

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 при наличии противопожарных преград

УДК 614.841.42:630.432.17

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Е61	Хурэлбаатар Цогзол		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицына Л.Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев М.В.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2020 г.

Результаты освоения образовательной программы по направлению 20.03.01 Техносферная безопасность

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Общие по направлению подготовки		
P1	Способность понимать и анализировать социальные и экономические проблемы и процессы, применять базовые методы гуманитарных, социальных и экономических наук в различных видах профессиональной и социальной деятельности.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, 2, ОПК-2). CDIO Syllabus (2.4, 4.1, 4.2.7, 4.7). Критерий 5 АИОР (п. 2.12)
P2	Демонстрировать понимание сущности и значения информационных технологий в развитии современного общества и для ведения практической инновационной инженерной деятельности в области техносферной безопасности	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-1). CDIO Syllabus (3.2). Критерий 5 АИОР (п. 2.5)
P3	Способность эффективно работать самостоятельно, в качестве члена и руководителя интернационального коллектива при решении междисциплинарных инженерных задач с осознанием необходимости интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-3, 5, 6, 7, ОПК-1, ОПК-3, ОПК-5, ПК-8). CDIO Syllabus (2.4, 2.5, 3.1, 3.3, 4.2), Критерий 5 АИОР (п. 2.9, 2.12, 2.14)
P4	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-4, ОПК-4). CDIO Syllabus (3.2). Критерий 5 АИОР (п. 2.11)
P5	Способность применять основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования с целью выбора и оптимизации устройств, систем и методов защиты человека и природной среды от опасностей.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-8, ОПК-1, ПК-5). CDIO Syllabus (1.1, 2.1). Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.4, 2.6, 2.7, 2.8)
Профиль		
P6	Уметь выбирать, применять, оптимизировать и обслуживать современные системы обеспечения техносферной безопасности на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях, в том числе при реализации инновационных междисциплинарных проектов	Требования ФГОС ВО (ОПК-5, ПК-5, ПК-6, ПК-7). CDIO Syllabus (1.3, 2.1–2.5). Критерий 5 АИОР (п. 2.2, 2.4, 2.4, 2.6, 2.7, 2.8), требованиями проф. стандарта 40.056 Профессиональный стандарт «Специалист по противопожарной профилактике»
P7	Уметь организовать деятельность по обеспечению техносферной безопасности на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателя, в том числе при реализации инновационных междисциплинарных проектов	Требования ФГОС ВО (ПК-9, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ОПК-3, 4, 5). CDIO Syllabus (1.3, 2.1–2.5, 3.1) Критерий 5 АИОР (п. 2.6, 2.12), требованиями проф. стандарта 40.056 Профессиональный стандарт «Специалист по противопожарной профилактике»
P8	Уметь оценивать механизм, характер и риск воздействия техносферных опасностей на человека и природную среду	Требования ФГОС ВО (ПК-12, ПК-16, ПК-17). CDIO Syllabus (1.3, 2.1–2.5). Критерий 5 АИОР (п. 2.2–2.8), требованиями проф. стандартов 40.056 «Специалист по противопожарной профилактике», 40.054 «Специалист в области охраны труда»
P9	Применять методы и средства мониторинга техносферных опасностей с составлением прогноза возможного развития ситуации	Требования ФГОС ВО (ПК-12, ПК-14, ПК-15, ПК-17, ПК-18). CDIO Syllabus (1.3, 2.1–2.5). Критерий 5 АИОР (п. 2.2–2.8)

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
04.02.2020 г.

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
1Е61	Хурэлбаатар Цогзол

Тема работы:

Математическое моделирование возникновения и распространения природных пожаров при наличии противопожарных преград	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2020 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объектом исследования в ВКР являются лесные пожары. Расчеты производились с помощью программы BARRIER, с помощью программного обеспечения MATLAB были построены графики. Также для решения поставленной задачи использовалась общая математическая модель лесных пожаров Гришина А.М.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с</i>	1) Обзор существующих теоретических и экспериментальных методов изучения лесных пожаров. 2) Разработка физической и математической постановки задачи о распространении низовых и

<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>верховых лесных пожаров при наличии противопожарных разрывов.</p> <p>3) Изучение и применение метода контрольного объема для получения дискретного аналога.</p> <p>4) Выполнение математического моделирования процесса.</p> <p>5) Проведение численных расчетов и получение результатов.</p> <p>6) Оценка и анализ полученных данных.</p>
<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>Рисунки, таблицы и графики зависимости размера противопожарного разрыва от скорости ветра и влагосодержания лесных горючих материалов.</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Спицына Любовь Юрьевна
Социальная ответственность	Гуляев Милий Всеволодович

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	04.02.2020 г.
--	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов В.А.	д.ф.-м.н.		04.02.2020 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Е61	Хурэлбаатар Цогзол		04.02.2020 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 2019/2020 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

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

Срок сдачи студентом выполненной работы: 08.06.2020 г.

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
13.02.2020 г.	Работа с разделом «Литературный обзор» сбор информации, анализ собранной информации	20
01.03.2020 г.	Работа с разделом «Литературный обзор», изучение метода проведения исследования	10
16.03.2020 г.	Физическая и математическая постановки задачи	15
10.04.2020 г.	Разработка математической модели распространения лесных низовых и верховых лесных пожаров при наличии противопожарных разрывов	15
24.04.2020 г.	Результаты решения задачи, анализ полученных данных и верификация модели	10
25.05.2020 г.	Разработка разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
08.06.2020 г.	Оформление и представление ВКР	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов В.А.	д.ф.-м.н.		04.02.2020

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП 20.03.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Вторушина А.Н.	к.х.н.		04.02.2020

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

Студенту:

Группа	ФИО
1Е61	Хурэлбаатар Цогзол

Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	ОКД
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	20.03.01 Техносферная безопасность

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оклад руководителя – 47104 Оклад студента – 2500 Бюджет проекта – не более 150 тыс.руб.: - затраты на оплату труда – не более 80 тыс. руб.
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Дополнительная заработная плата – 15% Районный коэффициент – 30% Накладные расходы – 16% Премияльный коэффициент – 30% Коэффициент доплат и надбавок – 20% Показатель интегральной ресурсоэффективности – не менее 3 баллов из 5.
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды – 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ Quad-анализ
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка диаграммы Ганта. Формирование бюджета затрат на НИ: - материальные затраты; - затраты на оборудование; - заработная плата (основная и дополнительная) - отчисления во внебюджетные фонды; - накладные расходы.
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Интегральный финансовый показатель Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Оценка конкурентоспособности НИ*
2. *Матрица SWOT*
3. *Технология Quad*
4. *Диаграмма Ганта*
5. *Бюджет НИ*
6. *Основные показатели эффективности НИ*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Спицына Л. Ю.	К.Э.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Е61	Хурэлбаатар Цогзол		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1Е61	Хурэлбаатар Цогзол

Школа	ИШНКБ	Отделение (НОЦ)	ОКД
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	20.03.01 Техносферная безопасность

Тема ВКР:

Математическое моделирование возникновения и распространения природных пожаров при наличии противопожарных преград

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Инженер по моделированию воздействия и распространения лесных пожаров постоянно находится в кабинете за компьютером. Рабочая поза, постоянно сидя в офисном кресле. Область применения: научно-исследовательские институты, высшие учебные заведения, Департаменты лесного хозяйства.
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018); – ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования; – СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<ul style="list-style-type: none"> – анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов проектируемой среды; – разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов; – повышенный уровень шума на рабочем месте; – неудовлетворительное освещение; – неудовлетворительный микроклимат; – повышенный уровень электромагнитного излучения (ЭМИ);

3. Экологическая безопасность:	<ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта исследования на окружающую среду
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> – анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев М.В.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Е61	Хурэлбаатар Цогзол		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 90 с., 16 рис., 22 табл., 41 источников.

Ключевые слова: математическое моделирование, лесной пожар, низовой и верховой пожар, противопожарные разрывы, метод контрольного объема.

Объектом исследования являются лесные пожары, распространяющиеся по лесному покрову с учетом противопожарных разрывов.

Цель работы – с помощью метода математического моделирования определить размеры противопожарных разрывов при лесных пожарах и исследовать зависимость их размеров от скорости ветра, запас и влагосодержания ЛГМ. В процессе исследования проводились разработка двумерной математической модели распространения лесного пожара, определялись размеры безопасных противопожарных разрывов.

В результате исследования получены: размеры противопожарных разрывов от скорости ветра, запасы и влагосодержания ЛГМ; распределение температур, концентраций и объемных долей фаз. Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: данная работа позволит более точно рассчитать размеры противопожарного разрыва.

Область применения: профилактические мероприятия для предотвращения лесных пожаров.

Экономическая эффективность/значимость работы: позволит более точно рассчитать противопожарный разрыв.

Сокращения и обозначения

ЛП – лесные пожары

ГМ – горючие материалы

ЛГМ – лесные горючие материалы

ВЛП – верховой лесной пожар

НЛП – низовой лесной пожар

МКО – метод контрольного объёма

ЭВМ – электронно-вычислительная машина

ПО – программное обеспечение

МФУ – многофункциональное устройство

ФКУ ЦУКС – Федеральное казенное учреждение «Центр управление в кризисных ситуациях»

ЧС – чрезвычайная ситуация

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	14
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	17
1.1 Общие сведения и понятия о лесе.....	17
1.2 Лесной пожар	17
1.3 Лесные пожары в России и Монголии.....	23
1.4 Экспериментальные исследования возникновения и распространения лесных пожаров.....	26
1.5 Теоретическое исследование лесных пожаров.....	28
2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ ПРИ НАЛИЧИИ ПРОТИВОПОЖАРНЫХ ПРЕГРАД.....	32
2.1 Физическая постановка задачи.....	32
2.2 Математическая постановка задачи.....	33
2.3 Метод решения.....	39
3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ РАСЧЕТОВ	42
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	49
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	50
4.1.2. Анализ конкурентных технических решений.....	51
4.1.3. Анализ Quad.....	52
4.1.4. SWOT-анализ.....	53
4.2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	55
4.3. Планирование научного исследования	56
4.3.1. Структура работ в рамках научного исследования	56

4.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ	57
4.4. Бюджет научно-исследовательского проекта	62
4.4.1. Расчет материальных затрат научного исследования	62
4.4.2. Расчет затрат на программное обеспечение для научных (экспериментальных) работ	63
4.4.3. Основная заработная плата исполнителей темы	64
4.4.5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	66
4.4.6. Накладные расходы	67
4.4.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	68
4.5. Определение финансовой, бюджетной и экономической эффективности НИ	68
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	72
Введение	72
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	73
5.2 Производственная безопасность	75
5.2.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по снижению уровней их воздействия	76
5.3 Экологическая безопасность	81
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	82
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	85
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	86

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время лесные пожары в Монголии наносят огромный экологический и экономический ущерб стране. Каждый год лесные пожары охватывают значительную территорию, особенно на северных и центральных аймаках. Они перемещаются местами на территории соседних стран – Китая и России. Например: в 2007-2012 годах в Селенгинском аймаке лесные пожары пересекали монгольско-российскую границу 23 раза [1]. В России каждый год происходят десятки тысяч лесных пожаров, охватывающих площади от 500 тыс. га, в результате выбрасываются тонны продуктов сгорания в атмосферу [2].

Лес – возрастающая плотность древесных и других растений и деревьев, а некоторые деревья произрастают поставленной толпой на большой площади. Древесные экосистемы называются лесами, в состав которых входят древесина, полукустарники, травянистые растения, мох, грибы, водоросли, насекомые, животные, птицы, беспозвоночные и микроорганизмы. Они взаимосвязаны между собой и безжизненными компонентами. Лес является главным источником кислорода на Земле. К сожалению, леса давно подвергались уничтожению – они вырубались в экономических и хозяйственных целях, исчезали из-за природных процессов, выгорали из-за человеческой халатности.

Лесные пожары наносят огромный ущерб, не ограничивающийся стоимостью уничтоженной древесины. Различные виды лесных пожаров являются проблемой для лесопользования, а опасные природные катастрофы, создают угрозу жизни, здоровью людей и материальным ресурсам. После прохождения лесных пожаров значительно ухудшаются свойства древесины, а также усложняются условия восстановления. Поэтому необходимо повышать огнестойкость лесов, а если возникнет пожар, немедленно реагировать на него и ликвидировать его, не допуская уничтожения больших площадей леса.

Целью дипломной работы является разработка математической модели для определения размеров противопожарных разрывов при лесных пожарах и исследование зависимости их размеров от скорости ветра, запаса и влагосодержания ЛГМ.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Разработать физическую и математическую постановку задачи о распространении лесных пожаров при наличии противопожарных разрывов.
2. Изучить и применить метод контрольного объема для получения дискретного аналога.
3. Выполнить математическое моделирование процесса.
4. Определить минимальные размеры противопожарных разрывов.
5. Изучение влияния запасы, влагосодержания ЛГМ и скорости ветра на размеры противопожарных разрывов.

Такие модели могут быть использованы для составления прогнозов поведения реальных лесных пожаров, разработки мер по предупреждению и ликвидации пожаров в случае их распространения. Экспериментальные исследования стоят дорого, оказывают воздействие на окружающую среду, а также могут выйти из-под контроля и перейти в аварийную стадию. Кроме того, если необходимо проводить массовые эксперименты для различных погодных условий и параметров, то нельзя применять натурные испытания. Поэтому предпочтительнее использовать математические модели, которые не имеют этих недостатков. Именно это определяет актуальность работы и ее практическую значимость.

Объект исследования – лесные пожары. Предмет исследования – математическое моделирование распространения низового и верхового лесного пожара при наличии и в отсутствии разрывов. Расчеты производились с помощью программы BARRIER, с помощью программного

обеспечения MATLAB были построены графики. Математическая модель и компьютерная программа были протестированы путем сравнения с экспериментальными данными.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Общие сведения и понятия о лесе

Лесом называется природный комплекс, включающий в себя деревья, кустарники, различные травы и другие растения, а также животный мир и микроорганизмы, биологически взаимосвязанные в своем развитии, а также влияющие друг на друга и на внешнюю среду. Леса состоят из более или менее сомкнутых деревьев. Лес обычно имеет многоярусную структуру. Нижний уровень леса представляет собой подстилку, мхи, лишайники, а также траву и кустарники высотой не более двух метров. Верхний ярус леса, представляющий собой совокупность крон деревьев, называется пологом древостоя. В начале XX в. русский ученый, лесовод Г.Ф. Морозов дал впервые определение леса, он доказывал, что лес это сообщество деревьев, и древесных растений [3].

В лесах определяющим фактором является климат. В то же время леса влияют на окружающие условия - это поддерживает уровень подземных и наземных вод, снижает скорость ветра и изменяет газовый состав атмосферы. Также влияет на уровень радиации на солнце, водный режим, почва, атмосфера. Географическое положение влияет на состав животного и растительная жизнь. До недавнего времени леса оценивались как источник древесины и других биологических ресурсов, но сейчас леса рассматриваются как фактор обеспечения экологической безопасности и развития человеческого потенциала.

1.2 Лесной пожар

Лесной пожар является разрушительным природным явлением, возникновение и развитие которого зависит от запаса и влагосодержания ЛГМ и различных метеорологических условий. Лесные пожары, это явление сопровождающиеся выбросом в атмосферу большого количества копоти, сажи, двуокиси углерода. Лесные пожары нарушают состав леса и негативно влияют на всю окружающую среду. Причинами лесных пожаров являются

главным образом человеческая халатность, в других случаях грозы или длительная жара, засуха. Истинные размеры пожарной опасности очень большое, мало кто знает, как часто происходят пожары и каковы их социальные, экономические и экологические последствия. Каждый год гибнет большое количество людей, выгорают леса, разрушаются дома и строения [4].

Лесные пожары имеют свою основную классификацию. Прежде всего, в зависимости от характера пожара и состава леса, пожары можно разделить на верхние, нижние и подземные. Второе название подземных пожаров-торф, это когда горит подстилка или первый нижний слой лесного яруса. Низовые пожары также имеют несколько других названий-мертвые или наземные. Нижние слои лесного яруса горят. Скорость распространения низового пожара составляет 2,5-3,0 м/мин. Верховые пожары характеризуются быстрым продвижением огня через кроны деревьев при сильном ветре. Скорость верхового огня достигает 400-500 м/мин [5].

Для возникновения крупных лесных пожаров с переходом на вершину необходимы определенные факторы: сухая жаркая погода, большое количество активных очагов низовых пожаров, а также усиление ветра от умеренного до штормового. Деревья в таком огне часто сгорают полностью или почти полностью, в зависимости от интенсивности и вида древесины. По интенсивности лесные пожары делятся на слабые, средние и сильные. Верховые лесные пожары являются одними из самых разрушительных природных явлений [6].

По скорости распространения лесной пожар классифицируется как беглый и стабильный. Беглый верховой огонь характеризуется быстрым распространением огня через кроны деревьев по направлению ветра. А при устойчивом лесном пожаре, огонь захватывает все от подстилки до крон деревьев. Бывают также простые и сложные пожары. Если тип пожара не меняется в течение всего процесса сжигания ЛГМ, то это простой лесной

пожар, а если он меняется, то сложный. Тепло при пожаре затрачивается на нагрев горючих материалов, их сушку и пиролиз. Продукты пиролиза сгорают, выделяя большое количество энергии, после чего процесс повторяется. При пиролизе рассматривают расщепление на простые органические продукты, обусловленное высокой температурой, из более сложных соединений. Снижение негативного воздействия лесных пожаров на окружающую среду достигается с помощью грамотного менеджмента, который включает в себя все необходимые мероприятия по охране лесов и других растительных ресурсов от пожаров. С лесными пожарами невозможно справиться без научных исследований природы, в которой обычно существуют три основных направления: изучение возникновения пожара (пожароопасности), изучение поведения человека пожар и изучение последствий пожара.

В мире широко изучаются мониторинг и прогнозирования пожарной опасности. Кроме того, разрабатывается полный и систематический инструмент для обнаружения пожара, предотвращения экологических инцидентов, связанных с лесным пожаром, и раннего обнаружения очагов возгорания. Виды мониторинга таких явлений делятся на космические, авиационные и наземные, осуществляемые, например, с помощью развития космических технологий (космической фотосъемки) или аэрофотосъемки [7].

В наземном мониторинге включаются обходы–патрулирования, использование наблюдателей на специальных вышках, помощь местного жителя, также видеонаблюдение. В настоящее время активно внедряется система «Лесной дозор», которая включает в себя установленные видеокамеры с радиусом охвата до 30 км и программное обеспечение для просмотра видеопотока с любой из установленных камер. Также стоит отметить применяемые в «Лесном дозоре» технологию компьютерного зрения, которое анализирует изображение, выявляет потенциальные опасности и оповещает об этом оператора [7].

Авиационный мониторинг осуществляется в основном средствами воздушной защиты, как обычными, так и беспилотными летательными аппаратами. Интересна практика использования гражданской авиации для мониторинга лесных пожаров. Для этого в нижней части самолета установлены датчики и камеры, которые фиксируют происходящее на траектории полета.

Космический мониторинг огневой обстановки с использованием дистанционного зондирования Земли позволяет значительно увеличить площадь исследуемой территории, осуществлять мониторинг процессов в режиме реального времени (каждый спутник имеет свой орбитальный период, что позволяет планировать съемку необходимой земли в соответствии с местоположением спутника), игнорировать погодные и атмосферные условия в местах наблюдений (радиолокационные снимки возможны ночью, во время облачности и плохой погоды) [8].

Преимущества дистанционного космического мониторинга по сравнению с другими методами заключаются в следующем:

- Возможности мониторинга больших территорий, подверженных экологическим катастрофам;
- Скорость приема информации (обработка полученных со спутников данных и их доставка заказчику осуществляется в течение часа)
- Доступность данных (спутниковые снимки находятся в свободном доступе).
- Однако метод дистанционного зондирования имеет свои недостатки:
- Во-первых, площадь пожара должна быть значительной для обнаружения;
- Во-вторых, несмотря на наличие радиолокационных систем, позволяющих вести наблюдение в ночное время и при

неблагоприятных погодных условиях, их использование крайне редко. Чаще всего для мониторинга лесных пожаров используется комплексная многоспектральная спутниковая съемка, для которой прозрачность атмосферы играет важную роль;

- В-третьих, во избежание возможных ошибок необходимо координировать данные, полученные с помощью дистанционного зондирования земли, с наземными источниками информации.

При тушении лесных пожаров применяются следующие способы и технические средства [8]:

- захлестывание огня по кромке пожара ветками;
- засыпка кромки пожара грунтом;
- прокладка на пути распространения пожара заградительных и минерализованных полос (каналов);
- пуск отжига (встречного низового и верхового огня);
- тушение горячей кромки водой;
- применение химических веществ;
- искусственное вызывание осадков из облаков.

Заградительной называют полосу местности, с поверхности которой удалены лесные насаждения и горючие материалы, минерализованной - полосу местности, с которой удалены также и травяная растительность, лесная подстилка вплоть до минерального слоя почвы. Выбор способов и технических средств для тушения пожаров зависит от вида, силы и скорости распространения пожара, природной обстановки, наличия сил и средств пожаротушения и намеченных приемов тушения. Одним из способов борьбы с лесными пожарами является отжиг-искусственно вызванный контролируемый огонь, направленный в сторону пожара. Пуск отжига производится от имеющейся на лесной площади рубежей (дорог, троп,

ручьев, минерализованных полос и др.), а при отсутствии таких преград от опорных полос, специально проложенных с помощью взрывчатых веществ, техники или растворов химических веществ. Ширина опорных полос 0,3-0,5 м и более. Перед началом отжига срезают и убирают в сторону подросток подлесок. Молодняк хвойных пород сваливают вершинами в сторону пожара, валежник и сухостой перебрасывают через полосу и оттаскивают от нее вглубь, чтобы после пуска отжига предотвратить переход огня на кроны деревьев за полосой. Для зажигания надпочвенного покрова при пуске отжига используются специальные зажигательные аппараты или подручные средства. Пуск отжига следует производить против фронта пожара на расстоянии 10-100 м, а при верховых пожарах - на расстоянии 100-200 м.

Одним из способов предупреждения и ограничения распространения пожаров в лесах достигается путем создания на территории лесного фонда системы противопожарных разрывов. Целью создания системы противопожарных разрывов является разделение пожароопасных лесных массивов на изолированные друг от друга блоки разного размера. Лесные пожары изучаются с помощью физико-математического моделирования. Исследования верховых лесных пожаров с помощью математического моделирования проведены в работах. В данной работе было исследовано влияние наличия противопожарных разрывов на продвижение фронта пожара.

1.3 Лесные пожары в России и Монголии

Почти две трети территории России покрыто лесом. Общая площадь земель лесного фонда, по данным Рослесхоза, составляет 1 миллиард 146 миллионов гектаров. Ежегодно в России регистрируется от 9 тыс. до 35 тыс. лесных пожаров, охватывающих площадь от 500 тыс. до 3,5 млн га. По данным МЧС России и Федерального агентства лесного хозяйства, с начала 1992 года по конец 2018 года в России было зарегистрировано около 635 тысяч лесных пожаров, то есть они затронули земли лесного фонда [2].

Рекордное количество лесных пожаров было зафиксировано в 2002 году – 43 418. Площадь лесных угодий, охваченных тогда пожарами, превысила 1 369 000 гектаров. огонь охватил все восемь федеральных округов России. Общий ущерб составил 1 471 миллион рублей. Рекордный ущерб был принесен лесным пожарам в 2010 году, затронувшие всю территорию Европейской части страны. Здесь произошло 34 000 812 пожаров общей площадью около 2 млн гектаров, в том числе более 1000 торфяных пожаров. По данным МЧС России, от пожаров и вызванного ими смога пострадали 17 регионов, более 2,5 тыс. семей остались без крова, более 60 человек погибли в огне и от отравления продуктами горения, ущерб был оценен в 85,5 млрд рублей [2].

Масштабные лесные пожары, произошедшие на территории Сибири с июня по сентябрь 2019 года. Пожары были сосредоточены в Красноярском крае, Бурятии, Якутии и Иркутской области. Площадь пожаров и их количество превышали среднегодовые значения примерно в полтора раза. Они стали одними из самых крупных за последние 20 лет, в середине августа площадь, охваченная огнем, превысила 5 миллионов гектаров. Пожары вызвали задымление над крупными городами Урала, Сибири, Казахстана и Монголии [2].

В Монголии лесные и степные пожары причиняют стране огромный экологический и экономический ущерб. Ежегодно они охватывают значительные площади, особенно в северных и центральных аймаках. По степени и масштабам горимости лесов и степей разные аймаки Монголии существенно отличаются. Наиболее горимыми являются северные и северо-восточные аймаки, расположенные в степной зоне, затем идут северные и центральные аймаки с таежной, степной и лесостепной растительностью. Южные и юго-западные аймаки в полупустынной и пустынной зонах относительно меньше подвержены пожарам. Климат в Монголии резко континентальный, с суровой зимой и сухим жарким летом. Среднегодовая температура на большей части страны ниже 0°, в южных районах – положительна. Осадков выпадает мало. В северной части годовое количество осадков колеблется в пределах 250 – 350 мм, к югу оно снижается и доходит до 100 – 150 мм в год [1].

В 2015 г. в Монголии произошло самые масштабные пожары по площади 6,5 млн га и количеству 354. Они затронули не только Монголию, но и прилегающие территории России. Причина ситуации связана прежде всего с аномальными погодными условиями (дефицитом осадков и необычно высокой температурой).

Таблица 1.1 Количество природных пожаров в РФ и Монголии

Год	Количество природных пожаров в России	Количество природных пожаров в Монголии
2010	33423	104
2011	19743	161
2012	19329	229
2013	9991	198
2014	16865	281
2015	12337	354
2016	11025	138
2017	10475	225

2018	11372	77
2019	13800	121

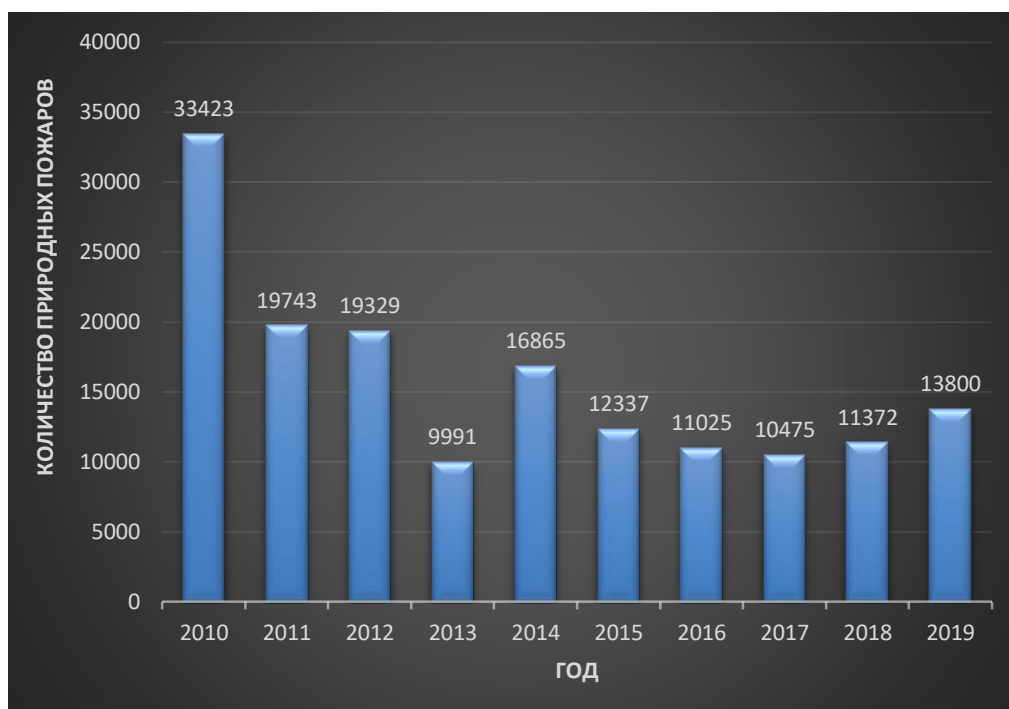


Рисунок 1.1 – Количество природных пожаров на территории РФ по годам

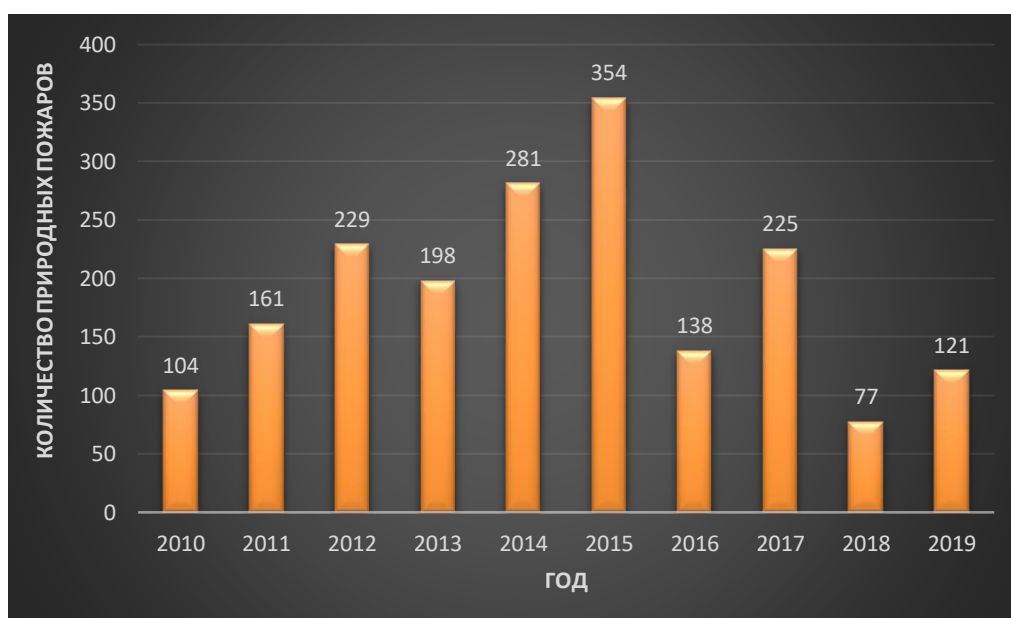


Рисунок 1.2 – Количество природных пожаров на территории Монголии по годам

Также доказано, что при экстремальных погодных условиях возможны некоторые пожары. Крупные лесные пожары имеют низкую влажность

воздуха (менее 50%), большую скорость ветра (тихий, неразвитый пожар), а также ожидаемую температуру воздуха [9] [10].

1.4 Экспериментальные исследования возникновения и распространения лесных пожаров

Современный мир невозможно представить без инновационных технологий. Математические модели используются для изучения влияния различных факторов на развитие и другие характеристики лесного пожара. Для решения этой задачи выполняются расчеты для различных значений параметров, которые заменяются моделью в данной системе. Модель выражает наиболее значимые свойства объекта. Математическая модель представляет собой систему, которая позволяет получить информацию о другой системе [11]. Классификация моделей делится на линейные и нелинейные, статистические и динамические, концентрированные и распределенные, дискретные и непрерывные. Численные методы определяют различные параметры пожара, в том числе скорость, температуру, тепловые потоки, плотность и концентрацию компонентов. Зная свойства горючих материалов, в какое время года и на какой площади можно имитировать развитие лесного пожара. Математическое моделирование осуществляется на персональных компьютерах с использованием различных программных средств. При горении лесов важны внешние условия, такие как скорость ветра, влажность, температура и состав древесины [12]. Единственным способом изучения фронта пламени, условий и скорости распространения лесных пожаров является использование математического моделирования на персональных компьютерах, так как экспериментальное исследование лесных пожаров является очень дорогостоящим и экологически небезопасным [11].

В статье [13] описано исследование перехода низовых лесных пожаров в верховые при отсутствии ветра и при его наличии. В результате исследования модели можно использовать для прогнозирования верхового

лесного пожара и его распространения. Предложенная математическая модель возникновения массовых лесных пожаров позволяет определить размеры и контуры лесных пожаров. А в статье [14] предложена модель пламени, построенная с использованием значений конечной ширины фронта пожара. Исходные данные для этой модели основаны на соотношении ширины фронта пожара, длины пламени и так далее. Аналитическое приближение, представленное в этой модели, используется для получения простой и полезной формулировки для определения приемлемого безопасного расстояния от фронта пожара. Анализ проводится при различных физических и геометрических параметрах, используемых для определения фронта пламени. Этот анализ показал, что наиболее чувствительным параметром является температура пламени. В статье [15] было проведено исследование – математическое моделирование условий распространения лесных пожаров, позволяющее получить детальную картину изменения полей скорости, температуры и концентрации компонентов во времени, а также определить влияние различных условий на распространение лесных пожаров.

Цель исследования [16] является совершенствованием знаний об основных физических процессах, контролирующих возникновение и распространение лесных пожаров. При определенных условиях низкоуровневый лесной пожар, распространяющийся через почву, становится верховым огнем, который движется через крону деревьев с гораздо большей скоростью, чем низкоуровневый пожар, и поэтому более опасен для окружающей среды. Исследование проводилось с использованием методов математического моделирования физических процессов. Этот метод основан на численном решении двумерных уравнений Рейнольдса для описания турбулентного течения с учетом уравнений диффузии химических компонентов и уравнений сохранения энергии для газа и конденсированной фазы. Для получения дискретных аналогов использовался метод контрольного объема Патанкара-Сполдинга [16].

Экспериментальное моделирование лесных пожаров можно выявить закономерность распространения огня. Метод математического моделирования в настоящее время является перспективным и актуальным для изучения возникновения и распространения лесного пожара, так как он удобен в использовании, простой для расчетов.

1.5 Теоретическое исследование лесных пожаров

Математическая модель лесного пожара – своего рода эталон точности физико-математического описания различных типичных лесных пожаров, позволяющий оценить точность и полноту более легких и удобных для практических целей моделей. При решении задачи выполняются расчеты для различных значений параметров, заменяющиеся моделью в данной системе. Например, направление ветра учитывается только вдоль одной из координатных осей, жидкая фаза в воздухе игнорируется, и лес представляется недеформируемой продуваемой средой. Модель выражает наиболее значимые свойства объекта. Математическая модель - это система, которая позволяет получить информацию о другой системе.

В 1946 году была опубликована первая модель распространения пожара В. Л. Фонсом [17]. Она была основана только на уравнении теплового баланса и использовала в качестве коэффициентов данные, полученные при сгорании горючих веществ в аэродинамической трубе. Далее следует выделить модель Г.М. Байрама [18], определявшая соотношение между длиной пламени, количеством расходуемых горючих веществ и теплотой их сгорания. В этой модели использовались реальные данные, полученные при изучении пожаров в сосновых лесах. Однако недостатком этой модели было то, что в качестве входных данных использовались данные (например, длина и высота пламени), которые можно было получить только при наблюдении за конкретным пожаром.

В 1949 году была создана первая модель в России В.Г. Нестеровым, основанная на экспериментальных исследованиях горимости лесов.

Впервые были предложены критерии пожарной опасности [19]. Известный ученый Гришин А.М., создатель одной из наиболее полных математических моделей лесных пожаров, для получения необходимых данных о лесе (объемные доли фаз, характеристики химических реакций механизм передачи энергии от фронта пожара к окружающей среде, аэродинамические характеристики лесов, коэффициенты переноса) провел многочисленные естественные, полунатурные и лабораторные экспериментальные исследования и сформировал один из крупнейших банков данных, который до сих пор используется [20].

Физико-математическое моделирование поведения пожаров условно делят на три группы:

- Модели первой группы, построенные «из первых принципов», основаны на физике горения и для прогноза используют расчеты на основе исходной теории. Эти модели учитывают три вида передачи тепла: теплопроводность, конвекция и радиация.
- Модели второй группы «черного ящика» рассматривают только исходные данные пожара и сравнивают их с имеющимися экспериментальными данными и на основании сходства выдают прогнозы. Однако, успешность применения напрямую зависит от соответствия данных тем данным, которые содержатся в базе данных.
- Феноменологические модели. [21] Модели третьей группы сочетают в себе физические расчеты и константы, выявленные в ходе наблюдения за реальными пожарами.

Отличие моделей первой и второй группы очевидно - первые используют только расчеты, вторые - только экспериментальные данные. Третья группа моделей занимает промежуточное положение. При этом первая группа моделей обладает универсальностью, т. е, способностью рассчитывать параметры

любого пожара, а вторая - точностью и простотой построения при совпадении параметров образца и текущего пожара. Поскольку граница между этими группами (а особенно между первой и третьей), то возможно рассматривать два подхода - с описанием физико-химических процессов горения и моделирование в виде «черного ящика». В зависимости от способа отображения данных модели разделяются на пространственные и непространственные. Модели первой группы дают возможность наблюдать визуализированное распространение пожара по массиву, а модели второй группы выдают результаты в виде графов и таблиц. При этом непространственные модели требуют меньшие вычислительные мощности, однако сложнее для интерпретации, а пространственные интуитивно понятны, однако они требуют больше памяти и сложнее в построении.

По возможному назначению модели делятся на три уровня: - фундаментальное моделирование; - тактическое моделирование; - стратегическое моделирование.

Фундаментальное моделирование изучает горение отдельных частиц, слоев различных ГМ, слоев однородных частиц и основано на процессах теплопереноса. В качестве исходных параметров берутся как физические и химические свойства веществ (влажность, теплопроводность, содержание, количество и состав веществ, выделяющихся при горении), так и характеристики окружающей среды (направление и скорость ветра, атмосферная турбулентность, влажность). Расчетами для моделей являются распределение концентрации веществ, температуры, размеры пламени и скорость его распространения. В качестве примера можно привести модель А.М. Гришина[11].

Тактическое моделирование прогнозирует пожар в целом - скорость распространения, контур и площадь горения, интенсивность горения. Кроме того, эти модели определяют вид пожара и факторы, которые приводят к изменению вида пожара (параметры, при которых низовой пожар выходит в

верховой, а тот в свою очередь - в пятнистый). Эти модели разработаны Э.В.Конево [21], Е.К. Киселяховом [22].

Стратегическое моделирование изучает совокупности пожаров – их возникновение, распространение, развитие, а также основные важнейшие их характеристики – скорость, площадь, длину фронта. Эти модели используются руководителями административных единиц, соответствующими органами МЧС и имеют важное практическое значение, поскольку на основании их прогнозов принимаются меры по защите населения и территории в пожароопасный период. В РФ этими моделями занимался Г.Н.Коровин [23].

Аналогично математическое моделирование пожаров основано на работах многих известных ученых, рассматривавших данную проблему с разных точек зрения. Данные модели позволяют решать широкий спектр задач, в зависимости от поставленных целей.

2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ ПРИ НАЛИЧИИ ПРОТИВОПОЖАРНЫХ ПРЕГРАД

2.1 Физическая постановка задачи

Для описания процессов тепломассообмена при лесных пожарах используются общие законы сохранения массы, импульса и энергии для многофазной двух температурной среды [11].

Основные допущения, принятые при выводе системы уравнений начальных и граничных условий.

1. Ветер направлен вдоль оси x ;
2. Лесной покров представляет собой недеформируемую пористую среду, влияющую только на величину силы сопротивления в уравнении сохранения импульса в газовой фазе;
3. В зоне пожара ЛГМ представляют собой пористую, многофазную двухтемпературную дисперсионную среду с одной скоростью, температура газовой и конденсированной фаз различна;
4. В лесном пожаре учитываются энергетические и физико-химические процессы;
5. Плотность газовой фазы не зависит от давления, поскольку скорость потока мала по сравнению со скоростью звука.
6. Перенос энергии осуществляется турбулентной конвекцией и излучением.

В предоставленном случае разрыв и слой ЛГМ присутствуют вблизи и имеют конечные размеры, но это не считается обязательным. В процессе расчетов были рассмотрены всевозможные случаи взаимного место расположения или же недоступности 1-го из данных объектов.

Размеры расчетной области 100 x 100 метров. Высота полога леса 10 метров. Вся расчетная область разбивается 201 x 201 контрольный объем. Температура окружающей среды ($T=300\text{K}$), температура источника воспламенения ($T=1000\text{K}$). Под влиянием ветра очаг пожара воздействует на

слой ЛГМ и формируется фронт лесного пожара, который начинает распространяться через слой ЛГМ.

Пусть очаг зажигания имеет конечные размеры, причем начало системы координат связано с центром очага. Ось oz направлена вертикально вверх, а оси ox и оси oy – параллельно земной поверхности. Ось ox совпадает с направлением ветра. Под действием ветра очаг пожара начинает распространяться по лесному массиву. На рисунок 2.1 схематично изображена область лесного массива, где L – ширина противопожарного разрыва.

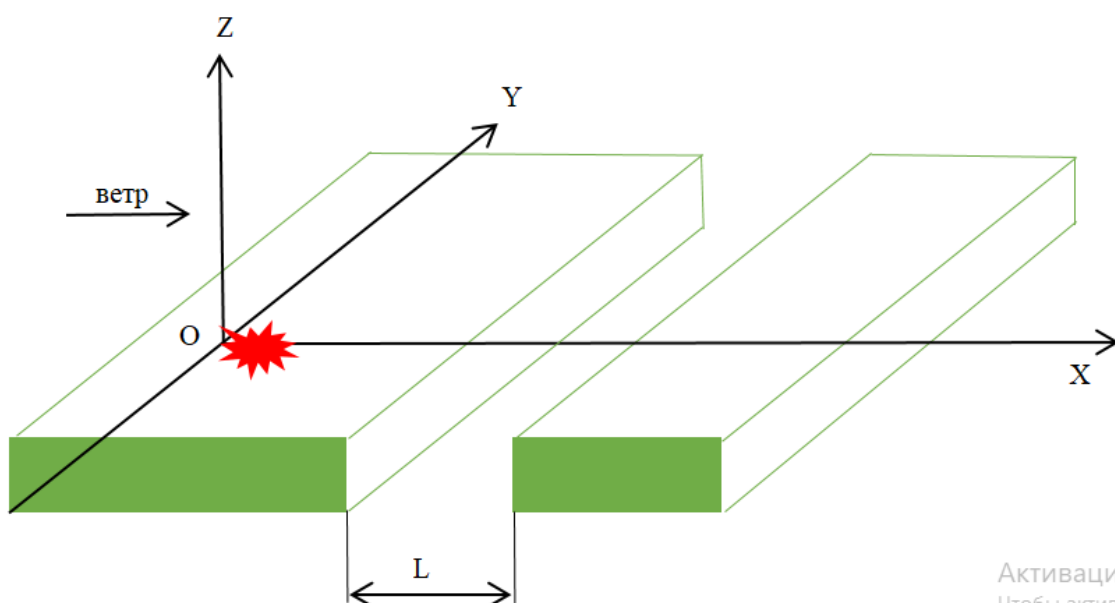


Рисунок 2.1 – Схема распространения лесного пожара

2.2 Математическая постановка задачи

Математическая модель для описания распространения лесных пожаров была построена на основе общей математической модели лесных пожаров, предложенной А.М. Гришиным [11]. В рамках этой математической модели лес при пожаре считается пористо-дисперсной реакционноспособной сплошной средой, что позволяет использовать методы механики сплошной среды для математического описания лесных пожаров.

Исходя из того, что вертикальные размеры лесного массива несопоставимо меньше его горизонтальных размеров, общая система дифференциальных уравнений процесса тепломассопереноса в трехмерном массиве может быть проинтегрирована по высоте полога леса h . Для этого исходная система уравнений была приведена к дивергентному виду, затем проинтегрирована по высоте полога леса: $\int_0^h \phi dz = \bar{\phi}h$, где $\bar{\phi}$ – среднее значение величины ϕ .

В результате математически задача сводится к решению системы уравнений Рейнольдса для турбулентного течения в пологе леса и приземном слое атмосферы (2.1) - (2.10):

$$\rho \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) = \dot{m} - \frac{\dot{c}^- - \dot{c}^+}{h}, \quad (2.1)$$

$$\rho \frac{du}{dt} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}(-\rho \overline{u'^2}) + \frac{\partial}{\partial y}(-\rho \overline{u'v'}) - \rho s c_d u |\bar{u}| - \dot{m}u + \frac{(\tau_x^- - \tau_x^+)}{h}, \quad (2.2)$$

$$\rho \frac{dv}{dt} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x}(-\rho \overline{u'v'}) + \frac{\partial}{\partial y}(-\rho \overline{v'^2}) - \rho s c_d v |\bar{u}| - \dot{m}v + \frac{(\tau_y^- - \tau_y^+)}{h}, \quad (2.3)$$

$$\rho c_p \frac{dT}{dt} = \frac{\partial}{\partial x}(-\rho c_p \overline{u'T'}) + \frac{\partial}{\partial y}(-\rho c_p \overline{v'T'}) + q_5 R_5 - \alpha_v (T - T_s) + \frac{(q_T^- - q_T^+)}{h} + k_s (cU_R - 4\sigma T^4), \quad (2.4)$$

$$\rho \frac{dc_\alpha}{dt} = \frac{\partial}{\partial x}(-\rho \overline{u'c'_\alpha}) + \frac{\partial}{\partial y}(-\rho \overline{v'c'_\alpha}) + R_{5\alpha} - \dot{m}c_\alpha + \frac{(J_\alpha^- - J_\alpha^+)}{h}, \alpha = \overline{1,2}, \quad (2.5)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial y} \right) - kcU_R + 4k_g \sigma T^4 + 4k_s \sigma T_s^4 = 0, k = k_g + k_s, \quad (2.6)$$

$$\sum_{i=1}^4 \rho_i \varphi_i c_{pi} \frac{\partial T_s}{\partial t} = q_3 R_3 - q_2 R_2 + k_s (cU_R - 4\sigma T_s^4) + \alpha_v (T - T_s), \quad (2.7)$$

$$\rho_1 \frac{\partial \varphi_1}{\partial t} = -R_1; \rho_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial t} = -R_2; \rho_3 \frac{\partial \varphi_3}{\partial t} = \alpha_c R_1 - \frac{M_c}{M_1} R_3; \rho_4 \frac{\partial \varphi_4}{\partial t} = 0, \quad (2.8)$$

$$\sum_{\alpha=1}^3 c_{\alpha} = 1, p_e = \rho RT \sum_{\alpha=1}^3 \frac{c_{\alpha}}{M_{\alpha}}, \dot{m} = (1 - \alpha_c) R_1 + R_2 + \frac{M_c}{M_1} R_3, \quad (2.9)$$

$$R_{51} = -R_3 - \frac{M_1}{2M_2} R_5; R_{52} = v_g (1 - \alpha_c) R_1 - R_5, \quad (2.10)$$

В уравнениях используются следующие обозначения: $R_1 - R_3$, $R_{5\alpha}$ – массовые скорости пиролиза лесных горючих материалов, испарения влаги, горения конденсированных и летучих продуктов пиролиза, образования сажи и пепла и образования α – компонентов газодисперсной фазы; t_0 – время формирования очага горения, c_{pi} , ρ_i , φ_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); τ_i , q_T , J_{α} – характеризует обмен импульсом, энергией и массой α -компонента и энергией как с приземным слоем атмосферы, так и с нижним ярусом леса; T , T_s – температура газовой и конденсированной фаз; c_{α} – массовые концентрации ($\alpha = 1$ – кислород, 2 – горючие продукты пиролиза, 3 – 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, γ – параметр, характеризующий отношение молекулярных масс газа в окружающей среде и выдуваемого в процессе теплообмена, 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; s , c_d – удельная поверхность фитомассы и эмпирический коэффициент сопротивления полого леса; c – скорость света; u , v – проекции скорости на оси x , y соответственно; α_c , v_c – коксовое число и массовая доля горючих газов в массе летучих продуктов пиролиза; \dot{m} – массовая скорость

образования газодисперсной фазы; g – ускорение свободного падения. Индексы "0" и "e" относятся к значениям функций в очаге горения и на большом расстоянии от зоны пожара соответственно [23]. Символом $\frac{d}{dt}$ обозначена полная производная:

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y}$$

Для определения источниковых членов, которые характеризуют приток в единицу объема газовой-дисперсионной фазы, были использованы формулы для скорости образования газодисперсной фазы \dot{m} , расхода кислорода R_{51} и изменения концентрации оксида углерода R_{52} .

$$\dot{m} = (1 - \alpha_c) R_1 + R_2 + \frac{M_c}{M_1} R_3$$

$$R_{51} = -R_3 - \frac{M_1}{2M_2} R_5; R_{52} = v_g (1 - \alpha_c) R_1 - R_5$$

Для описания процессов пиролиза, испарения влаги, горения конденсированных и летучих продуктов пиролиза используются следующие соотношения.

$$R_1 = k_1 \rho_1 \varphi_1 \exp\left(-\frac{E_1}{RT_s}\right), R_2 = k_2 T^{-0.5} \rho_2 \varphi_2 \exp\left(-\frac{E_2}{RT_s}\right), R_3 = k_3 \rho_s \varphi_3 c_1 \exp\left(-\frac{E_3}{RT_s}\right),$$

$$R_5 = k_5 M_2 \left(\frac{c_1 M}{M_1}\right)^{0.25} \frac{c_2 M}{M_2} T^{-2.25} \exp\left(-\frac{E_5}{RT}\right), \quad (2.11)$$

При решении вышеизложенной системы уравнений следует учитывать следующие начальные и граничные условия:

$$t = 0 : u = 0; v = 0; T = T_e; c_\alpha = c_{ae}; T_s = T_e; \varphi_i = \varphi_{ie}; \quad (2.12)$$

$$x = 0 : u = V_e; v = 0; T = T_e; c_\alpha = c_{ae}; -\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x} + \frac{c U_R}{2} = 0; \quad (2.13)$$

$$x = x_e : \frac{\partial u}{\partial x} = 0; \frac{\partial v}{\partial x} = 0; \frac{\partial c_\alpha}{\partial x} = 0; \frac{\partial T}{\partial x} = 0; \frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x} + \frac{cU_R}{2} = 0; \quad (2.14)$$

$$y = 0 : \frac{\partial u}{\partial y} = 0; \frac{\partial v}{\partial y} = 0; \frac{\partial c_\alpha}{\partial y} = 0; \frac{\partial T}{\partial y} = 0; -\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial y} + \frac{cU_R}{2} = 0; \quad (2.15)$$

$$y = y_e : \frac{\partial u}{\partial y} = 0; \frac{\partial v}{\partial y} = 0; \frac{\partial c_\alpha}{\partial y} = 0; \frac{\partial T}{\partial y} = 0; \frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial y} + \frac{cU_R}{2} = 0; \quad (2.16)$$

Координаты очага зажигания $|x| \leq \delta_x$; $|y| \leq \delta_y$, где δ_x и δ_y – размеры очага по оси ОХ и ОУ соответственно. Величина температуры в очаге зажигания изменяется в зависимости от времени:

$$T = T_s = \begin{cases} T_e + \frac{t}{t_0}(T_0 + T_e), t \leq t_0 \\ T_e + (T_0 - T_e) \exp\left[-k\left(\frac{t}{t_0} - 1\right)\right], t > t_0 \end{cases}; \quad (2.17)$$

Считая, что теплообмен во фронте пожара с приземным слоем атмосферы и нижним ярусом леса происходит по закону Ньютона, то соответствующие члены уравнений можно записать в следующем виде [3]:

$$\frac{(J_\alpha^- - J_\alpha^+)}{h} = -\frac{\alpha}{c_{ps}h}(c_\alpha - c_{\alpha e}), \quad (2.18)$$

$$\frac{(q_T^- - q_T^+)}{h} = -\frac{\alpha}{h}(T - T_e), \quad (2.19)$$

Влагосодержание лесных горючих материалов является безразмерной величиной и определяется по формуле: $W = \frac{(m - m_0)}{m_0}$, где m – масса ЛГМ в естественном состоянии, m_0 – масса ЛГМ в абсолютно сухом состоянии.

Коэффициент теплообмена фаз выбирался на основе данных по теплообмену между элементом лесного горючего материала (хвоинка, тонкая веточка) и окружающей средой α по формуле:

$$\alpha_v = \alpha S - \gamma c_p \dot{m}, \quad S = 2\varphi_s / r_s,$$

где $\varphi_s = \sum_{i=1}^4 \varphi_i$, r_s – радиус цилиндра (типичный элемент ЛГМ) [23].

Турбулентные потоки количества движения, тепла и массы записываются через градиенты среднего течения согласно [11].

$$\begin{aligned} \overline{\rho u'^2} &= 2\mu_t \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3}K, \quad \overline{\rho v'^2} = 2\mu_t \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{2}{3}K, \\ -\overline{\rho u'v'} &= \mu_t \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right), \quad \mu_t = \frac{c_\mu \rho K^2}{\varepsilon}, \quad -\overline{\rho u'c_p T'} = \lambda_t \frac{\partial T}{\partial x}, \quad \lambda_t = \mu_t c_p / Pr_t, \\ -\overline{\rho v'c_p T'} &= \lambda_t \frac{\partial T}{\partial y}, \quad -\overline{\rho u'c'_\alpha} = D_t \frac{\partial c_\alpha}{\partial x}, \quad \rho D_t = \mu_t / Sc_t, \quad -\overline{\rho v'c'_\alpha} = D_t \frac{\partial c_\alpha}{\partial y} \end{aligned} \quad (2.20)$$

Значение μ_t определялось на основе локально-равновесной модели турбулентности [5].

$$\mu_t = \rho l^2 \left\{ 2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 - \frac{2}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right\}^{1/2}. \quad (2.21)$$

В формулах (18-19) u' и v' – компоненты пульсационной составляющей скорости в проекциях на оси x , y соответственно; μ_t , λ_t , D_t – коэффициенты турбулентной динамической вязкости, турбулентной теплопроводности и диффузии; c_μ – константа; ε – скорость диссипации турбулентной кинетической энергии; K – кинетическая энергия турбулентности; Pr_t , Sc_t – турбулентные числа Прандтля и Шмидта; l – путь смешения [25].

Характеристикам лесного массива соответствуют характеристики ЛГМ соснового леса: $E_1/R=9400$ К, $k_{01}=3.63 \cdot 10^4$ с⁻¹, $E_2/R=6000$ К, $k_{02}=6 \cdot 10^5$ с⁻¹, $q_2=3 \cdot 10^6$ J/kg, $E_3/R=10000$ К, $k_{03} = 10^3$ с⁻¹, $q_3=1.2 \cdot 10^7$ J/kg, $E_5/R=11500$ К, $k_5 = 3 \cdot 10^{13}$ с⁻¹, $q_5=10^7$ J/kg, $c_p=1000$ J/(kg·K), $\alpha_c=0.06$, $\nu_c=0.7$, $\rho_e= 1.2$ kg/m³, $c_{2e}= 0$, $p_e= 10^5$ N/m², $T_e= 300$ К, $c_{1e}=0.23$ [25].

2.3 Метод решения

Для решения задачи используем метод контрольного объема. Метод контрольных объемов – численный метод интегрирования систем дифференциальных уравнений в частных производных [16]. Основная идея метода контрольного объема легко понятна и поддается прямой физической интерпретации. Расчетную область разбивают на некоторое число непересекающихся контрольных объемов таким образом, что каждая узловая точка содержится в одном контрольном объеме. Дифференциальное уравнение интегрируют по каждому контрольному объему.

В методе контрольного объема и будет искомое решение в виде значений только в узловых точках. Интерполяционные формулы или профили рассматриваются как вспомогательные, необходимые для расчета интегралов. После получения дискретных аналогов предположения о характере профилей можно не учитывать. Такая точка зрения дает полную свободу использования различных профилей для интегрирования разных членов дифференциального уравнения [16]. Для получения дискретного аналога используется расположение узловых точек, представленное на рисунке 2.2. В центре оказывается точка P, окруженная точками E, W, T и S.

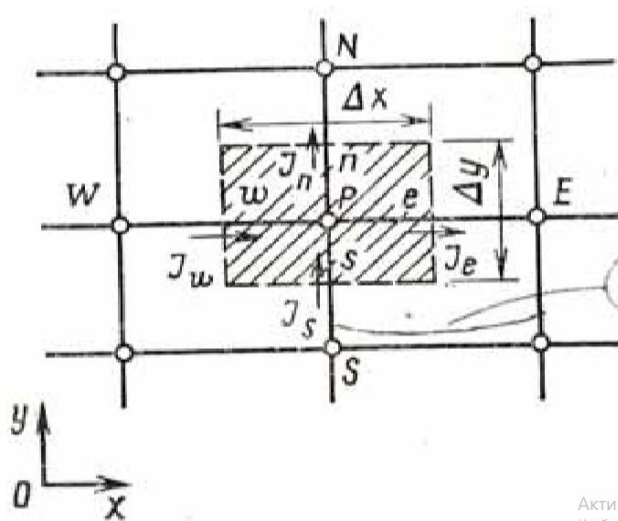


Рисунок 2.2 – Узловые точки для двумерной задачи

Диффузионный поток, вызванный градиентом обобщенной переменной Φ , определяется как $-\frac{\Gamma \partial \Phi}{\partial x_j}$ для конкретной величины Φ он может представлять собой диффузионный поток химических компонент, тепловой поток, вязкое напряжение и т. д. Аналогичные рассуждения справедливы для конвективного члена $(\frac{\partial}{\partial x_j})(\rho u_j \Phi)$. Таким образом, общее дифференциальное уравнение

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \Phi) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \Phi) = \frac{\partial}{\partial x_j}(\Gamma \frac{\partial \Phi}{\partial x_j}) + S, j = 1, 2$$

Из уравнение (20) можно зполучить двухмерный дискретный аналог в следующем виде:

$$a_P \Phi_P = a_E \Phi_E + a_W \Phi_W + a_N \Phi_N + a_S \Phi_S + b, \quad (2.22)$$

где

$$\begin{aligned} a_E &= D_e A(|P_e|) + \llbracket -F_e, 0 \rrbracket; \quad a_W = D_w A(|P_w|) + \llbracket -F_w, 0 \rrbracket; \\ a_N &= D_n A(|P_n|) + \llbracket -F_n, 0 \rrbracket; \quad a_S = D_s A(|P_s|) + \llbracket -F_s, 0 \rrbracket; \\ a_P &= a_E + a_W + a_N + a_P^0 - S_P \Delta x \Delta y; \quad a_P^0 = \rho_P^0 \Delta x \Delta y / \Delta t \\ b &= S_C \Delta x \Delta y + a_P^0 \Phi_P^0 \end{aligned} \quad (2.23)$$

Здесь Φ_P^0 и ρ_P^0 обозначают известные значения для времени t , а все другие величины ($\Phi_P, \Phi_E, \Phi_W, \Phi_N, \Phi_S$ и т. д.) представляют собой неизвестные величины для времени $t + \Delta t$.

Массовые расходы F_e, F_w, F_n и F_s , определены уравнениями:

$$F_e = (\rho u)_e \Delta y; \quad F_w = (\rho u)_w \Delta y; \quad F_n = (\rho u)_n \Delta x; \quad F_s = (\rho u)_s \Delta x \quad (2.24)$$

Соответствующие проводимости представим в виде:

$$D_e = \frac{\Gamma_e \Delta y}{(\delta x)_e}; \quad D_w = \frac{\Gamma_w \Delta y}{(\delta x)_w}; \quad D_n = \frac{\Gamma_n \Delta x}{(\delta y)_n}; \quad D_s = \frac{\Gamma_s \Delta x}{(\delta y)_s} \quad (2.25)$$

$$P_e = \frac{F_e}{D_e}; \quad P_w = \frac{F_w}{D_w}; \quad P_n = \frac{F_n}{D_n}; \quad P_s = \frac{F_s}{D_s}; \quad (2.26)$$

Рекомендуется схема со степенным законом, для которой

$$A(|P|) = [0, (1 - 0,1|P|)^5] \quad (2.27)$$

Полученные в результате дискретизации системы алгебраических уравнений для всех зависимых искомым переменных (температуры, концентрации компонент газовой фазы и т.д.) решались итерационно с использованием алгоритма SIP [16].

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ РАСЧЕТОВ

На основе приведенной выше модели были рассчитаны параметры горения для лесного пожара в растительном слое с учетом пожарных разрывов. Параметры, которые изменялись в процессе расчетов:

- влагосодержание ЛГМ
- скорость ветра
- запас ЛГМ.

В результате расчётов были получены распределения изолиний температуры, соответствующие до и после противопожарного разрыва при различных скоростях ветра. Температура газовой фазы определяется как $\bar{T} = T/T_e$, где $T_e = 300$ К. Распределения изотерм газовой фазы: (1-4.5; 2-4; 3-3.5; 4-3; 5-1.5; 6-1).

Распределения изолиний концентрации кислорода ($\bar{c}_1 = \frac{c_1}{c_e}, c_e = 0.23$): 1-0.1; 2-0.5; 3-0.6; 4-0.7; 5-0.8; 6-0.9. Распределения изолиний концентрации продуктов пиролиза ($\bar{c}_2 = \frac{c_2}{c_e}, c_e = 0.23$): 1-0.1; 2-0.5; 3-0.6; 4-0.7; 5-0.8; 6-0.9.

Были проведены численные расчеты для скоростей ветра 5 м/с, запаса ЛГМ 0.2 кг/м³ и влагосодержания 0.2 с учетом разрыва шириной от 5 до 15м.

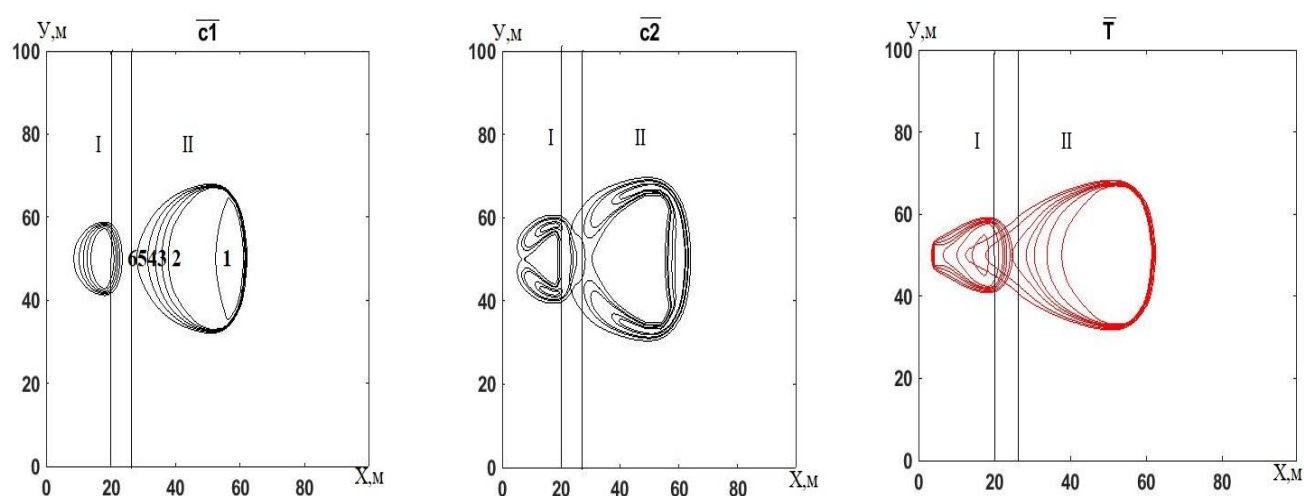


Рисунок 3.1 - Распределения изолиний газовой фазы при ширине разрыва $L=5$ м, в моменты времени t : I – 3 с, II – 8 с

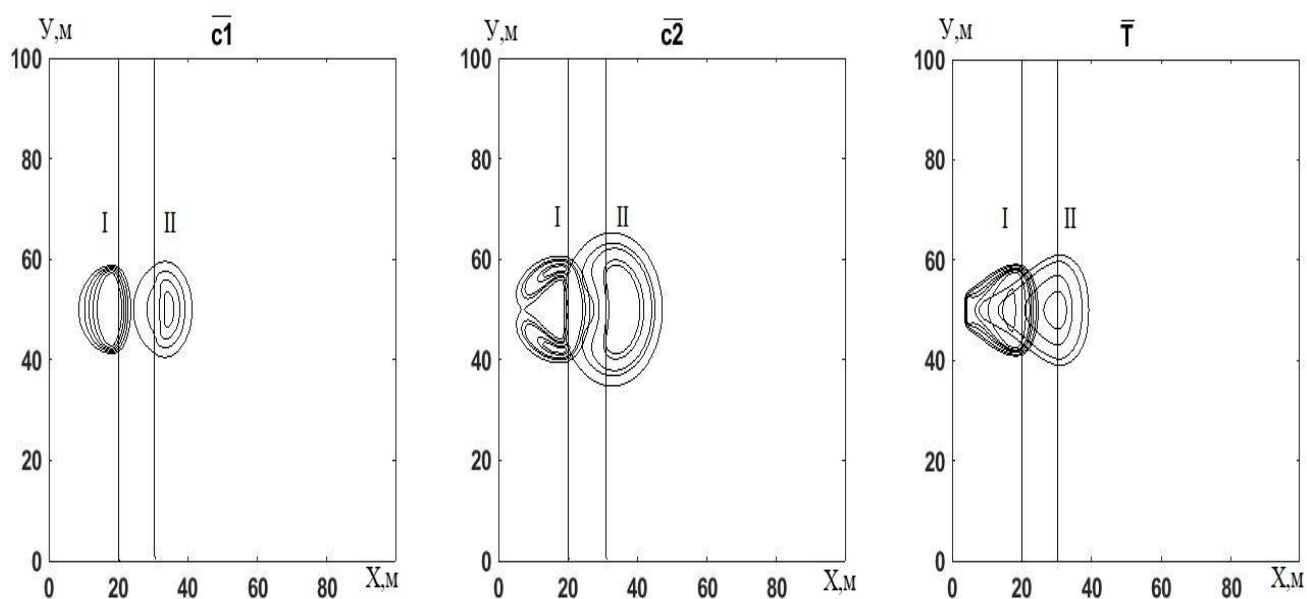


Рисунок 3.2 - Распределения изолиний газовой фазы при ширине разрыва $L=10\text{м}$, в моменты времени t : I – 3 с, II – 7 с

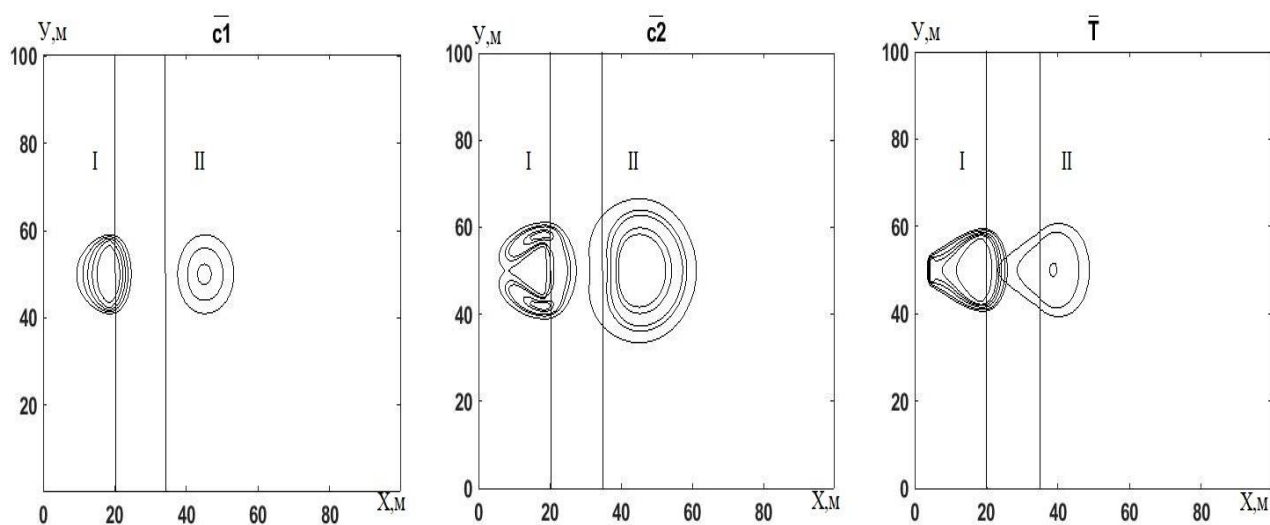


Рисунок 3.3 - Распределения изолиний газовой фазы при ширине разрыва $L=15\text{м}$, в моменты времени t : I – 3 с, II – 7 с

Температура во фронте пожара перед разрывом соответствует температуре горения, концентраций кислорода уменьшается почти до 0, а концентрация продуктов пиролиза увеличивается. Понижение концентрации кислорода объясняется его расходом на горение продуктов пиролиза. После разрыва наблюдаются низкие температуры, которые свидетельствуют о том, что фронт пожара не распространяется дальше по лесному массиву.

При увеличении скорости ветра до $V_e = 10$ м/с и $V_e = 15$ м/с фронт лесного пожара преодолевает разрыв шириной $L=15$ м, но не переходит при ширине $L=20$ м. Распределения изолиний газовой фазы, соответствующие до и после противопожарного разрыва показаны на рисунок 3.4-3.7.

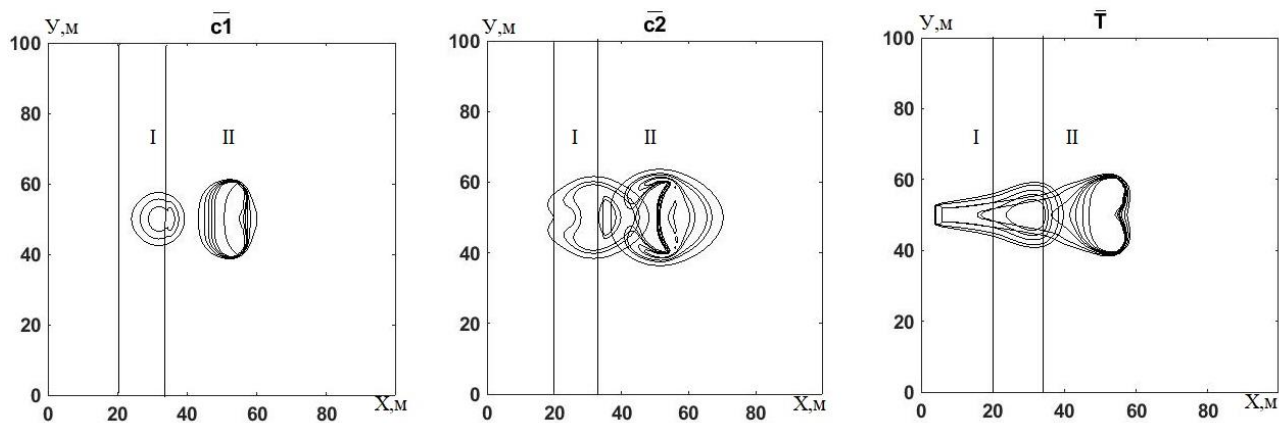


Рисунок 3.4 - Распределения изолиний газовой фазы при ширине разрыва $L=15$ м, $V_e = 10$ м/с в моменты времени t : I – 3 с, II – 7 с

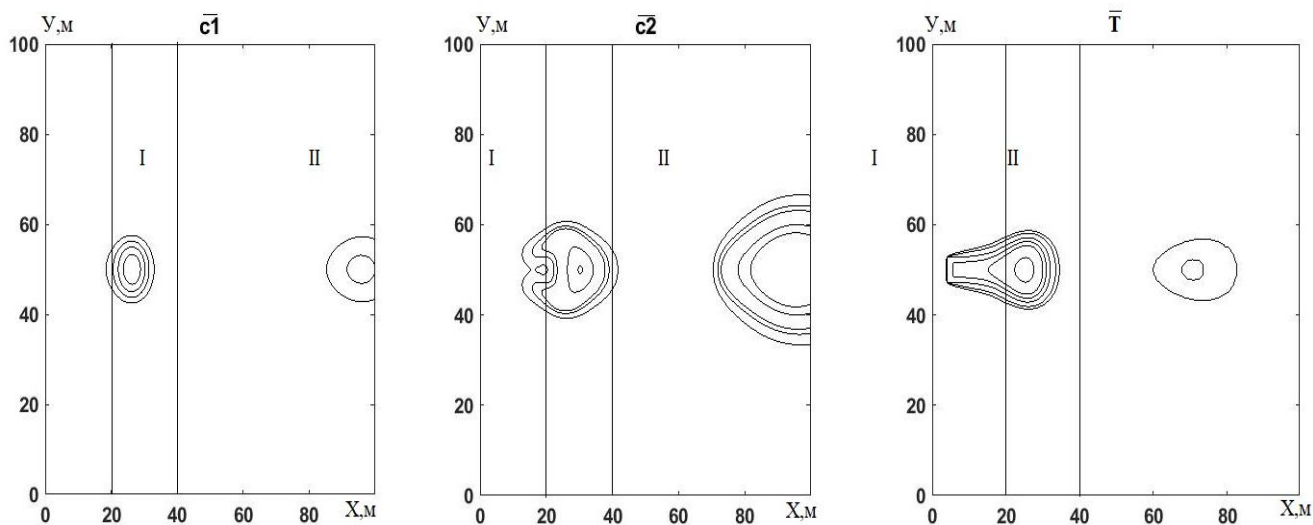
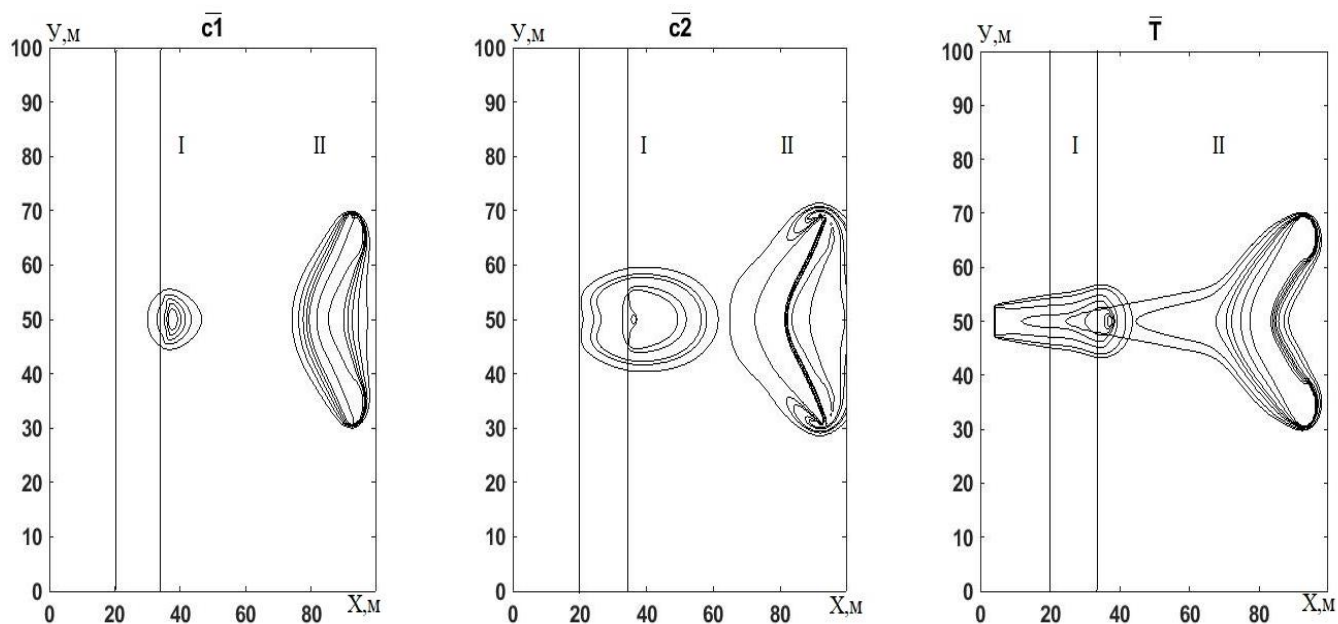
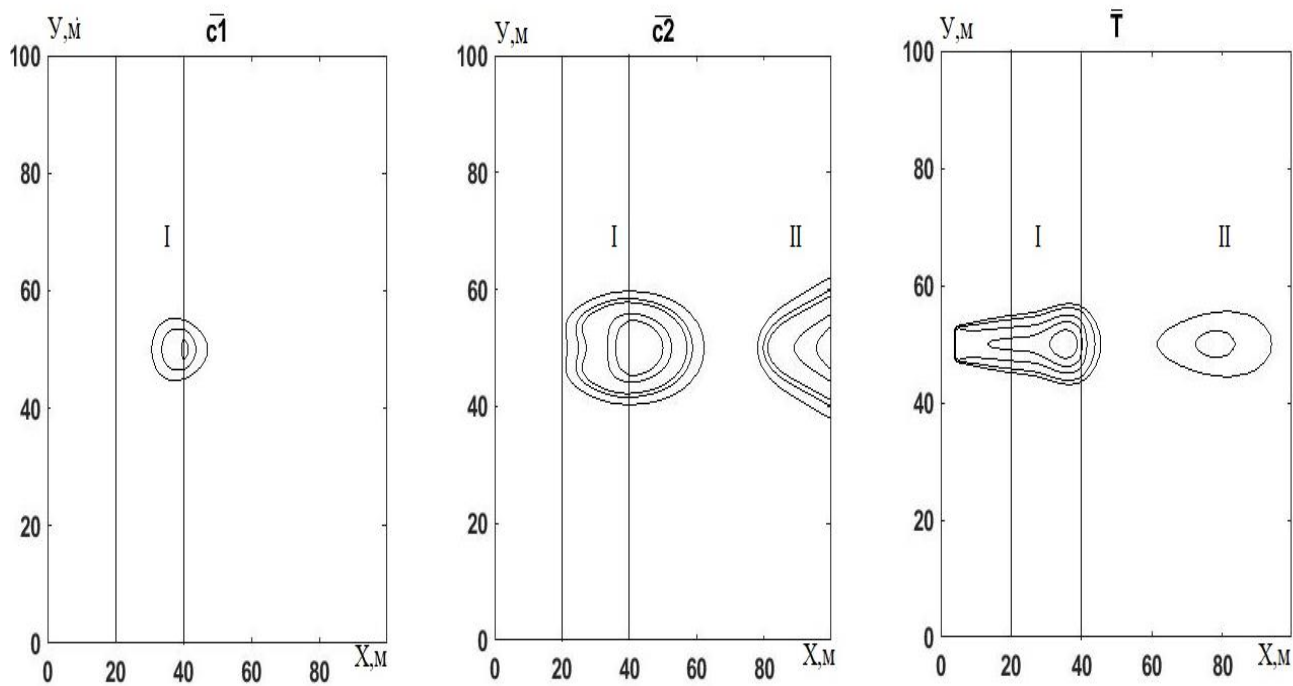


Рисунок 3.5 - Распределения изолиний газовой фазы при ширине разрыва $L=20$ м, $V_e = 10$ м/с в моменты времени t : I – 3 с, II – 7 с



**Рисунок 3.6 - Распределения изолиний газовой фазы при ширине разрыва $L=20\text{м}$,
 $V_e = 15 \text{ м/с}$ в моменты времени t : I – 3 с, II – 6 с**



**Рисунок 3.7 - Распределения изолиний газовой фазы при ширине разрыва $L=20\text{м}$,
 $V_e = 15 \text{ м/с}$ в моменты времени t : I – 3 с, II – 6 с**

В таблице 3.1 представлены результаты расчета безопасного размера противопожарного разрыва в зависимости от скорости ветра, запасы и влагосодержания ЛГМ.

Таблица 3.1 – Результаты расчетов размера противопожарного разрыва в зависимости от влагосодержания ЛГМ и скорости ветра

	Запас лесного массива, кг/м ³	Влагосодержание лесного массива		
		0.2	0.4	0.6
<i>Скорость ветра 5 м/с</i>				
<i>Размер противопожарного разрыва, м</i>	<i>0.2</i>	9	7	3
	<i>0.4</i>	16	7	3
	<i>0.6</i>	17	7	4
<i>Скорость ветра 7 м/с</i>				
<i>Размер противопожарного разрыва, м</i>	<i>0.2</i>	10	9	5
	<i>0.4</i>	20	9	5
	<i>0.6</i>	20	10	6
<i>Скорость ветра 10 м/с</i>				
<i>Размер противопожарного разрыва, м</i>	<i>0.2</i>	17	14	10
	<i>0.4</i>	23	12	8
	<i>0.6</i>	23	13	8
<i>Скорость ветра 15 м/с</i>				
<i>Размер противопожарного разрыва, м</i>	<i>0.2</i>	19	18	11
	<i>0.4</i>	27	16	11
	<i>0.6</i>	28	18	14

Расчеты проводились со следующими параметрами: запас ЛГМ в хвойном массиве 0.2 кг/м^3 , значение влагосодержания ЛГМ изменялось в диапазоне от 0,2 до 0,6, а скорость ветра увеличили от 5 до 15 м/с. На рисунке 3.8 показан результат расчета.

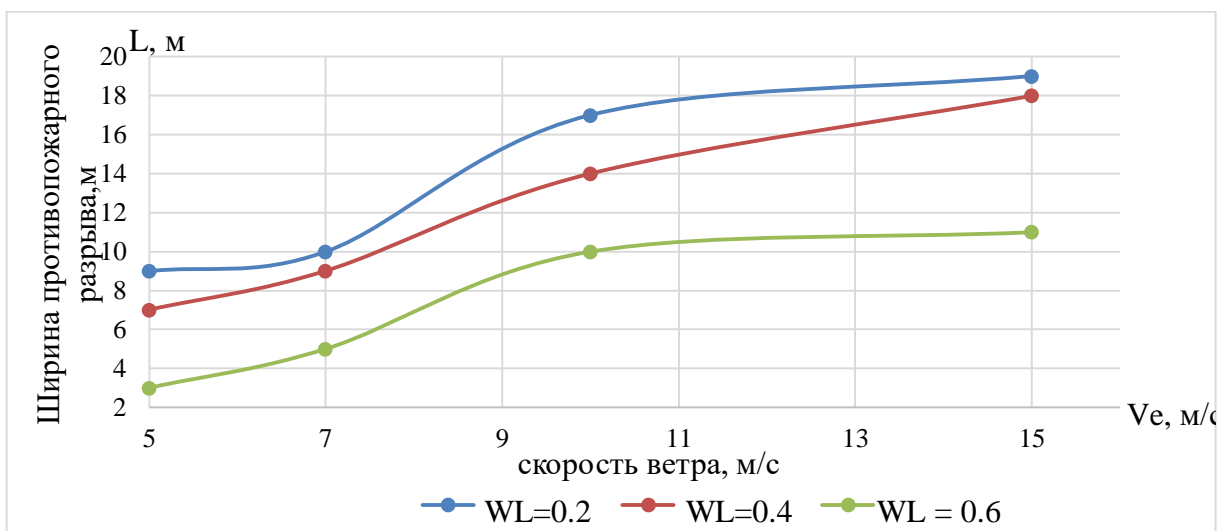


Рисунок 3.8 – График зависимость ширины разрывов от скорости ветра при различных влагосодержаниях ЛГМ

Дальше проводили расчеты со следующими параметрами: влагосодержание 0,2, значение запасы ЛГМ изменялось в диапазоне от $0,2 \text{ кг/м}^3$ до 0.6 кг/м^3 , так же скорость ветра увеличили от 5 до 15 м/с. На рисунке 3.9 показан результат расчета.

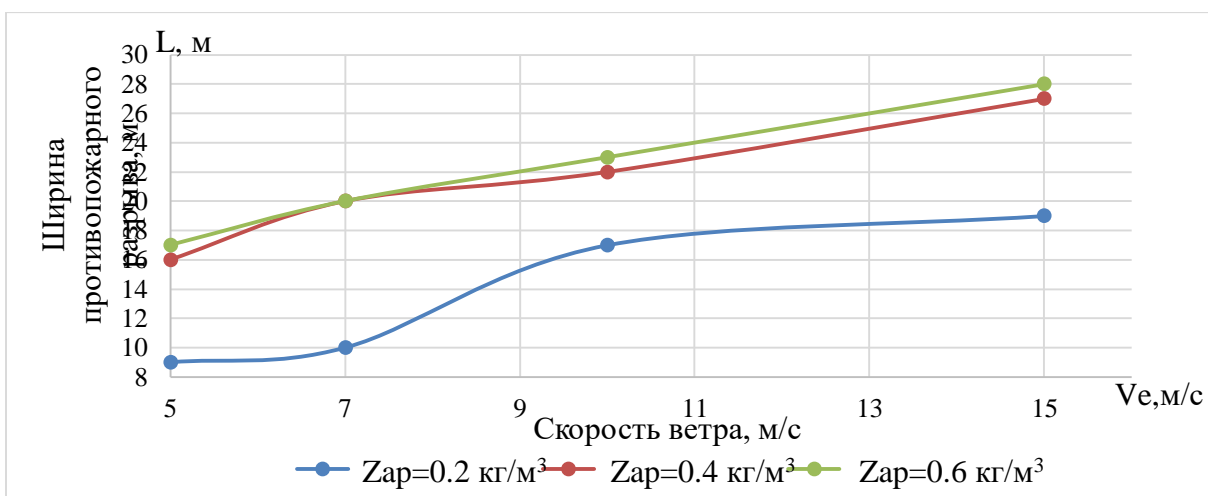


Рисунок 3.9 – График зависимость ширины разрывов от скорости ветра при различных запасах ЛГМ

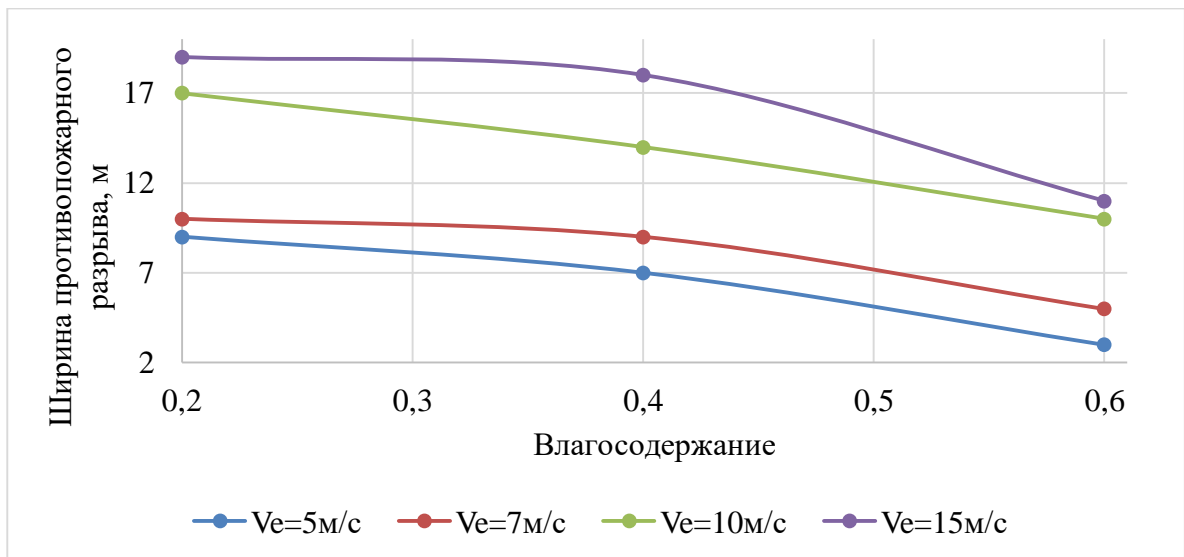


Рисунок 3.10 – График зависимость ширины разрывов от влагосодержания при различных скоростях ветра

Очевидно, что зависимость ширин противопожарного разрыва имеет вид убывающей функции. С повышением влагосодержания ЛГМ размер разрыва стремительно снижается также стремительными темпами близится ко нулю. Кроме того, согласно сведениям с таблицы 3.1 и рисунок 3.10 это следует из того, то что наиболее влажные ЛГМ хуже загораются. То есть для распространения пожара через слой увлажненной растительности необходимо больше энергии для испарения избытка воды, а снижение массовой доли кислорода (O_2), появляющееся в следствии разбавления водяным паром перед фронтом горения, содействует тушению пламени. Повышение влагосодержания также содействует сокращению глубины пламени в ЛГМ.

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Введение

Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Целью данной работы является с помощью метода математического моделирования определить размеры противопожарных разрывов при лесных пожарах и исследовать зависимость их размеров от скорости ветра и влагосодержания ЛГМ. Для проведения численных расчетов использована программа BARRIER. А BARRIER недавно разработанная программа, для расчета математических моделей. В расчетной области задается лесной массив и деревянное строение с определенными размерами, отдаленное на разные дистанции от лесного массива по правую сторону. В результате численных расчетов с помощью программ BARRIER были получены распределения температуры, скорости и концентрации ЛГМ построены графики возможного зажигания деревянной постройки с учетом различных противопожарных разрывов в программе MATLAB.

Основные задачи данного раздела:

1. Определение потенциальных потребителей результатов исследования;
2. Проведение анализа конкурентных технических решений;
3. Выполнение SWOT-анализа;
4. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
5. Планирование научно-исследовательских работ.

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Суть данной работы заключается в выработке методики тактики тушения пожара на открытом распределительном устройстве объекта энергетики. Результаты расчётов являются более точными, так как были учтены все параметры здания и лесного массива, а также и метеорологические условия, в отличие от нормативных документов. Проставление «О противопожарном режиме» включает в себя нормативы противопожарных расстояний, результаты исследования можно предложить для рассмотрения и внедрения значений в данное постановление.

Учитывая область исследований, которые направлены на обеспечение пожарной и экологической безопасности, можно выделить следующие сегменты рынка:

- научно-исследовательские институты;
- высшие учебные заведения;
- управления МЧС России;
- Департаменты лесного хозяйства;
- специалисты лесной охраны;
- проектные организации.

	Параметры программы			
	Возможность работы с исходными текстами		Тематическая библиотека активного режима	
ВУЗ				
МЧС				
НИИ				

Рисунок 4.1 – Карта сегментирования

- программа BARRIER
- программа ANSYS;
- математическая программа рассчитывающая противопожарные разрывы;

Исходя из анализа результатов проведенного сегментирования, приложение занимает более выгодное положение для потенциальных покупателей, и оставляет возможным его ориентирование и доработку на конкретного потребителя по сравнению с другими программными обеспечениями.

4.1.2. Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения, а также помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы повысить конкурентоспособность исследования.

Для оценки конкурентных способов была выбрана шкала от 1 до 5, где:

1 – наиболее слабая позиция;

5 – наиболее сильная позиция.

В таблице 4.1 представлен анализ конкурентных технических решений. Данная разработка сравнивается с альтернативными программными продуктами подобного класса: программа BARRIER и программа ANSYS.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вескритерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _{BARRIER}	Б _{ANSYS}	К _{BARRIER}	К _{ANSYS}
1	2	4	5	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	3	0,5	0,3
2. Удобно в эксплуатации	0,1	4	2	0,4	0,3
3. Выполняемые задачи	0,1	4	4	0,4	0,4
4. Визуальное представление результатов	0,1	4	3	0,4	0,3

5. Простота эксплуатации	0,1	3	3	0,3	0,3
6. Функциональные возможности (встроенные модули)	0,1	4	2	0,4	0,2
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность продукта	0,15	4	2	0,6	0,3
2. Цена	0,05	4	2	0,2	0,1
3. Уровень проникновения на рынок	0,1	4	3	0,4	0,3
4. Послепродажное обслуживание	0,1	3	3	0,3	0,3
Итого	1	–	–	3,9	2,8

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i * B_i$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i-го показателя.

Итогом анализа является то, что метод, предложенный в дипломной работе, эффективней, чем методы конкурентов. Конкурентное преимущество в том, что в программе «BARRIER»:

1. результат представлен наглядно;
2. данная программа считает все необходимые уравнения автоматически;
3. проста в использовании;
4. приемлемая цена.

4.1.3. Анализ Quad

Технология Quad представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект. По своему содержанию данный инструмент близок к методике оценки конкурентных технических решений.

В соответствии с технологией Quad каждый показатель оценивается экспертным путем по шкале от 1 до 100, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 4.2 – Оценочная карта конкурентных разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5*2)
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
1. Энергоэффективность	0,1	90	100	0,9	0,09
2. Надежность	0,2	80	100	0,8	0,16
3. Безопасность	0,1	70	100	0,7	0,07
4. Простота эксплуатации	0,05	90	100	0,9	0,045
5. Качество интеллектуального интерфейса	0,2	100	100	1	0,2
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
6. Конкурентоспособность продукта	0,2	90	100	0,9	0,18
7. Цена	0,05	70	100	0,7	0,035
8. Наличие сертификации разработки	0,1	60	100	0,6	0,06
Итого	1				0,84

Исходя из полученного средневзвешенного значения показателей качества и перспективности, можно считать, что разработка является перспективной.

4.1.4. SWOT-анализ

Для комплексной оценки научного исследования применяют SWOT-анализ, результатом которого является описание сильных и слабых сторон проекта, выявление возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Итоговая матрица SWOT-анализа представлена в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта				Слабые стороны проекта			
		C1	C2	C3	C4	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
Возможности	B1	+	+	+	+	-	-	+	-
	B2	-	+	-		+	+	-	0
	B3	+	+		-	+	+	0	-
Угрозы	У1	+	0	-	+	-	-	+	+
	У2	+	-	0	-	-	-	-	+
	У3	+	0	0	+	+	+	0	0

В таблице 4.4 представлена интерактивная матрица проекта

Таблица 4.4 – SWOT анализ

	Сильные стороны научноисследовательского проекта:	Слабые стороны научноисследовательского проекта:
	<p>C1. Более низкая стоимость, по сравнению с другими технологиями.</p> <p>C2. Высокая скорость работы;</p> <p>C3. Доступность в использовании.</p> <p>C4. Представление полученной информации наглядно (графики, формулы, таблицы).</p>	<p>Сл1. Отсутствие квалифицированного персонала;</p> <p>Сл2. Ограниченная область применения;</p> <p>Сл3. Медленный процесс вывода на рынок новой технологии.</p> <p>Сл4. Отсутствие необходимого оборудования и программного обеспечения для работы с программой.</p>
Возможности: B1. Повышение уровня локализации пожаров B2. Возможность использования в научных, образовательных и прикладных целях.	<p>- В результате низкой стоимости продукт могут позволить себе многие организации</p> <p>- Высокая скорость работы программы позволяют использовать программу как в научных, так и в</p>	<p>- Дальнейшее удешевление математической программы, рассчитывающей безопасные расстояния;</p> <p>- Ограниченная область применения программы позволяет более глубоко проработать тематику и</p>

<p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок</p> <p>В4. Возможность создания эффективного метода ликвидации пожара.</p>	<p>прикладных целях.</p> <p>- При вышеперечисленных возможностях мы добьемся наглядного исхода аварии и более быстрой ее локализации</p>	<p>выйти в лидеры на рынке программ для решения конкретной задачи</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Появление более совершенных программ</p> <p>У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У3. Неумение персонала пользоваться продуктом</p> <p>У4. Введение дополнительных государственных требований и сертификации программы.</p>	<p>- За счет появления новых программ цена на программу уменьшится;</p>	<p>- Наличие программ с одинаковым и более широким функционалом может привести к потере части потребителей</p> <p>- Необходимо усиливать преимущества и устранять недостатки.</p>

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

4.2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

В рамках данного раздела проведены альтернативные научные исследования в разделе 3 «Математическое моделирование распространения низовых и верховых лесных пожаров при наличии противопожарных разрывов» ВКР.

Таблица 4.5 - Морфологическая матрица

	1	2	3
А. Описание процесса	формулы	Таблицы	Графики
Б. Длительность расчета программой, мин	10	25	35
В. Интерфейс	русский	английский	
Г. Алгоритмы расчета	SIMPLE	SIVA	

Возможные варианты решения технической задачи:

1) А1Б1В4Г1 – В первом случае, программа производит расчет только при разных скоростях ветра. В данной программе визуализация результатов происходит посредством графиков, значения которых приведены в таблицах, длительность расчетов 25 минут, язык русский, алгоритм расчета используется SIMPLE.

2) А1Б2В1Г2 – Во втором случае, программа производит расчет также при разных скоростях ветра, запас и влагосодержанию ЛГМ. В данной программе процесс описывается графиками, длительность расчетов в данном случае 35 минут, язык интерфейса русский, алгоритм расчета SIMPLE.

4.3. Планирование научного исследования

4.3.1. Структура работ в рамках научного исследования

Комплекс предполагаемых работ включает в себя следующие задачи:

- определить структуру работ в рамках научного исследования;
- определить участников каждой работы;
- установить продолжительность работ;
- построить график проведения отдельных этапов исследования.

Для выполнения данного научного исследования необходимо сформировать рабочую группу, в состав которой входят руководитель и студент. Для каждой из запланированных работ, необходимо выбрать исполнителя этой работы. Планирование НИ – это составление календарных планов выполнения комплексов работ, определение денежных средств, необходимых для их реализации, а также трудовых и материальных

ресурсов. Перечень основных этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель, студент
	2	Выдача задания для проекта	Научный руководитель
Выбор направления исследования	3	Постановка задачи	Научный руководитель, студент
	4	Поиск и изучение материалов по теме	Студент
	5	Календарное планирование работ	Научный руководитель, студент
Теоретические исследования	6	Подбор и изучение литературы по теме	Студент
	7	Поиск нормативных документов	Студент
	8	Изучение компьютерной программы	Студент
Практические исследования	9	Моделирование распространения лесных пожаров	Студент
	10	Проведение расчетов по теме	Студент
	11	Оформление расчетов в виде графиков	Студент
Обобщение и оценка результатов	12	Анализ полученных результатов	Научный руководитель, студент
	13	Вывод	Студент

4.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ

В данной работе трудовые затраты образуют основную часть стоимости научного исследования. Поэтому немаловажным является определение трудоемкости работ каждого из участников исследования.

Несмотря на то, что трудоемкость носит стохастический характер, данную величину можно определить экспертным путем в «человеко-днях».

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости $t_{ож\ i}$ определяется по формуле:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min\ i} + 2t_{\max\ i}}{5},$$

где $t_{\min\ i}$ – минимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем (является оптимистичной оценкой: при удачном стечении обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max\ i}$ – максимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем (является пессимистичной оценкой: при неудачном стечении обстоятельств, чел.-дн.

На основании расчетов ожидаемой трудоемкости работ, необходимо определить продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p :

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i},$$

где $Ч_i$ – количество исполнителей, одновременно выполняющих поставленную задачу, чел.

По всем выполняемым работам результаты расчета продолжительности в рабочих днях представлены в таблице **Ошибка! Источник ссылки не найден..б.**

4.3.3. Разработка графика проведения НИ

Диаграмма Ганта является наиболее удобным и наглядным способом представления графика проведения работ.

Диаграмма состоит из блоков, расположенных на двух осях: по вертикали располагаются задачи, из которых состоит исследование, а время, запланированное на их выполнение, служит горизонтальной осью диаграммы Ганта. Для построения графика Ганта, следует, длительность каждой из выполняемых работ из рабочих дней перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой, для каждого исполнителя расчеты производятся индивидуально:

$$T_{ki,рук} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad T_{ki,инж} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

где $k_{\text{кал}}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{\text{кал.рук}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad k_{\text{кал.инж}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

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

Расчет трудоемкости и продолжительности работ, на примере задачи «Составление и утверждение темы ВКР»:

$$T_{\text{ож.и}} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 1,8 \text{ чел. – дн.}$$

$$T_{\text{р.и}} = \frac{1,8}{1} = 1,8 \text{ раб. дн.}$$

Расчет календарного коэффициента для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$K_{\text{кал.рук.}} = \frac{366}{366 - 66 - 14} = 1,28$$

Расчет календарной продолжительности выполнения работы, на примере задачи «Составление и утверждение темы ВКР»:

$$T_{\text{к.рук.}} = 1,8 \cdot 1,28 \approx 4 \text{ кал. дн.}$$

Расчет календарного коэффициента для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя студента):

$$K_{\text{кал.ст.}} = \frac{366}{366 - 66 - 14} = 1,28$$

Расчет календарной продолжительности выполнения работы, на примере задачи «Написание теоретической части»:

$$T_{\text{к.рук.}} = 10,2 \cdot 1,28 \approx 13 \text{ кал. дн.}$$

Все полученные значения в календарных днях округляются до целого числа, а затем сводятся в таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Временные показатели проектирования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни					
	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент
Составление и утверждение темы ВКР	1	-	3	-	1,8	-	1,8	-	3	-
Составление предварительного плана ВКР	3	3	4	4	3,4	3,4	1,7	1,7	3	3
Подбор и первоначальное ознакомление с литературой по теме ВКР	5	5	7	7	5,8	5,8	2,9	2,9	4	4
Изучение и выбор метода исследования	7	7	10	10	8,2	8,2	4,1	4,1	6	6
Написание теоретической части	-	9	-	12	-	10,2	-	10,2	-	13
Проведение расчетов по теме ВКР	-	7	-	9	-	7,8	-	7,8	-	10
Обоснование расчетов	-	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4
Построение схем по расчетам	-	3	-	4	-	3,4	-	3,4	-	5
Анализ полученных результатов	5	5	7	7	5,8	5,8	2,9	2,9	4	4
Итоговое оформление ВКР	-	14	-	20	-	16,4	-	16,4	-	21
Проверка ВКР	3	-	5	-	3,8	-	3,8	-	5	-

После произведенных расчетов, представленных в таблице **Ошибка! Источник ссылки не найден.** 7, строится диаграмма Ганта, представленная в таблице 4.8

Таблица 4.8 – Календарный план график проведения НИ

№	Вид работы	Исполнитель	Тк,дн	февраль			март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
				1	Составление и утверждение темы ВКР	Руководитель, студент	3		■						
2	Составление предварительного плана ВКР	Руководитель, студент	3		■										
3	Подбор и первоначальное ознакомление с литературой по теме ВКР	Руководитель, студент	4		■	■									
4	Изучение и выбор метода исследования	Руководитель, студент	6			■	■								
5	Написание теоретической части	Студент	13				■	■	■						
6	Проведение расчетов по теме ВКР	Студент	10					■	■	■					
7	Обоснование расчетов	Студент	4							■					
8	Построение схем по расчетам	Студент	5							■	■				
9	Анализ полученных результатов	Руководитель студент	4								■	■			
10	Итоговое оформление ВКР	Студент	21								■	■	■	■	
11	Проверка ВКР	Руководитель	5												■

■ – студент; ■ – руководитель

Таблица 4.9 – Сводная таблица по календарным дням

	Количество дней
Общее количество календарных дней для выполнения работы	78
Общее количество календарных дней, в течение которых работал студент	53
Общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель	25

В результате выполнения данного подраздела разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и студента, позволяющий

оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Также рассчитано количество дней, в течение которых работал каждый из участников исследования.

4.4. Бюджет научно-исследовательского проекта

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых затрат (расходов), необходимых для его выполнения:

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

4.4.1. Расчет материальных затрат научного исследования

При планировании бюджета исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. Поэтому необходимо учитывать материальные затраты.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}$$

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

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (в данной работе принимается равным 15 %).

Результаты расчётов по затратам на материалы приведены в таблица 4.10.

Таблица 4.10 - Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб	Затраты на материалы, руб.
Бумага (А4)	лист	120	2	240
Распечатанные материалы	лист	120	3,5	420
Интернет	М/бит	3	350	1050
Ручка	Шт.	3	50	150
Блокнот	Шт.	1	150	150
Карандаш	Шт.	1	50	50
Итого				2060

4.4.2. Расчет затрат на программное обеспечение для научных (экспериментальных) работ

Расчёт амортизации производится на находящееся в использовании оборудование. В итоговую стоимость исследования входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования в статье накладных расходов. При выполнении научного исследования использовался компьютер со встроенным программным обеспечением, необходимым для выполнения исследовательской работы. В таблице 4.11 представлены затраты на оборудование.

Таблица 4.11 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Компьютер	1	5	40	40
Итого		40 тыс. руб.			

Норма амортизации определяется по следующей формуле:

$$N_A = \frac{1}{n}, \quad \text{где } n - \text{срок полезного использования в годах.}$$

Амортизация определяется по следующей формуле:

$$A = \frac{N_A \cdot I}{12} \cdot t,$$

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

Рассчитаем норму амортизации для компьютера, с учётом того, что срок полезного использования составляет 5 лет:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{5} = 0,2$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,2 \cdot 40000}{12} \cdot 3 = 2000 \text{ руб.}$$

4.4.3. Основная заработная плата исполнительской темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата студента и руководителя, помимо этого, необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью исследования и действующей системой оклада. Основная заработная плата $Z_{\text{осн}}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле: $Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p$,

Для руководителя:

$$Z_{\text{осн}} = 3790,7 \cdot 17,2 = 65200 \text{ руб.}$$

Для студента:

$$Z_{\text{осн}} = 201,2 \cdot 52,2 = 10502,6 \text{ руб.}$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн.

Среднедневная заработная плата руководителя:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{дн}} \cdot M}{F_d} = \frac{91852,8 \cdot 10,4}{252} = 3790,7 \text{ руб.}$$

где Z_m – должностной оклад работника за месяц;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года. при отпуске в 48 раб. дней – $M=10,4$ месяца, 6-дневная рабочая неделя;

Среднедневная заработная плата студента:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{дн}} \cdot M}{F_d} = \frac{4875 \cdot 10,4}{252} = 201,2 \text{ руб.}$$

Должностной оклад работника за месяц:

Для руководителя:

$$Z_{\text{тс}} = Z_{\text{тс}} (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) k_{\text{р}} = 47104 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 91852,8 \text{ руб.}$$

Для студента:

$$Z_{\text{тс}} = Z_{\text{тс}} (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) k_{\text{р}} = 2500 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 4875 \text{ руб.}$$

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

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

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

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, принимается равным 1,3 (для г. Томска).

Таблица 4.12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней (выходные, праздничные дни)	66	66
Потери рабочего времени (отпуск невыходы по болезни)	48	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	252	252

Таблица 4.13 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	разряд	$Z_{\text{тс}}$, руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб.дн	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	ДН	47104	0,3	0,2	1,3	91852,8	3790,7	17,2	65200
Студент	–	2500	0,3	0,2	1,3	4875	201,2	52,2	10502,6
Итого									75702,6

4.4.4. Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

Для руководителя:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 65200 = 9780 \text{ руб.},$$

Для студента:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 10502,6 = 1575,4 \text{ руб.},$$

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

4.4.5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}}(З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (65200 + 9780) = 22494 \text{ руб.}$$

Для студента:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}}(З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (10502,6 + 1575,4) = 3623 \text{ руб.},$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование).

Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ):

- 22 % – на пенсионное страхование;
- 5,1 % – на медицинское страхование;
- 2,9 % – на социальное страхование.

Таблица 4.14 – Отчисления во внебюджетные фонды

	Исполнители	
	Руководитель	Студент
Основная заработная плата, руб.	65200	10502,6
Дополнительная заработная плата, руб	9780	1575,4
Коэффициент отчислений	0,30	
Итого	22494	3623

4.4.6. Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя прочие затраты, такие как: печать и ксерокопирование документов, оплата услуг связи, электроэнергии, размножение материалов и др.

Накладные расходы в целом рассчитываются по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{\text{нр}} = 117235 \cdot 0,16 \approx 18758 \text{ руб.}$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы (принимается равным 0,16).

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости по форме, приведенной в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Группировка затрат по статьям

Статьи							
Материальные затраты	Амортизация	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
2060	2000	75703	11355	26117	117235	18758	135993

4.4.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Таблица 4.16 – Расчет бюджета затрат проекта

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты	2060	Пункт 4.4.1
2. Затраты на специальное оборудование	2000	Пункт 4.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	75703	Пункт 4.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	7036	Пункт 4.4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	26117	Пункт 4.4.5
6. Накладные расходы	18758	16% от ст.1–5
Итого	135993	Сумма статей 1–6

4.5. Определение финансовой, бюджетной и экономической эффективности НИ

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научного исследования (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{BARRIER}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{135993}{135993} = 1$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{ANSYS}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{120000}{135993} = 0,88$$

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

Далее необходимо произвести оценку ресурсоэффективности исследования, определяемую посредством расчета интегрального критерия, по следующей формуле:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент исследования;

b_i – бальная оценка исследования, устанавливаемая опытным путем по выбранной шкале оценивания.

Расставляем бальные оценки и весовые коэффициенты в соответствии с приоритетом характеристик исследования, рассчитываем конечный интегральный показатель и сводим полученные результаты в таблицу 4.17.

Таблица 4.17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения исследования

Критерии оценки	Вескритерия	Баллы	
		БBARRIER	БANSYS
1	2	4	5
1. Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	3
2. Удобно в эксплуатации	0,1	4	2
3. Выполняемые задачи	0,1	4	4
4. Визуальное представление результатов	0,1	4	3
5. Простота эксплуатации	0,1	3	3
6. Функциональные возможности (встроенные модули)	0,1	4	2
1. Конкурентоспособность продукта	0,15	4	2
2. Цена	0,05	4	2

3. Уровень проникновения на рынок	0,1	4	3
4. Послепродажное обслуживание	0,1	3	3
Итого	1	–	–

$$I_p(\text{BARRIAR}) = 3,9; \quad I_p(\text{ANSYS}) = 2,8$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп.}i} = \frac{I_{\text{р-исп.}i}}{I_{\text{исп.1}}^{\text{финр}}}$$

$$I_{\text{BARRIER}} = \frac{3,9}{1} = 3,9;$$

$$I_{\text{ANSYS}} = \frac{2,8}{0,88} = 3,18$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность исследования. Сравнительная эффективность исследования ($\mathcal{E}_{\text{ср}}$):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{BARRIER}}}{I_{\text{ANSYS}}} = \frac{3,9}{3,18} = 1,23;$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{ANSYS}}}{I_{\text{BARRIER}}} = \frac{3,18}{3,9} = 0,82$$

Таблица 4.18 – Сводная таблица показателей оценки ресурсоэффективности

№ п/п	Показатели	BARRIAR	ANSYS
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,88
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,9	2,8
3	Интегральный показатель эффективности	3,9	3,18
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,23	0,82

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что наиболее эффективным является первый вариант решения в поставленной бакалаврской работе задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Основной целью раздела является рассмотрение оптимальных норм для улучшения условий труда, обеспечения промышленной безопасности людей, повышения их производительности, поддержания работоспособности в процессе деятельности, а также охраны окружающей среды.

Работа представляет собой сбор информации, её обработка, проведение расчётов и применение математического моделирования. Также разработка рекомендаций на основе полученных данных.

Математическое моделирование воздействия лесного пожара – это работа связана, в основном, с работой за персональным компьютером (ПК). Математическое моделирование с помощью программного обеспечения MATLAB осуществлялось в аудитории № 342 18-го корпуса ТПУ.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.

Право работников на труд в безопасных условиях, отвечающих требованиям охраны труда, закреплено в статье 219 Трудового кодекса Российской Федерации [30]. Каждый работник имеет право:

- на рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- иметь застрахованным в системе обязательного социального страхования от несчастных случаев;
- получать достоверную информацию от работодателя об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- отказаться от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- получить средства индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- направить запрос о проведении проверки условий и охраны труда на его рабочем месте;
- лично или через своих представителей участвовать в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания;
- на внеочередной медицинский осмотр за счет работодателя в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра (обследования).

2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Рабочее место – это зона, оснащенная необходимыми техническими средствами, в которой совершается деятельность. Главная цель организации рабочего места – обеспечить высококачественное и эффективное выполнение работ с соблюдением установленных сроков и при полноценном использовании закрепленного за работником оборудования. Для ее достижения к рабочему месту предъявляются требования организационного, технического, эргономического, санитарного, гигиенического и экономического характера [31].

При планировании рабочего места должны учитываться следующее:

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. 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. 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. Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики;

3. Конструкция рабочего стула 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. Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ;

4. Рабочий стул 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;

5. Стул не может располагаться непосредственно на границе площади рабочего места. Рекомендуемое расстояние от спинки стула до границы должно быть не менее 300 мм [31].

5.2 Производственная безопасность

ПЭВМ, безусловно, увеличивает производительность человека при выполнении работ, но может оказывать вредное воздействие на организм работающего за ПК.

Опасные и вредные факторы, которые постоянно или периодически действуют на человека за работой на ПК [32], представлены в таблице 5.1

Таблица 5.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96 «Санитарные правила и нормы. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» Параметры шума устанавливаются СанПиН –2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы»
2. Превышение уровня шума	-	+	+	
3.Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	
4.Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	
5.Повышенное значение напряжения в электрической	-	+	+	

цепи, замыкание которой может произойти через тело человека				Р 2.2.2006–05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.
6. Напряженность, монотонность трудового процесса	+	+	+	

5.2.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по снижению уровней их воздействия

1. На человека в зале с ПК воздействует шум. Основными источниками шума в рабочих помещениях, оснащенных компьютерной техникой являются принтеры, МФУ и кондиционеры, а в самих компьютерах – вентиляторы охлаждения и трансформаторы блока питания. Печатающее оборудование, являющееся источником шума, следует устанавливать на звукопоглощающей поверхности автономного рабочего места пользователя. Если уровни шума от печатающего оборудования превышают нормируемые, оно должно быть расположено вне помещения с ПК. При выполнении основной работы на мониторах и ПЭВМ, где работают инженерно-технические работники, уровень шума не должен превышать 60 дБА, в помещениях операторов ЭВМ (без дисплеев) –65 дБА, на рабочих местах в помещениях, где размещаются шумные агрегаты вычислительных машин –75 дБА [33]. Длительное воздействие шума, уровень которого превышает допустимые значения, может привести к заболеванию человека шумовой болезнью – нейросенсорная тугоухость. На основании всего выше сказанного шум следует считать причиной потери слуха, некоторых нервных заболеваний, снижения продуктивности в работе и некоторых случаях потери жизни.

Меры защиты от шума:

- а) подбор рабочего оборудования, обладающего меньшими шумовыми характеристиками;

б) информирование и обучение работающего таким режимам работы с оборудованием, которое обеспечивает минимальные уровни генерируемого шума;

в) ограничение продолжительности и интенсивности воздействия до уровней приемлемого риска; г) проведение производственного контроля виброакустических факторов; д) ежегодное проведение медицинских осмотров для лиц, подвергающихся шуму выше 80 дБ [34].

2. На рабочем месте пользователей должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата. На работах, производимых сидя и не требующих физического напряжения, температура воздуха должна быть в теплый период года 22–25°C, в холодный период года 21–24°C, относительная влажность воздуха 40–60%, скорость движения воздуха 0,1–0,2 м/с[35].

Таблица 5.2 – Допустимые значения микроклимата в рабочей зоне

Период года	Категория работ	Температура, °С				Относительная влажность, %	Скорость движения, м/с
		Верхняя граница		Нижняя граница			
		На рабочих местах					
		постоянных	непостоянных	постоянных	непостоянных		
Холодный	Легкая Ia	25	26	21	18	75	не более 0,1
	Легкая Ib	24	25	20	17	75	не более 0,2
Теплый	Легкая Ia	28	30	22	20	55 (при 28°C)	0,1-0,2
Теплый	Легкая Ib	28	30	21	19	60 (при 27 °C)	0,1-0,3

Интенсивность теплового излучения от нагретых поверхностей, осветительных приборов не должна превышать 35 Вт/м². Чистота воздушной среды достигается удалением загрязненного, нагретого или ионизированного воздуха из рабочего помещения с подачей свежего воздуха. Для поддержания нормального микроклимата необходим достаточный объем вентиляции, для чего в помещениях с работающими компьютерами предусматривается

кондиционирование воздуха, осуществляющее поддержание постоянных параметров микроклимата независимо от внешних условий. 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. Для повышения влажности воздуха в помещениях следует применять увлажнители воздуха [36].

3. Создание оптимальной световой среды занимает важное место в комплексе мероприятий по охране труда и оздоровлению условий труда при работе с ЭВМ и компьютерной техникой. Помещения, оснащенные ЭВМ и компьютерной техникой должны иметь как естественное, так и искусственное освещение. В таких помещениях используется естественное боковое одностороннее освещение в дневное время, в вечернее время используется искусственное общее равномерное освещение. Нормированный уровень освещенности для работы с компьютерами составляет 400 Лк, а КЕО=4% [37].

Недостаточное освещение влияет на функционирование зрительного аппарата, то есть определяет зрительную работоспособность, на психику человека, его эмоциональное состояние, вызывает усталость центральной нервной системы, возникающей в результате прилагаемых усилий для опознания четких или сомнительных сигналов.

В рабочих помещениях должны предусматриваться меры для ограничения слепящего воздействия световых проемов, имеющих высокую яркость, а так же прямых солнечных лучей. В случае, когда экран компьютера обращен к оконному проему, предусматриваются специальные экранирующие устройства, окна рекомендуется снабжать светорассеивающими шторами, жалюзи или солнцезащитной пленкой с металлическим покрытием. В случаях, когда одного вида освещения недостаточно, устраивают совместное освещение.

4. Дополнительное искусственное освещение создает хорошую видимость информации на экране монитора, текста на бумаге и других

материалов для работы. При этом в поле зрения работающих обеспечиваются оптимальные яркости окружающих поверхностей, исключена или предельно ограничена отраженная блеклость от экрана в результате отражения светового потока от источников света и светильников. При периметральном расположении компьютеров светильники располагаются локализовано над рабочим местом ближе к переднему краю, обращенному к пользователю. В качестве источников искусственного освещения используются люминесцентные лампы дневного света мощностью 65-80 Вт, коэффициент пульсации не должен превышать 5%. Существуют специальные люминесцентные лампы, имитирующие полный спектр естественного солнечного света. Нельзя применять светильники без рассеивателей и экранирующих решеток [37].

5. Рабочее помещение, оснащенное компьютерной техникой, относится к помещениям с повышенной опасностью. В таких помещениях обязательным является: защитное заземление; изоляция, ограждение и обеспечение недоступности токоведущих частей; применение малого напряжения и двойной изоляции.

ГОСТ 12.1.038-82 устанавливает предельно допустимые напряжения и токи, протекающие через тело человека при нормальном режиме работы электроустановок производственного и бытового назначения постоянного и переменного тока частотой 50 и 400 Гц. Для переменного тока 50 Гц допустимое значение напряжения прикосновения составляет 2 В, а силы тока – 0,3 мА, для тока частотой 400 Гц – соответственно 2 В и 0,4 мА; для постоянного тока – 8 В и 1,0 мА (эти данные приведены для продолжительности воздействия не более 10 мин в сутки). На рабочем месте пользователя находятся системный блок, клавиатура и монитор. При включении монитора на электронно-лучевой трубке формируется большое напряжение в несколько киловольт. Поэтому 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 [38].

6. Особенностью работы на ПК является постоянное и значительное напряжение функций зрительного анализатора, обусловленное необходимостью различения объектов в условиях: строчной структуры экрана, мелькания изображений, недостаточной освещенности поля экрана, недостаточной контрастности объектов различения и необходимости постоянной преадаптации зрительного аппарата к различным уровням освещенности экрана, оригинала, клавиатуры. Повышенные статические и динамические нагрузки у пользователей ПК приводят к жалобам на боли в спине, шейном отделе позвоночника и руках. А также обуславливается монотонностью, т.к. мы выполняем однообразные рабочие действия и их многократное повторение. Для обеспечения оптимальной работоспособности и сохранения здоровья профессиональных пользователей на протяжении рабочей смены должны устанавливаться регламентированные перерывы. СанПиН рекомендует руководителям организаций, трудовая деятельность которых связана с использованием персональных компьютеров, производить чередование трудовой деятельности сотрудников с работой за компьютером и без него. Если все же специфика трудовой деятельности не допускает таких чередований, ответственным лицам по охране труда следует – осуществить организацию перерывов в трудовой деятельности продолжительностью от 10 до 15 минут; – проводить такие перерывы через каждый час работы. Данные перерывы в работе должны включаться в общее время трудовой деятельности, а также увеличиваться на 30 %, если сотрудник работает за компьютером в ночное время суток. Совокупная продолжительность перерывов: при рабочем дне продолжительностью 8 часов –от 50 минут до 1,5 часа; при 12-часовом –от 80 до 140 минут[39]. Санитарные правила рекомендуют устраивать для сотрудников «физкультурные» минутки с

целью снижения их психофизического напряжения и недопущения гиподинамии и гипокинезии.

5.3 Экологическая безопасность

Работы за ПЭВМ, к которым относится математическое моделирование, напрямую не влияют на окружающую среду. Однако отслужившая электроника, батареи при неправильной утилизации являются опасными и требуют особого подхода. Каждый компьютер содержит более 30 компонентов, многие из них высокотоксичные. Их демонтаж относится к производству по переработке вторичного сырья, которое сейчас активно развивается. Однако объемы компьютерных компонентов, требующих утилизации, растут быстрее мощностей по их переработке. Деление отходов на отдельные классы опасности для окружающей природной среды установлено Порядком ведения государственного кадастра отходов, утвержденным приказом Министерства природных ресурсов РФ от 30 сентября 2011 г. №792 [39]. Наименее опасными считаются так называемые практически неопасные отходы. Кроме них существуют только более опасные: малоопасные, умеренно опасные, высокоопасные и чрезвычайно опасные.

К опасным ТБО относятся: попавшие в отходы батарейки и аккумуляторы, электроприборы, лаки, краски и косметика, удобрения, ядохимикаты, бытовая химия, медицинские отходы, ртутьсодержащие термометры, барометры, тонометры и лампы.

Пользователь ПК, выбрасывает отслужившие детали компьютера на свалку. Компоненты компьютера после попадания в почву начинают гнить, при этом выделяют ядовитые газы, которые усугубляют общий объем загрязнения окружающей среды, поэтому компьютеры надо утилизировать. Для этого требуется помощь специализированных компаний, которые все сделают правильно, поэтапно, согласно требованию законодательства.

Утилизация ПЭВМ проходит в несколько этапов:

1. Ручное удаление всех опасных компонентов. В современных настольных ПК и принтерах таких компонентов практически нет.

2. Затем удаляются все крупные пластиковые части. В большинстве случаев эта операция также осуществляется вручную. Пластик сортируется в зависимости от типа и измельчается для того, чтобы в дальнейшем его можно было использовать повторно. Оставшиеся после разборки части отправляют в большой измельчитель – шредер, и все дальнейшие операции автоматизированы.

3. Измельченные в гранулы остатки компьютеров подвергаются сортировке. Сначала с помощью магнитов извлекаются все железные части. Затем приступают к выделению цветных металлов, которых в ПК значительно больше. Алюминий добывают из лома посредством электролиза. В сухом остатке получается смесь пластика и меди. Медь выделяют способом флотации – гранулы помещают в специальную жидкость, пластик всплывает, а медь остается на дне.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией в помещениях, где находится рабочее место оператора с ПК, является пожар. Персональные компьютеры являются наиболее защищенными от возгорания устройствами: им не страшны перепады в сети и внезапные отключения электроэнергии. Однако при нарушении определенных правил использования, даже они могут вспыхнуть пламенем и нанести колоссальный ущерб имуществу и здоровью людей.

Пожарная безопасность – состояние объекта, при котором исключается возможность пожара, а в случае его возникновения предотвращается воздействие на людей опасных его факторов и обеспечивается защита материальных ценностей.

Противопожарная защита – это комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности

людей, предотвращение пожара, ограничение его распространения, а также на создание условий для успешного тушения пожара.

В России в соответствии с ГОСТ 12.1.004-91 [40] пожарная безопасность обеспечивается:

1. системами предотвращения пожара (они должны исключать возникновение пожара, обеспечивать ПБ объекта и безопасность материальных ценностей);

2. системами противопожарной защиты и организации техническими мероприятиями (эти системы должны иметь уровень обеспечения ПБ не менее 0,99999);

Во всех служебных зданиях обязательно должен быть «План эвакуации людей при пожаре», регламентирующий действия персонала в случае возникновения пожара и указывающий месторасположения пожарной техники.

При обнаружении возгорания действовать необходимо быстро, используя все доступные способы для тушения огня. Если потушить огонь в кратчайшее время невозможно, вызовите пожарную охрану. При эвакуации горящие помещения и задымленные места проходить следует быстро, задержав дыхание, защитив нос и рот влажной плотной тканью. В сильно задымленном помещении передвигаться следует ползком или пригнувшись [41].



Рисунок 5.1 – План эвакуации людей на случай пожара.

В корпусе № 18 ТПУ имеется пожарная автоматика, сигнализация. В случае возникновения загорания необходимо обесточить электрооборудование, отключить систему вентиляции, принять меры тушения (на начальной стадии) и обеспечить срочную эвакуацию студентов и сотрудников в соответствии с планом эвакуации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дипломной работе была разработана математическая модель распространения лесного пожара при наличии противопожарных разрывов и исследованы зависимости их размеров от скорости ветра, запаса и влагосодержания ЛГМ. В ходе работы были решены следующие задачи:

1. Разработана физическая и математическая постановка задачи о возникновении и распространении лесных пожаров при наличии противопожарных разрывов.
2. Применен метод контрольного объема для получения дискретного аналога.
3. Выполнено математическое моделирование процесса.
4. Определены минимальные размеры противопожарных разрывов.
5. Изучены влияния запаса, влагосодержания ЛГМ и скорости ветра на размеры противопожарных разрывов.

На основании математической модели были созданы программы в ПО BARRIER и MATLAB, при помощи которых проведено моделирование процессов распространения лесных пожаров. В следствии расчетов получены поля распределения температуры, скорости, концентраций кислорода и продуктов пиролиза. В результате численных расчетов получено, что с увеличением влагосодержания ЛГМ уменьшаются размеры противопожарных разрывов. А с увеличением скорости ветра необходимо увеличивать размеры противопожарных разрывов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. SPATIOTEMPORAL DYNAMICS OF FOREST AND STEPPE FIRES IN MONGOLIA (2004–2016) V. Batsaihan, Ts. Z. Dorzhiev, Bao Yuhai, O. Uuganjargal. (Дата обращения 5.03.2020).
2. Статистика лесных пожаров [Электронный ресурс] / URL: <http://vawilon.ru/statistika-lesnyh-pozharov/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. Дата обращения: 08.03.2020 г.
3. Морозов Г.Ф. Лес и наука о лесе//Лесоведение. -Тюмень: Изд. ТГУ, 1998. –Вып. 6
4. Ходаков В.Е. Лесные пожары: методы исследования / В.Е.Ходаков, М.В.Жарикова. – Херсон : Гринь Д.С., 2011. —470 с.
5. Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Лесные пожары в Российской Федерации (состояние и последствия) // Технологии гражданской безопасности. – 2006. – №630(9). – С. 12-21.
6. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров / А.М.Гришин. – Томск: Изд-во Томского университета, 1981. –277 с.
7. "Лесной Дозор" - эффективная система раннего обнаружения лесных пожаров [Электронный ресурс] : офиц. сайт. Нижний Новгород, 2011–2017. URL: <http://lesdozor.ru/ru/problemy-obnaruzheniya-lesnyhpozharov/analitika/qlesnoj-dozorq-effektivnaya-sistema-rannego-obnaruzheniyalesnykh-pozharov> (Дата обращения 02.04.2020)
8. Григорец, Е. А. Сравнительный анализ видов и методов мониторинга лесных пожаров на территории России / Е. А. Григорец. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2015. — № 8 (88). — С. 379-381. — URL: <https://moluch.ru/archive/88/17160/> (дата обращения: 01.06.2020).

9. Сводная статистика лесных пожаров [Электронный ресурс] / URL: <http://wiki-fire.org/Сводная-статистика-лесных-пожаров-в-РФ.ashx>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. Дата обращения: 21.03.2020 г.
10. [Электронный ресурс] // URL: <https://www.zasag.mn/news/view/9464>
11. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. -Новосибирск: Наука, 1997-. 408 с
12. Перминов В. А. Математическое моделирование возникновения верховых и массовых лесных пожаров // Вестник Томского Государственного Университета – 2010. – 39 с.
13. Гришин А.М., Зятнин В.И., Перминов В.А. Экспериментальное исследование перехода низового лесного пожара в верховой // ВИНТИ – 1991. – № 982-91 – С.22.
14. Rossi JL, Simeoni A Moretti B, Leroy-Cancellieri. An analytical model based on radiative heating for the determination of safety distances for wildland fires //Fire Safety Journal –2011.
15. B. Porterie, J. C. Loraud and M. Larini, D. Morvan. Firespread through fuel beds: Modeling of wind-aided firesand induced hydrodynamics// – 2000 – Available at: <file:///G:/morvan2/0a85e53b6b8d2999fb000000.pdf> (Дата обращения 27.03.2020).
16. Патанкар С.В. Численные метода решения задач теплообмена и динамики жидкости. -М.: Энергоатомиздат, 1984. -124с.
17. Fons, W.L. Analysis of fire spread in light forest fuels / W.L. Fons // Journal of Agric. Res. –1946. –Vol. 72, N 3. –P. 93–121.
18. Byram, G.M. The modeling of fire whirlwinds /G.M. Byram, R.E. Martin // Forest Science. - 1970. - Vol. 16. N 4. - P. 586-398.

19. Нестеров, В.Г. Горимость леса и методы ее определения / В.Г. Нестеров. –Л.: Гослесбумиздат, 1949. –74 с.
20. Гришин А.М. О Влиянии негативных экологических последствий лесных пожаров / А.М. Гришин // Экологические системы и приборы. 2003. № 4. С.40-43.
21. Доррер, Г.А. Динамика лесных пожаров/ Г.А. Доррер; Ин-т вычислительного моделирования СО РАН, М-во образования и науки РФ, Федеральное агентство по образованию, Сиб. гос. Технологический ун-т - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. - 404 с.
22. Конев, Э.В. Физические основы горения растительных материалов / Э.В. Конев. –Новосибирск: Наука, 1977. –239 с.
23. Кисляхов Е. К. Влияние влагосодержания лесных горючих материалов на предел пламенного горения/Е. К. Кисляхов // Исследование компонентов лесных биогеоценозов Сибири, Красноярск, 1976. т.С. 145 –147
24. Коровин Г.Н. Методика расчета некоторых параметров низовых лесных пожаров / Сборник научных трудов Л.: ЛенНИИЛХ, 1969. В. XII. -С. 244 – 262.
25. Perminov V.A., Loboda E.L., Reino V.V. Mathematical modeling of surface forest fires transition into crown forest fires. Proceedings of SPIE –The International Society for Optical Engineering. 2014. Vol. 9292.
26. Perminov, V.A. Mathematical modelling of wildland fires initiation and spread using a coupled atmosphere-forest fire setting. // Chemical Engineering Transactions. 2018. Vol. 70. P. 1747-1752.
27. Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А.Гаврикова,

Л.Р.Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. –36 с

28. О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования. от 24.07.2009 N 212-ФЗ, статья 58, часть 1

29. Производственный календарь на 2020 год [Электронный ресурс]
// URL: https://nalog-nalog.ru/proizvodstvennyj_kalendar/2020-6/

30. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ
// Собрание законодательства РФ. –2002. – № 1 (ч. 1). – ст. 219

31. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
– М.: Минздрав России, 2003. – 32 с

32. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Госстандарт, 2017. – 18с

33. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Госстандарт СССР,1989. – 78 с.

34. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
– М.: Минздрав России, 2003. – 32 с.

35. Белокопытов В.Н. Безопасность работы с ПЭВМ и копировально-множительной техникой – Смоленск, 2007. – 155 с

36. СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. – М.: Минздрав России, 2016. – 103с.

37. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. – М.: Минздрав России, 2003. – 37 с

38. ГОСТ 12.1.038–82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. – М.: Стандартиформ, 2001. – 5 с.

39. Приказ Министерства природных ресурсов РФ. Об утверждении Порядка введения государственного кадастра отходов от 30 сентября 2011 г. №792. – М.: Минприроды России, 2011. – 10 с.

40. ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: Минздрав России, 1991. – 126с.

41. ГОСТ Р 22.0.01-2016. Безопасность в ЧС. Основные положения. – М.: Технический комитет по стандартизации, 2017. – 6 с.