$$E_1/R = 9400 \text{ К}, E_2/R = 6000 \text{ К}, E_3/R = 10^4 \text{ К}, E_5/R = 11500 \text{ К}, k_1 = 3.36 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}, k_2 = 6 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}, k_3 = 10^3 \text{ с}^{-1}, k_5 = 3 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}, q_1 = 0, q_2 = 3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}, q_3 = 1.2 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг}, q_5 = 10^7 \text{ Дж/кг}, C_{p1} = 2000, C_{p2} = 4180, C_{p3} = 900, C_{p4} = 1000, C_p = 1000 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}), S_\sigma = 1000 \text{ м}^{-1}, sc_d = 0.1, \alpha_c = 0.06, \nu = 0.7, \rho_1 = 500, \rho_2 = 1000, \rho_3 = 200, \rho_e = 1.2 \text{ кг/м}^3, C_{2e} = 0, \varphi_{3e} = 0, p_e = 10 \text{ н/м}^2, T_e = 300 \text{ К}, C_{1e} = 0.23, \alpha_4 = 0.66, \alpha_6 = 10^{-4}.$$

Для решения представленной выше системы уравнений необходим учет начальных и граничных условий:

$$t = 0: u = 0; T = T_e; c_\alpha = c_{\alpha e}; T_s = T_e; ; \varphi_i = \varphi_{ie} \quad (15)$$

$$x = 0: u = V_e; v = 0; T = T_e; c_\alpha = c_{\alpha e}; -\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x} + \frac{c U_R}{2} = 0; \quad (16)$$

$$x = x_e: \frac{\partial u}{\partial x} = 0; \frac{\partial v}{\partial x} = 0; \frac{\partial c_\alpha}{\partial x} = 0; \frac{\partial T}{\partial x} = 0; \frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x} + \frac{c U_R}{2} = 0; \quad (17)$$

Кстати говоря, температура очага зажигания в области повышенной температуры, к которой мы уже обращались ранее, в зависимости от времени изменяется по следующей системе:

$$T = T_s = \begin{cases} T_e + \frac{t}{t_0} (T_0 + T_e), t \leq t_0 \\ T_e + (T_0 - T_e) \exp \left[-k \left(\frac{t}{t_0} - 1 \right) \right], t > t_0 \end{cases}, \quad (18)$$

где T_0 - температура горения, t_0 - момент времени максимума тепловыделения от очага зажигания. В момент зажигания полога леса от очага зажигания последний отключался, и фронт лесного пожара распространялся в зависимости от состояния и характеристик лесного массива, а также метеорологических условий.

3. МЕТОД ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

3.1 Метод контрольного объема

В данной выпускной квалификационной работе был использован метод контрольного объема. В основе метода лежит разбиение области на контрольные объемы и узловые точки, в которых ищется решение. Узловые точки находятся в центрах контрольных объемов. Для каждого контрольного объема составляется уравнение, после чего получается система алгебраических уравнений, решив которую, находятся значения искомых переменных в узловых точках. Для каждого контрольного объема уравнение получается

путем интегрирования исходного дифференциального уравнения по контрольному объему и аппроксимации интегралов [12].

Иными словами, численный метод решения сводится к определению дискретного аналога уравнения, для получения которого необходимо выделить контрольный объем (рис.2).

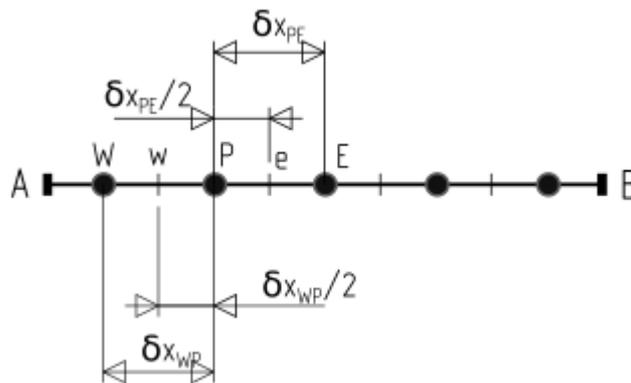


Рисунок 2 - Метод контрольного объема

Общее дифференциальное уравнение для данной задачи выглядит следующим образом:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\Phi) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \Phi) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma \frac{\partial \Phi}{\partial x_j} \right) + S, \quad (19)$$

где Γ – показатель интенсивности конвекции; S – источниковый член; Φ – обобщенная переменная (какая-либо функция). В данном случае $j = 1$.

Одномерный дискретный аналог, основываясь на (19), можно записать в следующем виде:

$$a_p \Phi_p = a_E \Phi_E + a_W \Phi_W + b, \quad (20)$$

где $a_E = D_e A (|P_e| + [|-F_e, 0|])$; $a_W = D_w A (|P_w| + [|-F_w, 0|])$;

$b = S_C \Delta x + a_p^0 \Phi_p^0$; $a_p = a_E + a_W + a_p^0 - S_p \Delta x$; $a_p^0 = \frac{\rho_p^0 \Delta x}{\Delta t}$.

Φ_p^0 и ρ_p^0 – это известные значения для момента времени t , а все другие величины (Φ_p, Φ_E, Φ_W и т.д.) – это неизвестные величины для момента времени

$t+\Delta t$. F_e, F_w (массовые расходы) определяются из уравнений $F_e = (\rho u)_e$; $F_w = (\rho u)_w$.

Тогда соответствующие проводимости могут быть представлены в виде:

$$D_e = \frac{\Gamma_e}{(\delta x)_e}; D_w = \frac{\Gamma_w}{(\delta x)_w}. \quad (21)$$

А числа Пекле:

$$P_e = \frac{F_e}{D_e}; P_w = \frac{F_w}{D_w}. \quad (22)$$

Для численного решения полученной системы алгебраических уравнений используется метод TDMA [12]. Далее кратко описан процесс решения.

Далее будут введены обозначения. Пусть каждой узловой точке, изображенной на Рисунке 2, будут присвоены номера $1, 2, 3, \dots, N$. Под номером 1 – первая точка левой границы, под номером N – последняя точка правой границы. Дискретный аналог можно записать в следующем виде:

$$a_i T_i = b_i T_{i+1} + c_i T_{i-1} + d_i, \quad (23)$$

где $i = 1, 2, 3, \dots, N$. Итак, температура T_i зависит от соседних значений T_{i+1} и T_{i-1} . В узловых точках уравнения будут иметь вид $c_1 = 0$ и $b_N = 0$.

Таким образом, значения температуры T_0 и T_{N+1} не будут иметь смысла. Так, когда на границах задана температура, уравнения для точек границ записываются в привычном для нас виде. К примеру, задано T_1 , тогда: $a_1 = 1$; $b_1 = 0$, $c_1 = 0$, а $d_1 = T_1$.

В случае $i=1$ T_1 может быть выражена через T_2 . Когда $i=2$, имеется зависимость между T_1, T_2, T_3 . Учитывая то, что известна зависимость между T_1 и T_2 , соотношение при $i=2$ преобразуется к соотношению между T_2 и T_3 . Вообще говоря, процесс данной подстановки может продолжаться до момента, пока T_N не будет выражено через значение T_{N+1} . А так как T_{N+1} попросту не

существует, мы в реальности на данном этапе получим численное искомое значение T_N . Это нам и позволяет начать процесс подстановки, называемый обратным, где значение T_{N-1} получится из T_N , T_{N-2} из T_{N-1} , ..., T_2 из T_3 и T_1 из T_2 . В этом и заключается сущность TDMA (алгоритма трехдиагональной матрицы).

Пусть при прямой подстановке имеется зависимость:

$$T_i = P_i T_{i+1} + Q_i, \quad (24)$$

которая была получена после нахождения:

$$T_{i-1} = P_{i-1} T_i + Q_{i-1}, \quad (25)$$

Подставляя (25) в (23), может быть получено следующее соотношение:

$$a_i T_i = b_i T_{i+1} + c_i (P_{i-1} T_i + Q_{i-1}) + d_i \quad (26)$$

Оно может быть приведено к виду (24). Другими словами, коэффициенты P_i и Q_i можно записать в виде:

$$P_i = \frac{b_i}{a_i - c_i P_{i-1}}; \quad (27)$$

$$Q_i = \frac{d_i + c_i Q_{i-1}}{a_i - c_i P_{i-1}}.$$

Из (27) при $i=1$ уравнения P_1 и Q_1 выглядят следующим образом:

$$P_1 = \frac{b_1}{a_1}; \quad Q_1 = \frac{d_1}{a_1} \quad (28)$$

На противоположной стороне последовательности с P_i , Q_i , значение $b_N=0$. Значит, $P_N=0$, и имеем:

$$T_N = Q_N \quad (29)$$

С этого момента осуществляется обратная подстановка с помощью уравнения (24).

Краткое описание алгоритма:

1. Рассчитываем P_1 и Q_1 из уравнения (28);

2. Используя рекуррентные соотношения (27), получаем P_i и Q_i для $i = 2, 3, \dots, N$;
3. Полагаем $T_N = Q_N$;
4. Используя уравнение (24) для $i = N-1, N-2, \dots, 3, 2, 1$ получаем $T_{N-1}, T_{N-2}, \dots, T_3, T_2, T_1$.

3.2 Результаты численного решения одномерной задачи и их анализ

В результате применения метода контрольных объемов получен дискретный аналог, который выражает закон сохранения той или иной функции Φ точно так же, как дифференциальное уравнение выражает закон сохранения для бесконечно малого контрольного объема. Важное свойство метода контрольного объема – это то, что его принцип основан на точном интегральном сохранении массы, количества движения и энергии для всей расчетной области [12].

Последовательность решения задачи была следующей. При заданном приближении для температуры вначале решались уравнения химической кинетики (9)-(14), полученные значения использовались для решения уравнений диффузии (5)-(6). Новые значения концентраций c_α использовались для решения уравнения энергии, и осуществлялся переход на новую итерацию. Решение считалось найденным на новом временном слое, если выполнялся критерий сходимости, согласно которому величина относительной ошибки в определении профилей искомых функций на двух последовательных итерациях не должна превышать 1%. В качестве начального приближения при организации функций указанного выше цикла итераций использовались распределения этих функций в предыдущий момент времени [11].

На основе модели распространения верхового лесного пожара (1)-(14) проведены многочисленные расчеты. Как способ инициирования горения использовался очаг, определяемый видом функции $T_{in}(x)$, $c_{in}(x)$, $\varphi_{in}(x)$, который существовал в течение некоторого времени t , обеспечивающий зажигание полого леса.

В ходе работы на Рисунках 3 и 5 представлены графики распределений: I – температуры газовой фазы \bar{T} (где $\bar{T}=T/T_e$, T – значение температуры в данный момент времени, $T_e=300\text{K}$), II – массовой концентрации кислорода \bar{C}_1 (где $\bar{C}=C_1/C_{1e}$, C_1 – значение массовой концентрации кислорода в данный момент времени, C_{1e} – начальное значение массовой концентрации кислорода, равное 0,23), III – газообразных горючих продуктов пиролиза \bar{C}_2 (где $\bar{C}_2=C_2/C_{1e}$), IV – температуры твердой фазы \bar{T}_s ($\bar{T}_s=T_s/T_e$), а на Рисунках 4 и 6 представлены графики распределения зависимости V – относительной объемной доли сухого органического вещества $\bar{\varphi}_1$ ($\bar{\varphi}_1 = \varphi_1/\varphi_{1e}$, $\varphi_{1e} =$), VI – воды в жидко-капельном состоянии $\bar{\varphi}_2$ ($\bar{\varphi}_2 = \varphi_2/\varphi_{2e}$, $\varphi_{2e} =$) и VII – кокса $\bar{\varphi}_3$, VIII – плотности энергии излучения \bar{U}_R (где $\bar{U}_R = U_R/(\frac{4\sigma T_e^4}{c})$) от расстояния x в различные моменты времени при различной скорости ветра U при стандартном влагосодержании ($W=0,6$) и запасе ЛГМ ($ZAP=0,2$).

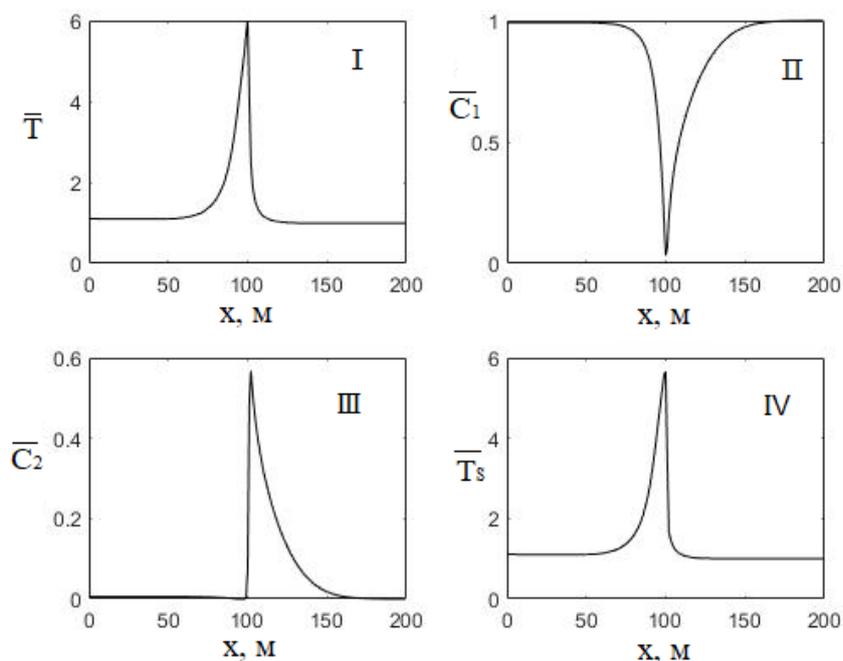


Рисунок 3 – Графики распределения в момент времени $t=20$ сек при скорости ветра $U=7$ м/с

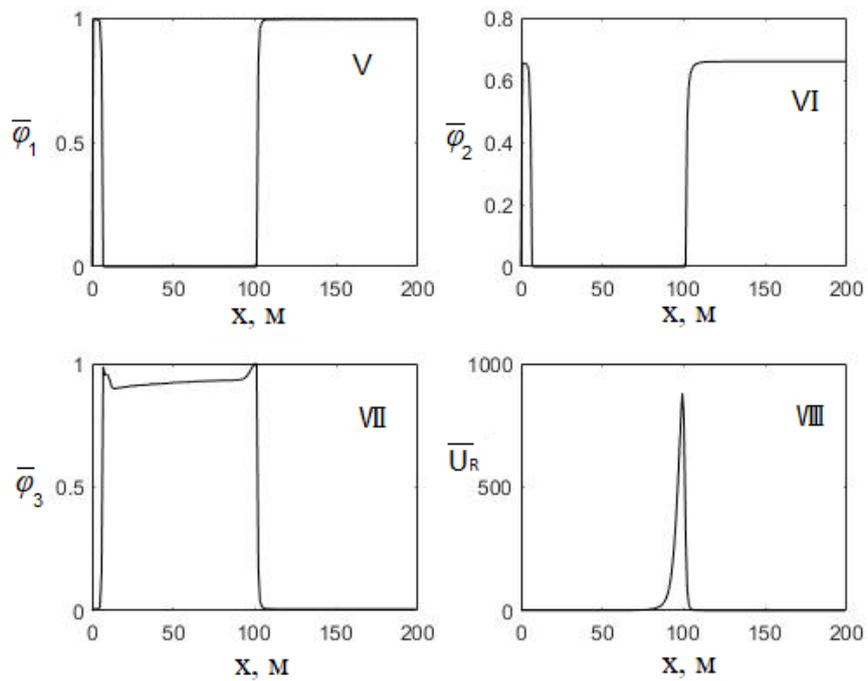


Рисунок 4 – Графики распределения в момент времени $t=20$ сек при скорости ветра 7 м/с

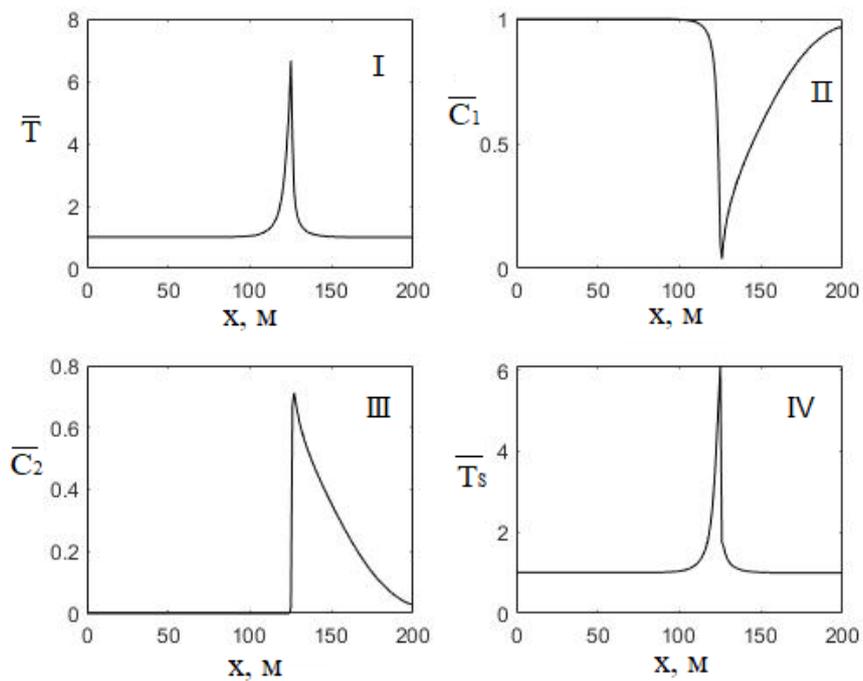


Рисунок 5 – Графики распределения в момент времени $t=20$ сек при скорости ветра 15 м/с

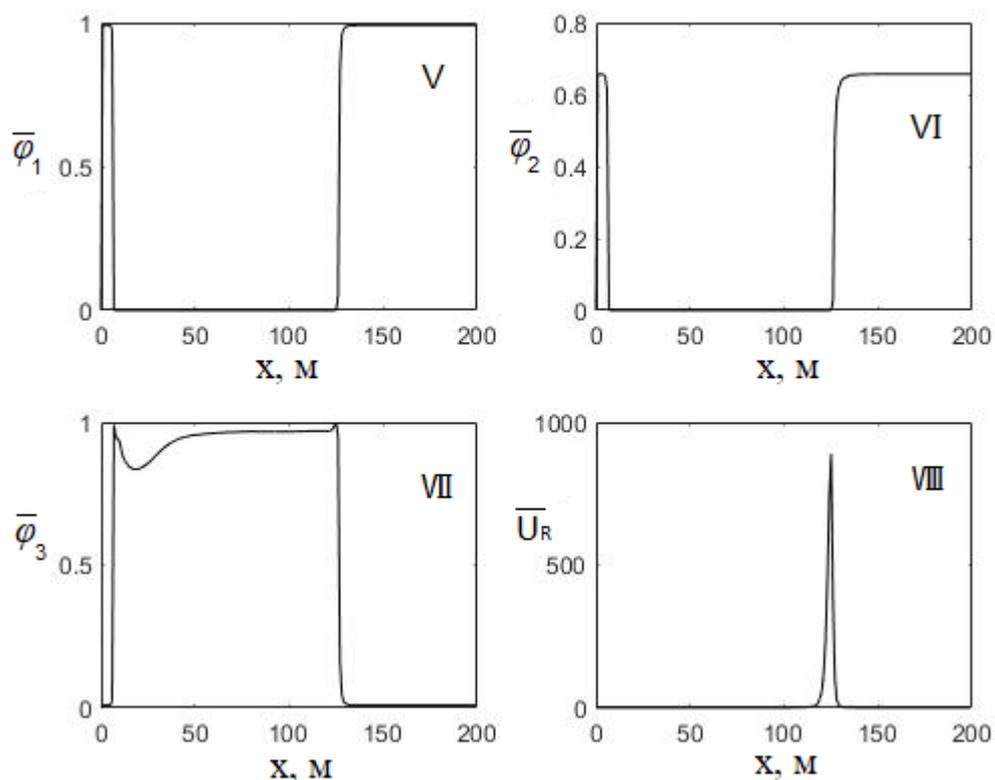


Рисунок 6 – Графики распределения в момент времени $t=20$ сек при скорости ветра 15 м/с

На каждом из рисунков показаны профили относительной объемной доли сухого органического вещества $\bar{\varphi}_1 = \varphi_1/\varphi_{1н}$ ($\varphi_{1н}$ – начальное значение объемной доли сухого ЛГМ) – положение фронта пиролиза, относительной объемной доли кокса $\bar{\varphi}_3 = \varphi_3 / \varphi_{3м}(\varphi_{3м} = \alpha_c \rho_n \varphi_{1н} / \rho_3)$ – максимально возможный выход кокса из ЛГМ.

Следующая отраженная на графиках зависимость – зависимость массовой концентрации кислорода \bar{c}_1 и газообразных горючих продуктов пиролиза \bar{c}_2 . Концентрация кислорода во фронте пожара уменьшается практически до нуля в результате расходования его на окисление продуктов пиролиза. Максимум концентрации продуктов пиролиза достигается перед максимумом температуры. Это объясняется тем, что фронт пиролиза находится впереди зоны горения газообразных и конденсированных продуктов пиролиза, а так же тем, что газообразные продукты сносятся в результате конвекции по направлению ветра.

Для наглядности также были построены графики распространения фронта пожара при различных скоростях ветра в различные моменты времени. Распространение отражено на Рисунках 7,8 и 9.

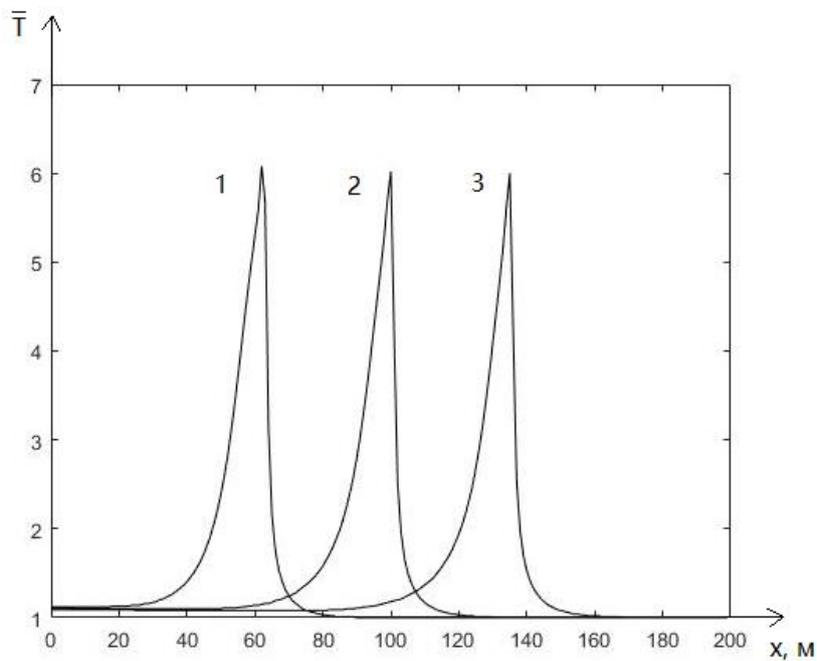


Рисунок 7 – Распространение фронта пожара при скорости ветра 7 м/с, в момент времени t : 1 – 10 сек, 2 – 20 сек, 3 – 30 сек

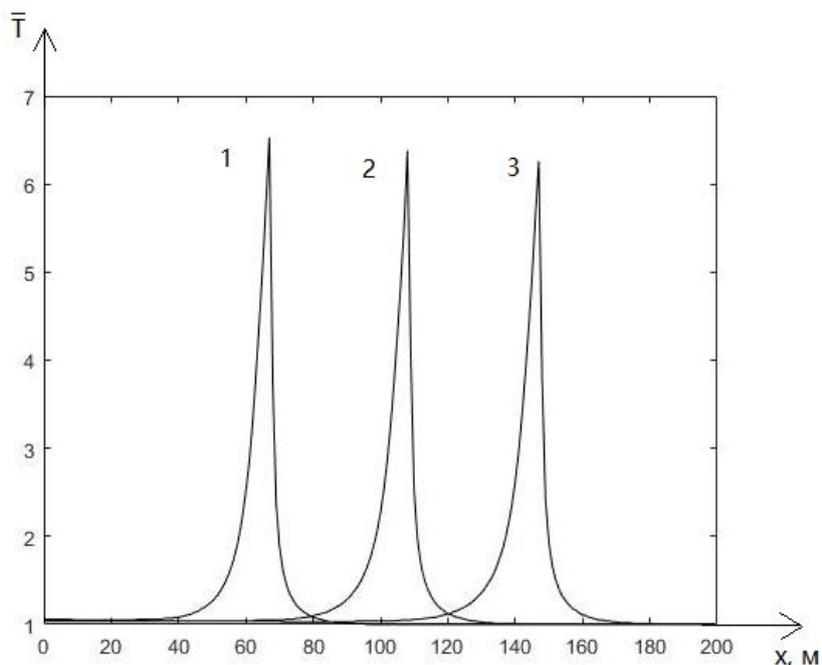


Рисунок 8 – Распространение фронта пожара при скорости ветра 10 м/с, в момент времени t : 1 – 10 сек, 2 – 20 сек, 3 – 30 сек

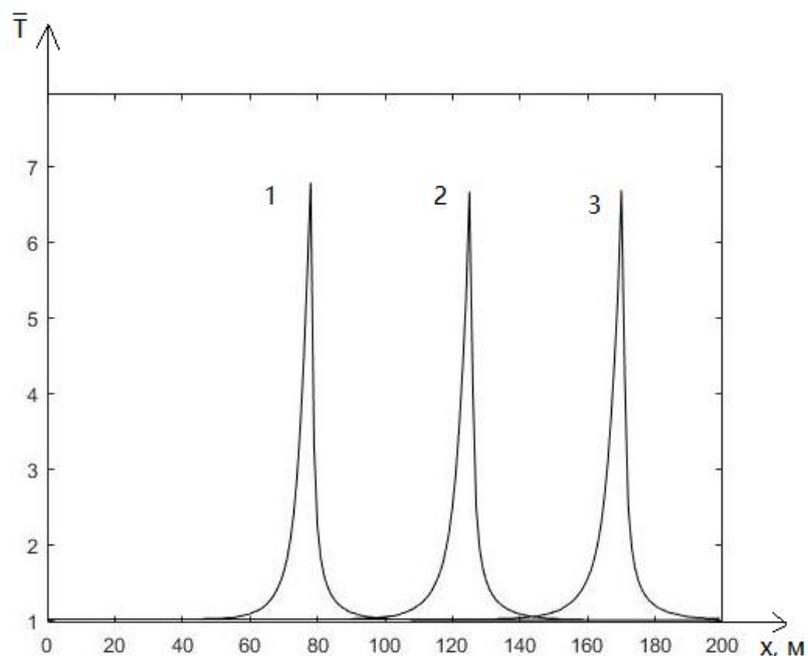


Рисунок 9 – Распространение фронта пожара при скорости ветра 15 м/с, в момент времени t : 1 – 10 сек, 2 – 20 сек, 3 – 30 сек

Сравнивая кривые \bar{T} на графиках, можно сделать вывод, скорость распространения фронта пожара растет при увеличении скорости ветра. Однако при увеличении скорости ветра ширина фронта уменьшается. К уменьшению размера фронта приводит уменьшение эффективного коэффициента вязкости μ_t , скорость распространения при этом также уменьшается. Но данное уменьшение не столь значительно, что свидетельствует о том, что при используемых в данном случае параметрах задачи конвективный механизм переноса является преобладающим.

Далее в ходе выполнения ВКР были построены графики зависимости скорости распространения фронта пожара от скорости ветра при различных значениях влагосодержания и запаса ЛГМ.

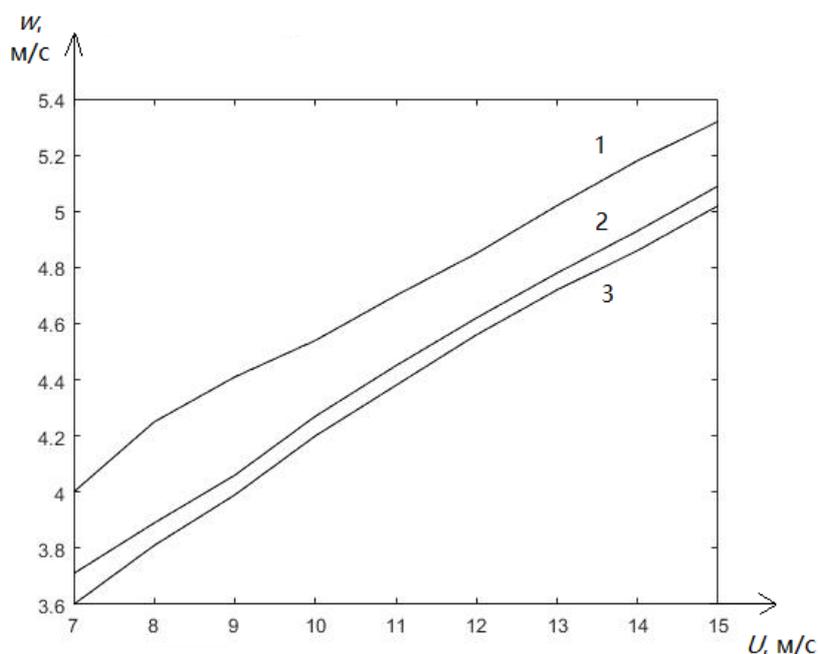


Рисунок 10 – Зависимость скорости распространения фронта пожара w от скорости ветра U при влагосодержании WL : 1 – 0,6; 2 – 0,7; 3 – 0,8

Из данного графика видно, что при большем влагосодержании ЛГМ скорость распространения фронта пожара меньше, так, сравнив кривые 1 и 3 с влагосодержанием 0,6 и 0,8 соответственно, при скорости ветра 10 м/с фронт пожара распространяется со скоростью 4,2 м/с (для $WL = 0,8$) и 4,6 (для $WL = 0,6$).

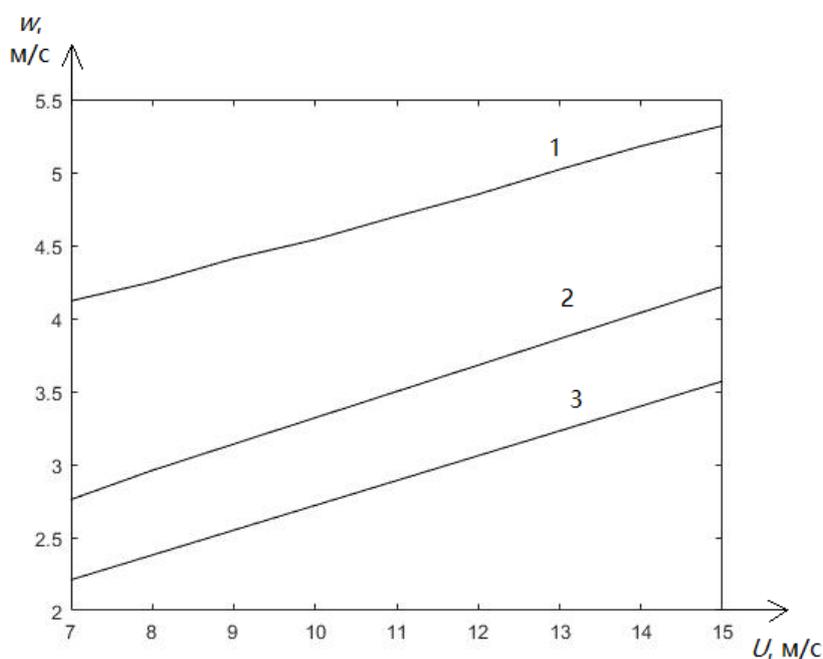


Рисунок 11 – Зависимость скорости распространения фронта пожара w от скорости ветра U при запасе ZAP ЛГМ: 1 – 0,2; 2 – 0,4; 3 – 0,6

Из данного графика видно, что при большем запасе ЛГМ (ZAP) скорость распространения фронта пожара меньше. Так, сравнив кривые 1 и 3 с запасом 0,6 и 0,2 соответственно, при скорости ветра 10 м/с фронт пожара распространяется со скоростью 2,5 м/с (для ZAP = 0,6) и 4,2 м/с (для ZAP = 0,2).

Также при выполнении расчетов в данной работе изучалось влияние противопожарных разрывов, размеры которых задавались в расчетной программе, на распространение верхового лесного пожара. В ходе решения были получены результаты, на основании которых были исследованы зависимости скорости распространения фронта пожара от скорости ветра, запасов и влагосодержания ЛГМ, что, в свою очередь, дает возможность применять такой метод расчетов для профилактики и разработки новых методик тушения лесных пожаров и предотвращения их.

На Рисунках 12,13 представлены случаи, когда считалось, что фронт пожара распространялся после прохождения противопожарного разрыва, а когда нет. Так, на Рисунке 12 при скорости ветра 10 м/с при длине разрыва l 15 м видно, что значение отнесенной температуры \bar{T} до разрыва равно значению после него, а значит, пожар продолжает распространяться.

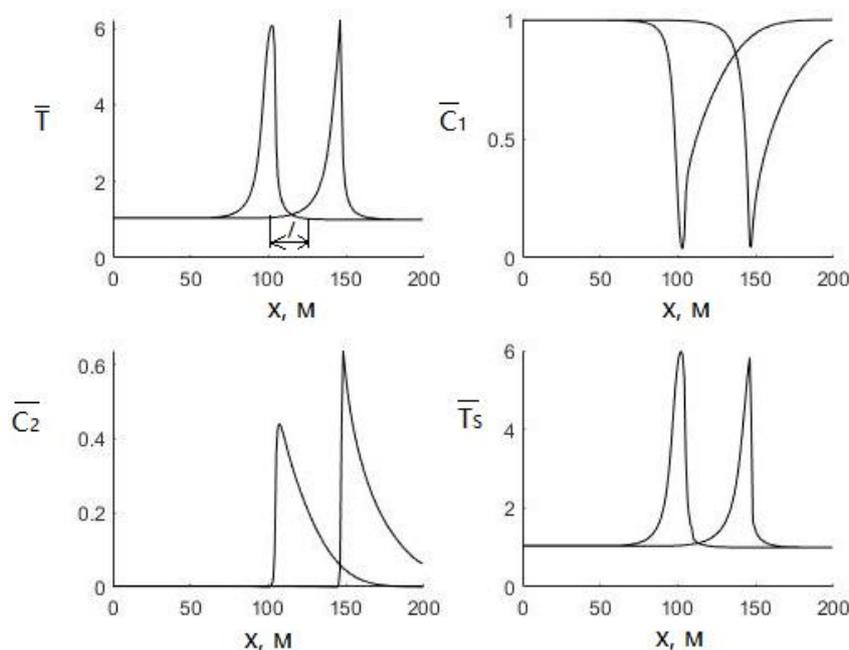


Рисунок 12 – Пожар распространяется после разрыва, $l = 15$ м

На Рисунке 13 же представлен случай, когда пожар, пройдя через разрыв длиной 20 м, не распространяется дальше, а значит, для данной скорости ветра размер полосы разрыва в 20 м достаточен для прекращения процесса горения и прекращения распространения лесного пожара.

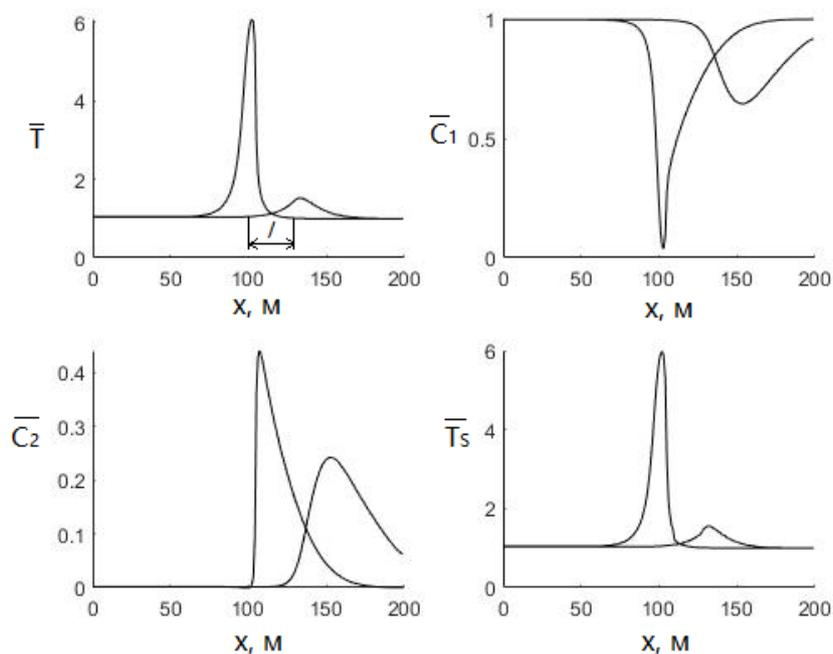


Рисунок 13 – Пожар не распространяется после разрыва, $l = 20$ м

В результате были построены графики зависимости длины противопожарного разрыва от скорости ветра при различных значениях влагосодержания и запаса ЛГМ (Рисунки 12,13).

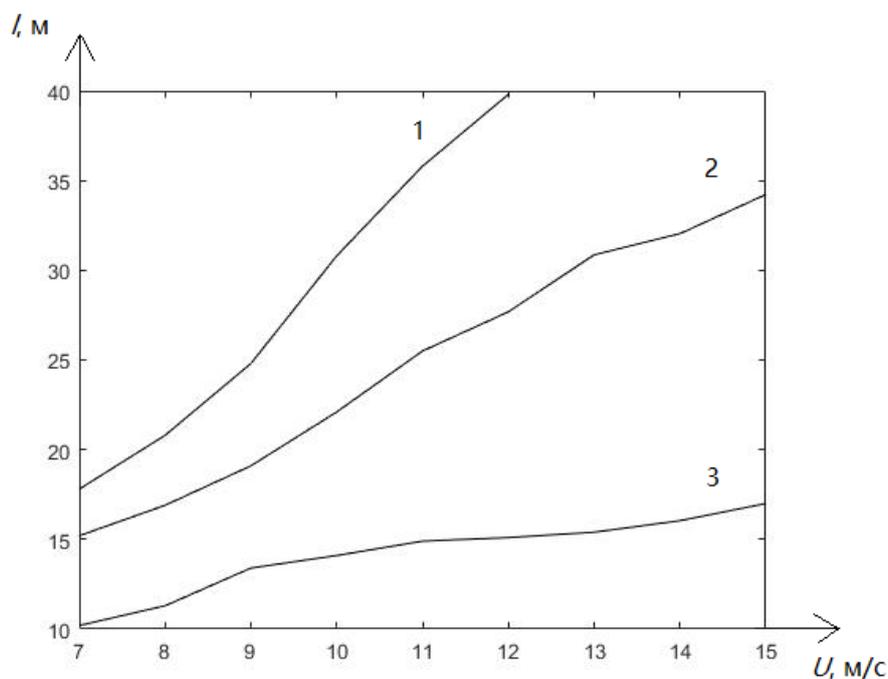


Рисунок 14 – Зависимость длины противопожарного разрыва l от скорости ветра U при влагосодержании ЛГМ WL: 1 – 0,2; 2 – 0,4; 3 – 0,6

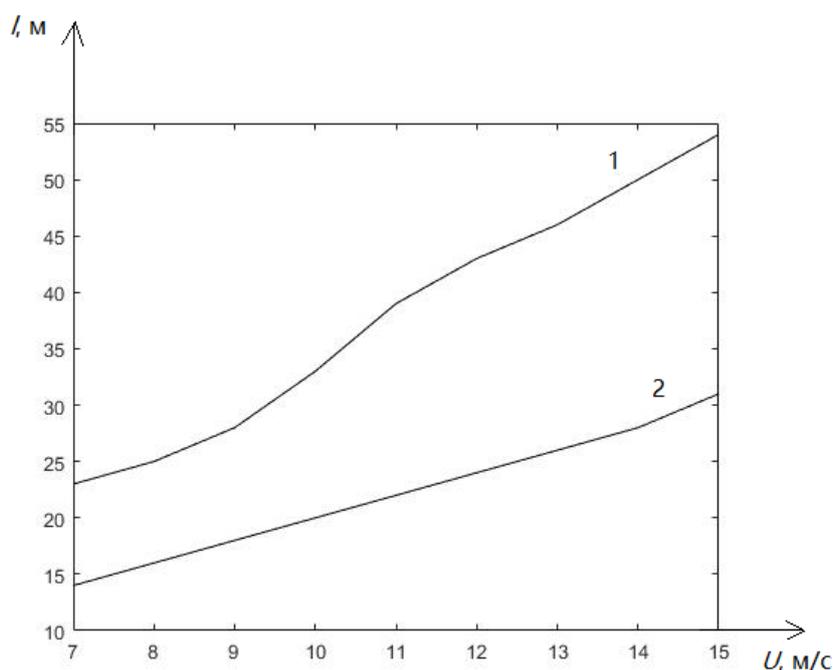


Рисунок 15 – Зависимость длины противопожарного разрыва l от скорости ветра U при запасе ЛГМ ZAP: 1 – 0,2; 2 – 0,1

Из данных графиков видно, что, в общем случае, при увеличении скорости ветра необходимо увеличивать длину разрыва, но увеличение длины тем меньше, чем больше влагосодержание ЛГМ. Так, например, рассмотрев на Рис.14 скорость ветра $U = 8$ м/с, длина противопожарного разрыва составляет 11 м при значении $WL = 0,6$ (3), а для той же скорости при $WL = 0,2$ (1), $l = 17$

м. При увеличении скорости ветра до 10 м/с, длина разрыва для (3) равна 13 м, а для (1) l уже достигла 30 метров.

В случае с изменением запаса ЛГМ (Рис.15) наблюдается, что при увеличении числа ZAP, увеличивается и необходимая длина полосы разрыва. Связано это с тем, что энергии фронта пожара для зажигания лесного массива с большей массой сухого горючего требуется меньше.

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Введение

Основная цель данного раздела – анализ ресурсоэффективности математической модели. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выявить потенциальных потребителей результатов исследования;
2. Сделать анализ конкурентных технических решений;
3. Провести SWOT-анализ;
4. Распланировать структуру работы в рамках научного исследования;
5. Определить трудоемкость работ;
6. Разработать графика проведения научного исследования;
7. Рассчитать бюджет научно-технического исследования;
8. Выявить эффективность исследования.

Целью НИР является разработка математической модели возникновения и распространения природных пожаров с помощью программы MATLAB и определение зависимостей различных параметров, описывающих процесс горения, от времени и скорости ветра.

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

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения проводится с помощью оценочной карты, приведенной в таблице 4.1.

Критерии для сравнения и оценки подбирались исходя из выбранных объектов сравнения с учетом технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации. Данная разработка сравнивается с альтернативными программными продуктами подобного класса: программа ANSYS (K_1) и PHOENICS (K_2).

Таблица 4.1 - Сравнение конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,15	5	3	4	0,75	0,45	0,6
2. Надежность	0,1	3	2	2	0,3	0,2	0,2
3. Безопасность	0,12	5	3	3	0,6	0,36	0,36
4. Потребность в ресурсах памяти	0,07	4	3	5	0,28	0,21	0,35
5. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,08	4	3	3	0,32	0,24	0,24
6. Простота эксплуатации	0,09	5	2	2	0,45	0,18	0,18
7. Качество интеллектуального интерфейса	0,09	4	3	2	0,36	0,27	0,18
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,2	4	2	3	0,8	0,4	0,6

2. Цена	0,05	4	5	3	0,2	0,25	0,15
3. Финансирование научной разработки	0,05	4	2	3	0,2	0,1	0,15
Итого	1	42	28	30	4,26	2,66	3,01

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (4.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Сравнивая значения интегральных показателей K для используемой в работе программы и ее аналогов, мы можем сделать вывод, что программный продукт MATLAB является более эффективным и конкурентоспособным и превосходит имеющиеся на рынке продукты-конкуренты. Преимущество MATLAB состоит в том, что в данном программном обеспечении основной упор сделан на улучшение визуального восприятия оператора, а именно: качество, содержательность графиков зависимостей, построение которых не требует огромных усилий в связи с простотой и легкостью языка программирования. Другим отличительным достоинством является наличие полного пакета для работы без необходимости поиска внешних библиотек и реализации дополнительных функций.

4.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, в этой работе проведен SWOT-анализ с детальной оценкой сильных и слабых сторон исследовательского проекта, а также его возможностей и угроз.

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации

проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 4.2:

Таблица 4.2 - Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Наличие опытного руководителя.	Сл1. Отсутствие квалифицированных кадров для работы с программой.
С2. Использование современного оборудования.	Сл2. Параллельное развитие новых технологий.
С3. Доступность и удобство эксплуатации.	Сл3. Ограниченная область применения продукта.
С4. Высокая скорость работы.	Сл4. Ограниченные финансовые возможности.
С5. Наглядное представление полученной информации (графики и т.д.).	Сл5. Невозможность точного расчета.
Возможности	Угрозы
В1. Появление дополнительного спроса на полученные результаты исследования в учебной и научной сфере.	У1. Появление конкурентов и новых технологий.
В2. Заблаговременное прогнозирование лесных пожаров и выбор спец. службами способов борьбы с ними.	У2. Отсутствие спроса на программу.
В3. Одновременное решение одномерных, двумерных и трехмерных задач, как в пожарной, так и в экологической области безопасности.	У3. Введение дополнительных государственных требований и сертификации программы.
В4. Низкие требования к ПЭВМ.	У4. Необученность оператора ПЭВМ.

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надёжность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 4.3 – 4.6.

Таблица 4.3 - Интерактивная матрица проекта "Возможности проекта и сильные стороны"

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	В1	-	+	-	-	+
	В2	-	0	+	+	+
	В3	-	+	+	+	+
	В4	-	-	-	+	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и возможности: В1С2С5; В2С3С4С5; В3С2С3С4С5; В4С4.

Таблица 4.4 - Интерактивная матрица проекта "Возможности проекта и слабые стороны"

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	В1	+	+	-	-	+
	В2	+	+	-	+	+
	В3	+	+	+	-	+
	В4	-	-	+	+	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможности: В1Сл1Сл2Сл5; В2Сл1Сл2Сл4Сл5; В3Сл1Сл2Сл3Сл5; В4Сл3Сл4.

Таблица 4.5 - Интерактивная матрица проекта "Угрозы проекта и сильные стороны"

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	-	+	-	+	-
	У2	-	-	-	-	+
	У3	-	+	-	-	-
	У4	+	+	0	-	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и угрозы: У1С2С4; У2С5; У3С2; У4С1С2С5.

Таблица 4.6 - Интерактивная матрица проекта "Угрозы проекта и слабые стороны"

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	+	+	+	-	+
	У2	-	+	+	-	+
	У3	0	-	-	-	0
	У4	+	+	-	-	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и угрозы: У1Сл1Сл2Сл3Сл5; У2Сл2Сл3Сл5; У4Сл1Сл2.

В рамках третьего этапа составлена итоговая матрица SWOT-анализа научно-исследовательской работы (табл. 4.7).

Таблица 4.7 - SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Наличие опытного руководителя.</p> <p>С2. Использование современного оборудования.</p> <p>С3. Доступность и удобство эксплуатации.</p> <p>С4. Высокая скорость работы.</p> <p>С5. Наглядное представление полученной информации (графики и т.д.).</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие квалифицированных кадров для работы с программой.</p> <p>Сл2. Параллельное развитие новых технологий.</p> <p>Сл3. Ограниченная область применения продукта.</p> <p>Сл4. Ограниченные финансовые возможности.</p> <p>Сл5. Невозможность точного расчета.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Появление дополнительного спроса на полученные результаты исследования в учебной и научной сфере.</p> <p>В2. Заблаговременное прогнозирование лесных пожаров и выбор спец. службами способов борьбы с ними.</p> <p>В3. Одновременное решение одномерных, двумерных и трехмерных задач, как в пожарной, так и в экологической области безопасности.</p> <p>В4. Низкие требования к ПЭВМ.</p>	<p>В результате использования современных технологий и вычислительных машин повысится скорость локализации пожара, по полученным в программе данным заблаговременно могут быть выбраны методы эвакуации населения и борьбы с природным пожаром.</p>	<p>При отсутствии должной подготовки и навыков владения программой у оператора ПК велик шанс получить ложные, неверные данные о пожаре, вследствие чего модель распространения будет отличаться от действительной ситуации.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Появление конкурентов и новых технологий.</p> <p>У2. Отсутствие спроса на программу.</p> <p>У3. Введение дополнительных государственных требований и сертификации программы.</p> <p>У4. Необученность оператора ПЭВМ.</p>	<p>Спрос программы не будет теряться из-за финансовой выгоды моделирования процессов горения в сравнении с экспериментальными методами, т.к. подобные методы опасны для экологии и несут большие материальные и временные затраты.</p>	<p>Для достижения поставленной цели руководителю необходимо обучать персонал работе в программе.</p>

Вывод по SWOT-анализу: в ходе анализа были рассмотрены сильные и слабые стороны научного проекта, а также разъяснены его последствия. Как

позитивные, так и негативные – возможности и угрозы. Так, в результате использования современных технологий и вычислительных машин повысится скорость локализации пожара, и по полученным в программе данным заблаговременно могут быть выбраны методы эвакуации населения и борьбы с природными пожарами. Осознавая важность и актуальность методов прогнозирования и тушения лесных пожаров, а также принципиальное отличие экспериментальных методов изучения горения лесных массивов, ведущие к большим материальным затратам и главного ресурса – времени, от методов моделирования, мы можем сказать о высоком спросе данной программы.

Анализируя SWOT-анализ НИР, мы можем видеть, что при работе оператора ПЭВМ с программой можно выделить два исхода событий. Первый, – это очень хороший вариант, при котором данная программа будет верна, ее результаты будут близки к реальным условиям процессов распространения и горения леса. Это приведет к заблаговременному применению пожарных служб необходимых мер по локализации возгорания, защиты и, в случае необходимости, эвакуации населения близлежащих районов. Второй вариант – этот тот, при котором в результате ошибочных действий необученного оператора ПК будут получены заведомо ложные результаты, которые, в процессе их анализа и применения, могут привести к ухудшению эффективности действий пожарных.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количество исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;

- построение графика проведения научных исследований.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 4.8.

Таблица 4.8 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка темы ВКР	1	Составление и утверждение темы ВКР, утверждение плана-графика.	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения ВКР.	Инженер, Научный руководитель
Теоретические исследования	3	Изучение академической литературы и конкурентных решений в данной сфере.	Инженер
	4	Написание теоретической части ВКР.	Инженер
	5	Подведение промежуточных итогов.	Научный руководитель, Инженер
	6	Изучение программного обеспечения для расчетов.	Инженер
Экспериментальные исследования	7	Моделирование возникновения и распространения пожара в программе «MATLAB».	Научный руководитель, Инженер
	8	Проведение расчетов и обоснований по теме ВКР.	Инженер
	9	Анализ полученных результатов	Научный руководитель, Инженер
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки.	Инженер

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления бюджета.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{ожi} = \frac{3 \cdot t_{mini} + 2 \cdot t_{maxi}}{5}, \quad (4.2)$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

t_{maxi} – максимально максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой i -ой работы в рабочих днях T_{pi} , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (4.3)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

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

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k, \quad (4.4)$$

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

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

k – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{праз}}} = \frac{365}{365 - 89 - 29} = 1,48 \quad (4.5)$$

где $T_{\text{кал}}$ – общее количество календарных дней в году;

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

$T_{\text{праз}}$ – общее количество праздничных дней в году.

Расчеты временных показателей проведения научного исследования представляются в таблице 4.9.

Таблица 4.9 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{Pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{mini} , чел-дни		t_{maxi} , чел-дни		$t_{ожи}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение темы ВКР, утверждение плана-графика.	1	-	2	-	1,4	-	1,4	2
2. Календарное планирование выполнения ВКР.	1	2	2	3	1,4	2,4	1,2	2
3. Изучение академической литературы и конкурентных решений в данной сфере	-	10	-	20	-	14	14	21
4. Написание теоретической части ВКР	-	7	-	10	-	8,2	8,2	12
5. Подведение промежуточных итогов.	1	5	2	8	1,4	6,2	3,1	5

6. Изучение программного обеспечения для расчетов.	-	15	-	25	-	19	19	28
7. Моделирование возникновения и распространения пожара в программе «MATLAB»	3	20	5	30	3,8	24	12	18
8. Проведение расчетов и обоснований по теме ВКР	-	3	-	7	-	4,6	4,6	7
9. Анализ полученных результатов	1	3	3	5	1,8	3,8	1,9	3
10. Составление пояснительной записки.	-	4	-	6	-	4,8	4,8	7
Итого:	7	69	14	114	9,8	87	70,2	105

Примечание:

Исп.1 – научный руководитель; Исп.2 – инженер.

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 4.10).

Таблица 4.10 - Диаграмма Ганта

№ ра бот ы	Вид работы	Исполнит ели	T_{ki} , кал дн.	Продолжительность выполнения работ																	
				январь			февраль			март			апрель			май			июнь		
				3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение темы ВКР, утверждение плана-графика	Научный руководитель	2																		
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Научный руководитель, Инженер	2																		
3	Изучение академической литературы и	Инженер	21																		

	конкурентны х решений в данной сфере																		
4	Написание теоретическо й части ВКР	Инженер	12																
5	Подведение промежуточн ых итогов	Научный руководит ель, Инженер	5																
6	Изучение программног о обеспечения для расчетов	Инженер	28																
7	Моделирован ие возникновен ия и распростране ния пожара в программе «MATLAB»	Научный руководит ель, Инженер	18																
8	Проведение расчетов и обоснований по теме ВКР	Инженер	7																
9	Анализ полученных результатов	Научный руководит ель, Инженер	3																
10	Составление пояснительн ой записки	Инженер	7																

Примечание:

 – Исп. 1 (научный руководитель);

 – Исп. 2 (инженер).

4.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);

- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3–5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты расчетов занесены в таблицу 4.11.

Таблица 4.11 - Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Программное обеспечение MATLAB	шт.	1	6175	6175
Наборы инструментов MATLAB	шт.	40	1885	75400
Ручка	шт.	3	30	90
Бумага офисная	лист	150	1	150
Канцелярские принадлежности	Набор	1	250	250
Картридж, краска	шт.	1	390	390
Электроэнергия	кВт/час	190	3,85	731,5
Интернет	Гб	10	63	630
Всего за материалы				83816,5

Итого на материальные затраты необходимо 83816,5 рублей.

4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (4.6)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A \cdot И}{12} \cdot t, \quad (4.7)$$

где $И$ – итоговая сумма, тыс. руб.; t – время использования, мес.

Таблица 4.12 - Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Персональный компьютер (ноутбук)	1	4	50	50
Итого		50 тыс. руб.			

По формуле (4.6) рассчитывается норма амортизации для ноутбука, с учетом того, что срок полезного использования составляет 4 года:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{4} = 0,25.$$

Общая сумма амортизационных отчислений (по формуле 4.7):

$$A = \frac{H_A \cdot И}{12} \cdot t = \frac{0,25 \cdot 50000}{12} \cdot 13 = 13500 \text{ руб.}$$

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (4.8)$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дней (по таблице 4.9 для инженера $T_{p2} = 87$ дней, для руководителя $T_{p1} = 10$ дней).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле 4.9:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (4.9)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней (в данном случае $F_d = 247$ дней);

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года(при отпуске в 118 раб. дней, $M = 8,1$ месяц, 6-дневная рабочая неделя).

Должностной оклад работника за месяц определяется по формуле 4.10:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p, \quad (4.10)$$

где Z_{mc} – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб. (для руководителя $Z_{mc1} = 28600$ руб., а для инженера $Z_{mc2} = 6500$ руб.);

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

k_d – коэффициент доплат и надбавок, равен 0.2;

k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

По формуле 4.10 определяется должностной оклад руководителя за месяц:

$$З_{м1} = З_{мс1} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 28600 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 55770 \text{ руб.}$$

По формуле 4.10 определяется должностной оклад инженера за месяц:

$$З_{м2} = З_{мс2} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 6500 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 12675 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата у руководителя рассчитывается по формуле 4.9:

$$З_{дн1} = \frac{З_{м1} \cdot M}{F_d} = \frac{55770 \cdot 8,1}{247} = 1828,89 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата у инженера рассчитывается по формуле 4.9:

$$З_{дн2} = \frac{З_{м2} \cdot M}{F_d} = \frac{12675 \cdot 8,1}{247} = 415,66 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по формуле 4.8:

$$З_{осн1} = З_{дн1} \cdot T_{p1} = 1828,89 \cdot 10 = 18288,9 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата инженера рассчитывается по формуле 4.8:

$$З_{осн2} = З_{дн2} \cdot T_{p2} = 415,66 \cdot 87 = 36162,42 \text{ руб.}$$

Таким образом, затраты на общую основную заработную плату составляют:

$$З_{осн\text{ общ}} = З_{осн1} + З_{осн2} = 18288,9 + 36162,42 = 54451,32 \text{ руб.}$$

Перечисленные информации представлены в таблице 4.13:

Таблица 13 - Расчеты основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{мс}$, руб	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб	T_p , дн	$Z_{осн}$, руб
Руководитель	28600	0,3	0,2	1,3	55770	1828,89	10	18288,90
Инженер	6500	0,3	0,2	1,3	12675	415,65	87	36162,42
Итого:								54451,32

4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата определяется по формуле 4.11:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (4.11)$$

где $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата;

$Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

По формуле 4.11 определена дополнительная заработная плата для руководителя:

$$Z_{доп1} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 18288,90 = 2743,335 \text{ руб.}$$

По формуле 4.11 определена дополнительная заработная плата для инженера:

$$Z_{доп2} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 36162,42 = 5424,363 \text{ руб.}$$

Таким образом, общая дополнительная заработная плата составляет:

$$Z_{доп\text{ общ}} = Z_{доп1} + Z_{доп2} = 2743,335 + 5424,363 = 8168 \text{ руб.}$$

4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяются по формуле 4.12:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (4.12)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2022 году – 30% (ст. 425 НК РФ).

Отчисления во внебюджетные фонды для руководителя определяются по формуле 4.12:

$$З_{\text{внеб1}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн1}} + З_{\text{доп1}}) = 0,3 \cdot (18288,9 + 2743,335) = 6309,67 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды для инженера определяются по формуле 4.12:

$$З_{\text{внеб2}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн2}} + З_{\text{доп2}}) = 0,3 \cdot (36162,42 + 5424,363),$$

$$З_{\text{внеб2}} = 12476,03 \text{ руб.}$$

Таким образом, общие затраты на отчисления во внебюджетные фонды составляет:

$$З_{\text{внеб общ}} = З_{\text{внеб1}} + З_{\text{внеб2}} = 6309,67 + 12476,03 = 18785,7 \text{ руб.}$$

4.3.6 Накладные расходы

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

Величина накладных расходов определяется по формуле 4.13:

$$З_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (\text{сумма статей } 1 \div 5), \quad (4.13)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,16.

$$З_{\text{накл}} = 0,16 \cdot (83816,5 + 13500 + 54451,32 + 8168 + 18785,7),$$

$$З_{\text{накл}} = 28595,4 \text{ руб.}$$

4.3.7 Бюджетная стоимость НИР

Группировка затрат по статьям представляется в таблице 4.14:

Таблица 14 - Группировка затрат по статьям

Статьи							
1	2	3	4	5	6	7	8
Материалы, руб	Амортизация, руб	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата, руб	Отчисления на социальные нужды, руб	Итого без накладных расходов, руб	Накладные расходы, руб	Стоимость бюджета, руб
83816,5	13500	54451,32	8168	18785,7	178721,52	28595,4	207316,92

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

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты. Данная работа эффективна в первую очередь потому, что математическое моделирование возникновения и распространения природных пожаров имеет большой потенциал в будущем применении. Результаты исследования по оценке лесного пожара, например, скорости распространения фронта пожара, могут быть применены пожарными для заблаговременного принятия мер по защите населения близлежащих районов и локализации лесного пожара.

В данном разделе было выполнено:

1. определение потенциальных потребителей результатов исследования;
2. анализ конкурентных технических решений;
3. планирование научно-технического исследования (исследование состоит из 13 основных этапов).

Для иллюстрации календарного графика была использована диаграмма Ганта. Также в разделе был определен бюджет научно-исследовательской работы, он составил 207316,92 рублей.

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Работа предполагает использование персональной электронной вычислительной машины (ПЭВМ) – персонального компьютера (ПК) и представляет собой сбор информации, ее обработка, проведение расчетов. Рабочее место – кабинет, оборудованный ПК, с помощью которого производится работа.

5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Правовые нормы трудового законодательства

Право работников на труд в безопасных условиях, то есть отвечающим требованиям охраны труда, закреплено в статье 216 Трудового кодекса РФ [11].

Каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующих профессиональных рисках и их уровнях, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;

- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда до устранения такой опасности, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами;
- обучение по охране труда за счет средств работодателя.

В соответствии со статьей 100 ТК РФ режим рабочего времени должен предусматривать продолжительность рабочей недели (пятидневная с двумя выходными днями, шестидневная с одним выходным днем, рабочая неделя с предоставлением выходных дней по скользящему графику, неполная рабочая неделя). При этом оплата и нормирование труда осуществляется в соответствии с разделом IV ТК РФ, в котором отражены государственные гарантии по оплате труда работников, формы и минимальный размер оплаты труда, установление заработной платы, указаны нормы труда и установлено обеспечение нормальных условий работы для выполнения норм выработки [12].

Глава 14 ТК РФ устанавливает требования и ответственность в области защиты персональных данных работника, в соответствии со статьей 86 ТК РФ защита персональных данных работника от неправомерного их использования или утраты должна быть обеспечена работодателем за счет его средств в порядке, установленном настоящим Кодексом и иными федеральными законами [13].

5.1.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны

Выполняя планировку рабочего места необходимо учитывать следующее [14]:

1. Рекомендуемый проход слева, справа и спереди от стола 500 мм. Слева от стола допускается проход 300 мм;
2. Рабочие места с ПЭВМ при выполнении творческой работы, требующей значительного умственного напряжения или высокой

- концентрации внимания, рекомендуется изолировать друг от друга перегородками высотой 1,5 – 2,0 м;
3. Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600 – 700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов;
 4. Дизайн ПЭВМ должен предусматривать окраску корпуса в спокойные мягкие тона с диффузным рассеиванием света. Корпус ПЭВМ, клавиатура и другие блоки и устройства ПЭВМ должны иметь матовую поверхность с коэффициентом отражения 0,4 – 0,6 и не иметь блестящих деталей, способных создавать блики;
 5. Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы.
 6. Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления.
 7. Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию;
 8. Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) должна быть полумягкой, с нескользящим, слабо электризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

5.2 Производственная безопасность

Наряду с увеличением производительности человека при выполнении работ с использованием ПЭВМ также увеличивается и вредное воздействие ПК на организм работающего. Опасные и вредные факторы, которые постоянно или периодически действуют на человека за работой на ПК, представлены в таблице 5.1.

Таблица 15 - Возможные опасные и вредные производственные факторы при работе за ПК

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	ГОСТ Р 58698-2019 (МЭК 61140:2016) Защита от поражения электрическим током. Общие положения для электроустановок и электрооборудования
2. Повышенный уровень статического электричества	
3. Короткое замыкание	ГОСТ Р 50571.4.43-2012/МЭК 60364-4-43:2008 Электроустановки низковольтные. Часть 4-43. Требования по обеспечению безопасности. Защита от сверхтока (с Поправкой)
4. Повышенный уровень общей вибрации	СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания
5. Повышенный уровень шума	
6. Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего	
7. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение (с Изменением № 1)
8. Нервно-психические перегрузки,	Р 2.2.2006-05 Гигиена труда.

связанные с напряженностью трудового процесса	Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда
9. Длительность сосредоточенного наблюдения	

5.2.1 Отклонение показателей микроклимата в помещении

Работа в условиях повышенной температуры воздуха способствует быстрой утомляемости работающего, может привести к перегреву организма, нарушению теплообмена или даже к профзаболеванию. Работа в условиях низкой температуры, а также в помещениях с низкой относительной влажностью воздуха, ведет к снижению иммунитета работающего, что способствует возникновению заболеваний. Причиной возникновения данных факторов, зачастую, является отсутствие или неисправность вентиляционных систем.

Общая площадь рабочего помещения составляет 20 м². В соответствии с СП 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда» площадь на одно постоянное рабочее место пользователей ПК на базе плоских дискретных экранов – не менее 4,5 м², исходя из этого, можно судить о выполнении требований к организации работ [15].

В соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» работа за ПК относится к Ia категории. Температура воздуха в помещении в холодный период года должна быть от 22 до 24°С, в теплый – от 23 до 25°С. Допустимая величина относительной влажности воздуха на постоянных рабочих местах должна составлять 15-75%, скорость движения воздуха должна быть 0,1 м/с [16].

Параметры микроклимата поддерживаются в холодное время года за счет систем водяного отопления с нагревом воды до 100°С, а в теплое время года – за счет кондиционирования, с параметрами согласно СанПиН 1.2.3685-

21, также требованиям данного документа должны соответствовать параметры микроклимата, ионного состава воздуха, содержания вредных веществ.

5.2.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Недостаточное освещение рабочего места затрудняет выполнение работы, вызывает утомление, увеличивает риск производственного травматизма. Длительное пребывание в условиях недостаточного освещения сопровождается снижением интенсивности обмена веществ в организме, ослаблением его реактивности, способствует развитию близорукости. К таким же последствиям приводит работа при ограниченном спектральном составе света и монотонном режиме освещения.

В соответствии с СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» освещенность при работе с персональным компьютером должна быть 300-500 лк [17]. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Следует ограничивать неравномерность распределения яркости в поле зрения пользователя ПК при этом соотношение яркости между рабочими поверхностями не должно превышать 3:1-5:1, а между рабочими поверхностями и поверхностями стен и оборудования — 10:1. Коэффициент пульсации не должен превышать 5% [17]. Для исключения бликов отражений в экране светильников общего освещения рабочий стол с ПК следует размещать между рядами светильников. При этом светильники должны быть расположены параллельно горизонтальной линии взгляда работающего. При рядном размещении рабочих столов не допускается расположение экранов дисплеев навстречу друг другу из-за их взаимного отражения, в противном случае между столами следует устанавливать перегородки.

5.2.3 Повышенный уровень шума на рабочем месте

Шум является общебиологическим раздражителем и в определенных условиях может влиять на органы и системы организма человека. Шум создается рабочим оборудованием, преобразователями напряжения, рабочими

лампами дневного света, а также проникает снаружи. Он вызывает головную боль, усталость, бессонницу или сонливость, ослабляет внимание, память ухудшается, реакция уменьшается.

Согласно СП 51.13330.2011 при выполнении основных работ на ПЭВМ в помещениях офиса уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБА [18]. При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть средства индивидуальной защиты (СИЗ) и средства коллективной защиты (СКЗ) от шума.

Средства коллективной защиты:

- устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;
- изоляция источников шума от окружающей среды (применение глушителей, экранов, звукопоглощающих строительных материалов);
- применение средств, снижающих шум на пути их распространения;

Средства индивидуальной защиты:

применение спецодежды и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

5.2.4 Повышенный уровень вибрации

Нарушения здоровья работающего, обусловленные локальной или общей вибрацией, складываются из поражений нейрососудистой, нервно-мышечной систем, опорно-двигательного аппарата, изменений обмена веществ и др.

В соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» предельно допустимый эквивалентный скорректированный уровень виброускорения на стационарных рабочих местах в

направлении действия Z_0 (вертикальная ось, перпендикулярная к опорной поверхности) составляет 100 дБ, а в направлении действия X_0 (горизонтальная ось от спины к груди) и Y_0 (горизонтальная ось от правого плеча к левому) составляет 97 дБ [16].

Основными методами и средствами защиты от вибрации являются:

- уменьшение интенсивности вибрации непосредственно в источнике;
- применение вибродемпфирования, динамического виброгашения, активной и пассивной виброизоляции;
- виброизоляция и шумоподавление ПК;
- своевременное и качественное обслуживание электронных приборов;
- рациональная организация режима труда и отдыха;
- производственная гимнастика.

5.2.5 Психофизические факторы

К психофизиологическим факторам можно отнести: напряжение зрения и внимания, интеллектуальные, эмоциональные и длительные статические нагрузки, монотонность труда, большой объем информации, обрабатываемый в единицу времени, нерациональная организация рабочего места. По окончании рабочего дня зачастую операторы испытывают такие ощущения, как: переутомление глаз, головная боль, тянущие боли в мышцах шеи, рук и спины, снижение концентрации внимания.

Также длительная и интенсивная работа на компьютере может стать источником тяжелых профессиональных заболеваний, таких, как травма повторяющихся нагрузок (ТПН), представляющая собой постепенно накапливающиеся недомогания, переходящие в заболевания нервов, мышц и сухожилий руки.

В Инструкции по охране труда при выполнении работ на персональном компьютере и видеодисплейных терминалах отражены основные требования

охраны труда во время работы, где регулируется продолжительность непрерывной работы с ПЭВМ, приводятся мероприятия по предотвращению развития утомления и комплекс упражнений, которые необходимо выполнять во время регламентированных перерывов [19].

5.2.6 Поражение электрическим током

Электрический ток относится к опасным факторам. Запрещается работать на компьютере во влажной одежде и влажными руками, прикасаться к тыльной стороне дисплея, вытирать пыль с компьютера при его включенном состоянии. Перед началом работы необходимо убедиться в отсутствии висящих под столом или свешивающихся со стола проводов электропитания, в целостности провода электропитания и вилки, в отсутствии видимых повреждений рабочей мебели и аппаратуры. Токи статического электричества, наведенные в процессе работы ПК на корпусах клавиатур, монитора и системного, могут приводить к разрядам при прикосновении к этим элементам. Эти разряды хоть и не опасны для человека, но могут привести к нарушению работы компьютера.

Для снижения величин токов статического электричества используются нейтрализаторы, общее и местное увлажнение воздуха, использование покрытия полов с антистатической пропиткой. Также в помещении мерой защиты от поражения электрическим током может являться недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, например, расположения токоведущих частей на недоступной высоте, изоляция всех токоведущих частей и защитные ограждения (кожухи, крышки, сетки т.д.).

К превентивным мерам по предупреждению и устранению поражения электрическим током в помещении офиса можно отнести запрет на использование шнуров питания, изоляция которых имеет небольшие трещины и другие повреждения. Все электрошнуры не должны быть сильно короткими и слишком длинными. Категорически запрещается прибивать их к полу гвоздями

либо накрывать линолеумом и другими напольными покрытиями. Также необходимо следить за розетками, вне зависимости, где они установлены, их нельзя перегружать.

Перед допуском к самостоятельной работе оператору ПЭВМ необходимо пройти вводный инструктаж по охране труда, обучение безопасным приемам и методам труда по программе, проверку знаний, в том числе по электробезопасности с присвоением 1-й квалификационной группы по электробезопасности [14].

5.2.7 Короткое замыкание

При коротком замыкании происходят механические и термические повреждения электрооборудования, возгорания в электроустановках. Основной причиной возникновения коротких замыканий – нарушение изоляции электрооборудования.

Для реализации защиты от токов короткого замыкания применяются автоматические выключатели (АВ) или, за редким исключением, предохранители. Эти защитные аппараты отключают от питающей электрической сети поврежденный участок (элемент), который послужил причиной возникновения аварийного режима работы, с целью исключения развития аварии и снижения негативных последствий [20].

5.3 Экологическая безопасность

В компьютерах огромное количество компонентов, которые содержат токсичные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды. К таким веществам относятся: свинец, ртуть, никель и цинк, щелочи.

Поэтому компьютер требует специальных комплексных методов утилизации. В этот комплекс мероприятий входят:

- отделение металлических частей от неметаллических;
- металлические части переплавляются для последующего производства;
- неметаллические части компьютера подвергаются специальной переработке.

В свою очередь утилизацию компьютера можно провести, как прибегая к использованию услуг профессиональных компаний по рециклингу, так и обратившись в местный муниципалитет по вопросу переработки электроники.

При утилизации комплектующих частей персонального компьютера, люминесцентных ламп, макулатуры происходит негативное воздействие на литосферу. Продукты жизнедеятельности персонала неблагоприятно влияют на гидросферу. А воздействие на атмосферу происходит в случае выделения токсических веществ при неправильной утилизации комплектующих ПЭВМ и при горении самого ПК.

На основании ГОСТ Р 55090-2012 использованная бумажная продукция собирается и отсортировывается, доставляется в соответствующие перерабатывающие предприятия [21].

Лампы относятся к особо опасной категории отходов. Лампы необходимо передать специализированной организации, которая занимается их утилизацией. В Постановлении Правительства РФ №2314 указан порядок утилизации люминесцентных ламп [22].

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее распространенный источник чрезвычайной ситуации техногенного характера – пожар. К причинам пожаров в офисных зданиях можно отнести короткие замыкания, возникающие из-за перенапряжений в сети, поврежденной изоляции, использование неисправного электрооборудования, а также применение обогревательных приборов открытого типа.

К мерам по предупреждению и профилактики пожаров в офисах можно отнести:

1. Регулярная проверка электропроводки и оборудования. Это позволит своевременно выявить существующие проблемы и вовремя их устранить.
2. Использование только исправного оборудования. Если какой-то прибор вышел из строя, его необходимо отключить от электросети. Нельзя использовать сломанную технику даже до покупки новой.
3. Строгое соблюдение правил электробезопасности. Необходимо иметь автопредохранители, не допускать перегрузки и не использовать опасные устройства, такие как нагреватели открытого типа.

В офисном здании обязательно должны быть схемы эвакуации во всех предусмотренных местах, свободные эвакуационные пути, средства самостоятельного пожаротушения: огнетушители, емкости с песком и т. п.

Ответственные за безопасность должны проинструктировать персонал и следить за выполнением предписаний. Все сотрудники должны пройти инструктаж по технике безопасности и следить за выполнением ее предписаний.

Заключение по разделу

В соответствии с правилами устройства электроустановок (ПУЭ) рабочее место пользователя ПК относится к помещению без повышенной опасности.

Согласно Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок I группа по электробезопасности распространяется на офисных работников и оформляется за неэлектротехническим персоналом, работающим с электрооборудованием.

Категория тяжести труда по СанПиН 1.2.3685-21 является Ia, энерготраты которой составляют до 139 Вт.

Согласно СП 12.13130.2009 офисное помещение, где размещен пользователь, работающий за ПЭВМ, относится к категории В и считается пожароопасным. Такая классификация связана с наличием в офисных помещениях горючих и трудногорючих материалов и веществ, которые при контакте с воздухом горят без образования взрывоопасных смесей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения ВКР были выполнены все поставленные задачи. Разработана физико-математическая постановка задачи возникновения и распространения верхового лесного пожара, построена математическая модель с использованием программного обеспечения MATLAB. Математически процесс переноса тепла с течением времени в данной области описывается с помощью уравнений Рейнольдса для турбулентного течения с соответствующими начальными и граничными условиями.

Был применен метод контрольного объема для получения дискретного аналога, который используется для решения полученной в программе системы уравнений, описывающих процесс возникновения и распространения пожара.

Далее в результате численного интегрирования системы алгебраических уравнений получено распределение полей скорости, температуры и концентраций компонентов газовой и конденсированной фазы. В зависимости от значений параметров лесного массива и метеорологических условий получены значения скорости распространения природного пожара и контуры перемещения фронта природного пожара.

Также в работе были построены графики зависимости скорости распространения фронта пожара от скорости ветра при различных значениях влагосодержания и запаса ЛГМ, проведен их анализ, в результате выявлено, что увеличение данных показателей приводит к уменьшению скорости распространения фронта пожара.

Кроме того, при выполнении расчетов в данной работе было изучено влияние противопожарных разрывов на процесс распространения верхового лесного пожара. Получены зависимости длины разрыва от скорости ветра при различных значениях влагосодержания и запаса лесных горючих материалов.

Полученные результаты и зависимости позволяют получить критические условия распространения верхового лесного пожара при заданных размерах разрыва, значениях влагосодержания и запаса ЛГМ, скорости ветра, что, в свою очередь, дает возможность применять такой метод расчетов для профилактики и разработки новых методик тушения и предотвращения лесных пожаров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ИДСМ-Рослесхоз-Авиалесоохрана [Электронный ресурс] / URL: <https://rosleshoz.gov.ru/>, свободный. – Загл. с экрана. – яз. рус., англ. Дата обращения: 27.05.2022 г.;
2. Гришин А.М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними / А.М. Гришин. – Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1992. – 408 с.;
3. Щетинский Е.А. Тушение лесных пожаров: Пособие для лесных пожарных. Изд. 3-е, перераб. И доп. – М.:ВНИИЛМ, 2002, 104 с.;
4. Конев Э.В. Физические основы горения растительных материалов. – Новосибирск: Наука, 1977. – 239 с.;
5. Усольцев В.А. Рост и структура фитомассы древостоя. – М.: Наука, 1964. – 574 с.;
6. Сосновская Л.Г., Сосновский Е.Н. Химические и термические свойства некоторых лесных горючих материалов // Проблемы лесной пирологии. – Красноярск: Ин-т леса и древесины СО АН СССР, 1975. – С.69-72.;
7. Гришин А.М. Физика лесных пожаров / А.М. Гришин. – Томск: изд-во ТГУ, 1994-218 с.;
8. Орлов О.К., Кустов Ю.В. Эластичные шнуровые заряды для борьбы с лесными пожарами // Лесные пожары и борьба с ними. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1986. – С. 102 – 107.;
9. Агапкин, Н. Д. Лесная пирология : учебное пособие / Н. Д. Агапкин, В. А. Гущина, А. А. Володькин. — Пенза : ПГАУ, 2016. — 200 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/142110> (дата обращения: 22.05.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей;
10. Смирнов, А. П. Лесная пирология : учебное пособие / А. П. Смирнов, А. А. Смирнов. — Санкт-Петербург : СПбГЛТУ, 2018. — 140 с. — ISBN 978-5-9239-1045-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/112730> (дата обращения: 22.05.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей;
11. А.М. Гришин, А.Д. Грузин, В.Г. Зверев. Математическая теория верховых лесных пожаров // Теплофизика лесных пожаров: сборник научных трудов / Академия наук СССР, Сибирское отделение, Институт теплофизики; под ред. В.Е.Накорякова. – Новосибирск: Институт теплофизики, 1984. – С. 38 – 75.;
12. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. – М.: Энергоатомиздат, 1984.-152 с.;

13. ТК РФ Статья 216. Права работника в области охраны труда;
14. ТК РФ Статья 100. Режим рабочего времени;
15. ТК РФ Статья 86. Общие требования при обработке персональных данных работника и гарантии их защиты;
16. ИПБОТ 360-2008 Инструкция по промышленной безопасности и охране труда для операторов и пользователей ПЭВМ и работников, эксплуатирующих ПЭВМ и видеодисплейные терминалы (ВДТ) (актуализированная редакция);
17. СП 2.2.3670-20 Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда;
18. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания;
19. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* (с Изменениями N 1, 2);
20. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с Изменениями N 1, 2);
21. ТОИ Р-45-048-97 Типовая инструкция по охране труда при работе на персональных электронно-вычислительных машинах;
22. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с Изменением N 1);
23. ГОСТ Р 55090-2012 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Рекомендации по утилизации отходов бумаги;
24. Постановление правительства РФ от 28.12.2020 г. Об утверждении правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств, электрических ламп, ненадлежащие сбор, накопление, использование, обезвреживание, транспортирование и размещение которых может повлечь причинение вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям и окружающей среде;