

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

---

Институт неразрушающего контроля  
Направление подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность»  
Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Математическое моделирование воздействия лесных пожаров на здания и сооружения</b> УДК 614.841.45:630*431-047.37

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Е31	Родченкова Анастасия Сергеевна		

Руководитель

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Шулинина Юлия Игоревна	-		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов Игорь Иванович	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭБЖ ИНК ТПУ	Романенко Сергей Владимирович	д.х.н.		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ПРОГРАММЕ

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>Профессиональные компетенции</b>	
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.
P2	Демонстрировать понимание сущности и значения информационных технологий в развитии современного общества и для ведения практической инновационной инженерной деятельности в области техносферной безопасности
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
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.
<b>Универсальные компетенции</b>	
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.
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
P7	Уметь организовать деятельность по обеспечению техносферной безопасности на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателя, в том числе при реализации инновационных междисциплинарных проектов
P8	Уметь оценивать механизм, характер и риск воздействия техносферных опасностей на человека и природную среду
P9	Применять методы и средства мониторинга техносферных опасностей с составлением прогноза возможного развития ситуации

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

---

Институт неразрушающего контроля  
Направление подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность»  
Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой  
\_\_\_\_\_ С.В. Романенко  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы
---------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
1Е31	Родченковой Анастасии Сергеевны

Тема работы:

Математическое моделирование воздействия лесных пожаров на здания и сооружения	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Объектом исследования в данной работе были лесные пожары. Исходные данные для численных расчетов задавались в редакторе ввода MATLAB. Предметом исследования являлось математическое моделирование воздействия лесных пожаров на здания и сооружения.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1) Обзор существующих теоретических и экспериментальных методов изучения лесных пожаров</li><li>2) Выбор метода математического моделирования</li><li>3) Применение метода контрольного объема для получения дискретного аналога</li><li>4) Разработка математической постановки задачи о возникновении и распространении лесного пожара</li><li>5) Задание исходных данных и параметров.</li><li>6). Разработка численной методики решения задачи.</li><li>7) Численное решение задачи о воздействии лесного пожара на здания и сооружения</li><li>9) Анализ результатов решения задачи и анализ воздействия лесного пожара на здания и сооружения</li></ol>
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)	

<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
<b>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b>	<b>Шулинина Юлия Игоревна</b>
<b>Социальная ответственность</b>	<b>Романцов Игорь Иванович</b>

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

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1Е31	Родченкова Анастасия Сергеевна		

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

Институт неразрушающего контроля  
 Направление подготовки (специальность) 20.03.01 «Техносферная безопасность»  
 Уровень образования бакалавриат  
 Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности  
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2016/2017 учебного года)

Форма представления работы:

бакалаврская работа
---------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
1.03.17	Сбор материалов и изучение воздействия лесных пожаров на здания и сооружения	10
23.04.17	Разработка математической модели воздействия лесных пожаров на здания и сооружения	30
9.05.17	Расчет безопасных расстояний от лесного массива до зданий и сооружений при различных метеорологических условиях	30
22.05.17	Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение». Произвести оценку коммерческого потенциала для предложенной математической модели воздействия лесных пожаров на здания и сооружения	15
7.06.17	Раздел «Социальная ответственность». Рассмотреть опасные и вредные производственные факторы, способы защиты работающего персонала	15

Составил преподаватель:

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

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭБЖ ИНК ТПУ	Романенко Сергей Владимирович	д.х.н.		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1Е31	Родченкова Анастасия Сергеевна

<b>Институт</b>	<b>ИНК</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ЭБЖ</b>
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	20.03.01 Техносферная безопасность

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклад руководителя - 36800 руб. Оклад инженера - 17000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Дополнительной заработной платы 12%; Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 30%.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	-Анализ конкурентных технических решений
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Гантта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; - заработная плата (основная и дополнительная); - накладные расходы.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	- Определение эффективности исследования

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Оценочная карта конкурентных технических решений
2. График Гантта
3. Расчет бюджета затрат НИ

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Шулинина Ю.И.	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Е31	Родченкова Анастасия Сергеевна		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1Е31	Родченкова Анастасия Сергеевна

Институт	ИНК	Кафедра	ЭБЖ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	20.03.01 «Техносферная безопасность»

### 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 лесных пожаров на здания и сооружения постоянно находится в кабинете за компьютером. Рабочая поза, постоянно сидя в офисном кресле.
--	--

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<b>1. Производственная безопасность</b>	1.1 Воздействие на инженера по моделированию вредных факторов, таких как неблагоприятный микроклимат, недостаточная освещенность рабочей зоны, повышенный уровень шума на рабочем месте, повышенная напряженность электрического и магнитного полей
1.1 Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	1.2 Воздействие на инженера по моделированию вредных факторов пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения), электробезопасность (в т.ч. статическое электричество);
1.2 Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	
<b>2. Экологическая безопасность:</b>	Воздействие на окружающую среду от выбросов в атмосферу углекислого газа и образование тепла при пожаре, загрязнение почвы при утилизации старого ПК.
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Основная опасность от пожаров, наводнений, землетрясений.
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</b>	Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

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

### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов Игорь Иванович	к.т.н.		

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Е31	Родченкова А.С.		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 80 страниц, 10 рисунков, 14 таблиц, 38 источников.

Ключевые слова: МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЛЕСНОЙ МАССИВ, ВОЗДЕЙСТВИЕ, ЛЕСНОЙ ПОЖАР, ЗДАНИЕ, СООРУЖЕНИЯ, ЛЕС.

Объектом исследования является лесные пожары. Исходные данные для численных расчетов задавались в редакторе ввода MATLAB.

Цель работы – определение безопасных расстояний, от очага горения леса до зданий и сооружений, стоящих вблизи лесных массивов.

В процессе исследования создавалась двухмерная математическая модель воздействия лесных пожаров на здания и сооружения, разрабатывалась вычислительная методика для проведения численных экспериментов в рамках построенной модели, проводились численные расчеты для исследования влияния лесных пожаров на здания и сооружения, по которым были построены зависимости.

В результате исследования были определены безопасные расстояния от очага горения лесного массива до постройки.

Экономическая эффективность/значимость работы: данная работа позволит более точно определить безопасные расстояния от лесного пожара до зданий и сооружений.

В будущем планируется создание интерфейса для более удобного использования и быстрого расчета.

## **Сокращения и обозначения**

ЛГМ – лесные горючие материалы

ВЛП – верховой лесной пожар

НЛП – низовой лесной пожар

ЭВМ – электронно-вычислительная машина

ПО – программное обеспечение

КО – контрольный объём

## Оглавление

1 Обзор литературы по изучению лесных пожаров .....	16
1.1 Основные определения и понятия.....	16
1.2 Экспериментальные исследования возникновения и развития лесных пожаров .....	24
1.3 Математические модели воздействия лесных пожаров на объекты .....	28
2 Математическое моделирование воздействия лесных пожаров на здания и сооружения.....	35
2.1 Объект и методы исследования.....	35
2.2 Физическая постановка задачи .....	36
2.3 Математическая постановка задачи.....	38
2.4 Результаты расчетов и их анализ.....	42
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	49
3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	49
3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	49
3.1.2 Анализ конкурентных технических решений .....	50
3.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	51
3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	51
3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....	52
3.2.3 Разработка графика проведения научного исследования. ....	53
3.2.4 Расчет материальных затрат НИИ .....	57
3.2.5 Основная заработная плата исполнителей темы .....	58
3.2.6 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	59

3.2.7 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	60
3.2.8 Накладные расходы.....	61
3.2.9 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	61
3.3 Оценка эффективности исследования .....	61
4 Социальная ответственность .....	63
4.1 Введение в раздел социальная ответственность.....	63
4.2 Техногенная безопасность .....	63
4.2.1 Микроклимат помещения.....	64
4.2.2 Освещенность рабочего места .....	65
4.2.3 Производственный шум .....	66
4.2.4 Воздействие электромагнитного поля .....	67
4.2.5 Ионизирующее излучение.....	68
4.2.6 Электробезопасность на рабочем месте .....	69
4.3 Региональная безопасность.....	70
4.4 Организационные мероприятия обеспечения безопасности .....	70
4.5 Особенности законодательного регулирования проектных решений.....	72
4.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	73
Заключение .....	76
Список используемых источников.....	77

## Введение

С давних лет лесные пожары приносили огромный экологический и экономический ущерб людям и окружающей среде. Лесные пожары уничтожают большое количество древесины, а как известно возобновление этих ресурсов занимает много времени. Так же страдает флора и фауна, в опасности ближайшие постройки и жизни людей. Поэтому необходимо увеличивать пожароустойчивость лесов, а при возникновении пожара, как можно быстрее реагировать на него и устранять, не давая захватить огромные площади.

По статистике за 2015 год на территории Российской Федерации зарегистрировано 146209 пожаров. Количество пожаров по сравнению к 2014 году снизилось на 4,4%. Материальный ущерб полученный от пожаров составил 22870367 тыс. руб. (повышение на 22,1%); на пожарах за год погибло 9419 человека (снижение на 8,1%), а пострадало 10977 человека (снижение всего на 1%); огнем уничтожено 41369 строений (снижение на 0,4%), 8 морских и речных судов (снижение на 52,9%), 2 воздушных суда (снижение на 33,3%), 8 железнодорожных составов (снижение на 33,3%), 7681 единиц техники (снижение на 8,2%); повреждено 92574 строений (увеличение на 0,5%), 68 морских и речных судов (снижение на 72,5%), 2 воздушных суда (значение не изменилось), 86 железнодорожных составов (снижение на 29,5%), 20687 единиц техники (снижение на 9,5%). [1]

Лес является одной из главных составных частей природы. Лес можно рассматривать с разных сторон. В глобальном смысле – это биосфера, а в локальном – это насаждения. Лес занимает огромные площади на Земле, почти третью часть всей суши. 38 млн км<sup>2</sup> занимают леса [2], из них человек посадил 264 млн га, а это всего 7% [3] от общего числа. На территории России площадь леса составляет 8,5 млн км<sup>2</sup> (851 млн га) [4].

По данным Единой межведомственной информационно-статистической системы РФ за первые три квартала 2015 года пожары прошли 3,14 миллиона

гектаров. Так, за год площади лесов, захваченные пожарами, составили не менее чем в 5 млн. га. В предыдущие годы в России цифры официальной государственной статистики по площадям лесных пожаров не превышали 2-2,5 млн. га [5].

Если брать Россию в целом, то по данным МЧС в 2015 году среднесноголетние значения параметров пожарной обстановки больше всего превышено в Сибирском федеральном округе, Бурятии, Забайкальском крае и Иркутской области. Небольшое превышение этого показателя наблюдалось в Сибирском, Южном и Северо-Кавказском федеральных округах. А в Уральском, Дальневосточном, Северо-Западном, Приволжском, Крымском и Центральном федеральных округах среднесноголетние значения не были превышены [6].

Лес является хранителем генетического разнообразия, насыщает атмосферу кислородом, не малую роль играет при формировании климата, участвует в повышении и сохранении плодородия почв, регулирует родные просторы, лес – это сырье для лесоперерабатывающей промышленности. Поэтому сохранение лесов от пожаров является большой проблемой для человека и окружающей среды.

Убыток от лесных пожаров является катастрофическим для человечества и окружающей его среды, человек очень часто сталкивается с пожарами, поэтому данная проблема считается актуальной. Лесные пожары приводят к огромным материальным затратам заболеваниям и гибели людей, порче и уничтожению имущества, загрязнению атмосферы.

Целью работы является определение безопасных расстояний, от очага горения леса до зданий и сооружений, стоящих вблизи лесных массивов.

В частности, разработка вычислительной методики для проведения численных экспериментов в рамках построенной модели для определения безопасных расстояний для построек с учетом различных метеорологических условий. При этом учитываются влияние ветра, размеры здания и прочие факторы.

Основные задачи исследования:

- Создание модели воздействия лесных пожаров на здания и сооружения;
- Разработка численной методики решения задачи;
- Реализация разработанной методики с помощью программного обеспечения MATLAB;
- Проведение численных расчетов для исследования влияния лесных пожаров на здания и сооружения.

Ценность исследовательской работы для науки и ее практическая значимость состоит в следующем:

- Показано, что математическое моделирование лесных пожаров с помощью программного обеспечения MATLAB может успешно применяться для прогнозирования возникновения лесных пожаров на деревянные здания и сооружения;
- Предложенная в исследовании математическая модель и полученные результаты расчетов дают возможность оценить критические безопасные расстояния для построек, находящихся в лесных массивах, что позволяет использовать данную модель для противопожарного устройства в лесах и располагать жилые здания на безопасных расстояниях.

Объектом исследования в данной работе были лесные пожары. Исходные данные для численных расчетов задавались в редакторе ввода MATLAB. При этом исследовалось воздействие лесных пожаров на деревянное здание, и определялись критические безопасные расстояния между очагом пожара и зданием.

Предметом исследования являлось математическое моделирование воздействия лесных пожаров на здания и сооружения. При этом использовалась двухмерная система уравнений сохранения (массы, импульса и энергии).

Экспериментальное изучение верховых лесных пожаров очень дорогостоящее и не дает полного и точного моделирования пожара. Поэтому

рассматривают другие способы исследования, а именно математическое моделирование.

Лесные пожары исследуются учеными очень давно. Написано много статей о вреде и пользе пожаров в лесу. Многие считают, что плодородие почв повышается после пожара, а также возрастает разнообразие видов в экосистемах. Но в некоторых районах количество и масштабы пожаров являются катастрофическими, поэтому необходимо совершенствовать методы защиты и борьбы с лесными пожарами. В 40—50-х гг. 20 века опираясь на общенаучные дисциплины, науки о лесе сформировалась отдельный вид науки, пирология леса [7]. Это наука о природе лесных пожаров, влиянии их на лесную среду, мерах предупреждения и его ликвидации, об ущербе, наносимом пожаром, и способах использования огня в мирных целях для лесного хозяйства.

# **1 Обзор литературы по изучению лесных пожаров**

## **1.1 Основные определения и понятия**

Лес – это 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 занимает огромные площади на Земле, почти третью часть всей суши. 38 млн км<sup>2</sup> занимают леса. Но не только деревья, кустарники, травы, мхи и грибы являются лесными просторами, а лес — это сложная экосистема, в которой живые организмы и неживые абиотические элементы (например, такие как воздух, почва воды) тесно связаны друг с другом [5].

Леса на территории России составляют одну пятую часть от всех лесов планеты. Они являются национальным достоянием России, а также обеспечивают хорошие условия жизни и развитие современной, устойчивой экономики. К функциям, которые выполняют леса можно отнести средообразующие, средостабилизирующие и ресурсные функции. Лесные массивы выделяют большое количество кислорода, поглощают углекислый газ из атмосферы, участвуют в почвозащите, обладают климаторегулирующими свойствами. Леса являются домом для многих животных.

Лесные пожары нарушают состав лесов и его функционирование. Для восстановления небольшого участка леса, необходимы десятки лет. Если вблизи леса находится промышленный объект, то ущерб от лесного пожара увеличивается в разы. Но намного страшнее, если пожар приближается или достигает населенного пункта, в этом случае возможна гибель людей. Большинство пожаров происходят из-за деятельности человека, но есть и другие причины, например, такие как природные стихии (молнии, грозовые разряды). Иногда пожары вызывают преднамеренно для борьбы с вредными насекомыми или с болезнями деревьев, но тогда они находятся под контролем

человека. Не редки случаи возгорания лесов из-за халатности людей (не потушенный костер на отдыхе, или брошенный не затушенный окурок). Часто бывают умышленные поджоги лесных массивов для дальнейшей вырубки.

Лесным пожаром называют не контролируемое, стихийное распространение огня по лесным массивам. При растительных пожарах, объектами горения являются верхний горизонт почвы и растительный покров. А при сильных пожарах объектом может стать и весь почвенный слой, включая минеральный грунт.

Существуют еще пятнистые лесные пожары – это высокоинтенсивные пожары, в процессе горения над которыми возникают мощные конвекционные потоки продуктов сгорания и потоки нагретого воздуха, из-за переносящихся горящих частиц возникают дополнительные возгорания напочвенного покрова. Эти пожары относят к сложным лесным пожарам [8]. Этот разряд также включает в себя и верховые пожары. Крупные высокоинтенсивные пожары тщательно изучают, для того чтобы успешно бороться с ними. А именно изучают, как конвекционные потоки формируются над пожаром, какие работы могут производить летательные аппараты на пожаре и на какой высоте, как конвекционные потоки влияют на распространение пожара.

Гришин А. М. в своей работе «Математические модели лесных пожаров и новые способы борьбы с ними» представляет еще один признак, по которому классифицируются лесные пожары. Пожары, которые распространяются по территории с одним ландшафтом, называются ландшафтно-однородными. Если же ландшафт меняется, то это смешанный тип лесного пожара [8]. Однородные лесные пожары охватывают меньшую площадь горения и мощность их меньше, чем смешанных пожаров.

Лесные пожары можно разделить на 2 группы:

- Простые;
- Сложные.

Если тип пожара на протяжении всего процесса горения ЛГМ не меняется, то это простой лесной пожар. Сложный лесной пожар характеризуется изменением типа пожара, возможно и не однократно.

По тому где огонь распространяется пожары делят на три группы:

- Низовые;
- Верховые;
- Подземные.

Подземные лесные пожары еще называют торфяными (когда горит торф) или подстилочными (когда горит подстилка), во время таких пожаров сгорают ЛГМ в первом слое нижнего яруса леса.

Низовые пожары тоже имеют несколько названий, например, напочвенный (если горят 2, 3 и 4 слои нижнего яруса леса), кустарниковый (когда горят кустарники) и валежный (когда горят валежники).

По кронам деревьев (пологу леса) распространяется верховой лесной пожар. Его разделяют на беглый и устойчивый. Деревья при таком пожаре часто сгорают полностью или его большая часть в зависимости от интенсивности и типа древесины. Беглый верховой пожар характеризуется быстрым распространением огня по кронам деревьев по направлению ветра. А при устойчивом огонь захватывает все от подстилки до крон.

Верховые лесные пожары делят на три вида [9]:

- Повальные;
- Вершинные;
- Пятнистые.

При повальных пожарах полог деревьев и напочвенный слой сгорают одновременно. А если огонь по кронам деревьев распространяется быстрее, чем по напочвенному покрову, то это вершинный ВЛП. Пятнистый пожар возникает при массовом разбросе горящих частиц (коры, веток). В последнем случае низовой пожар распространяется быстрее верхового, что способствует ускорению второго.

Тонкие части деревьев, например, листья, ветки, хвоя способствуют распространению огня и их называют проводниками горения. Более толстые ветки, напочвенный слой лишь поддерживают горение, а вот кроны пожароустойчивых пород деревьев, задерживают горение и снижают скорость распространения огня [9].

Существует множество факторов, влияющих на возникновение, распространение и развитие лесных пожаров, такие как растительные, рельефно-ландшафтные, погодные и многие другие. Чтобы тушение лесных пожаров было эффективным необходимо учитывать все факторы. Нужно знать какой фактор и как влияет на пожар и при каких условиях, при каких распространение фронта пламени увеличивается, а при каких наоборот уменьшается, что способствует процессу горения, а что его останавливает. К таким факторам относятся влажность, ветер, горючие материалы, температура и местность. В статье [8] рассказывают, что тепло при пожаре затрачивается на нагрев горючих материалов, их просушивание и пиролиз. Продукты пиролиза сгорают, выделяя большое количество энергии, далее процесс повторяется. Путем конвекции, излучением и переносом частиц из фронта пожара осуществляется перенос энергии из зоны лесного пожара.

В работе [9] пиролизом называют расщепление на простые органические продукты, за счет высокой температуры, из более сложных соединений. За счет данного расщепления получают конденсированные простые продукты, такие как кокс, который состоит из углерода, газообразные горючие и негорючие продукты, вода, угарный газ, углеводород и водород.

При горении растительного покрова особенностью является не только разнообразие условий горения, но и физико-химические явления в процессе. Основными процессами можно считать такие, как возникновение, распространение фронта пламени по растительности, сгорание горючего материала, а также затухание фронта горения. Каждый процесс сложный и многостадийный, и каждая стадия протекает по-разному в зависимости от объекта и условия горения [8].

Лес наполнен кислородом и горючими материалами. Из-за большого количества деревьев, а они являются горючими материалами, постоянного поступления кислорода и очень высоких температур горение поддерживается и не прекращается, само собой. Источником пожара можно считать многие процессы, связанные с жизнедеятельностью человека, например, спичка, окурки; сжигание прошлогодней растительности, мусора; искры из выхлопных труб используемых механизмов. Если пожар уже начался, то лес считается источником тепла, и сам поддерживает горение без внешних источников [10].

Прежде чем начинается горение проходят следующие фазы:

- При температуре до 120 °С проходит нагрев и подсушивание горючих материалов, до 260 °С идет высыхание древесины, а также горение при котором выделяется водяной пар и горючих продуктов пиролиза.

- В промежутке температур 315-425 °С воспламеняются газы. При более высоких температурах от 650 до 1095 °С проходит пламенное горение с присутствием дыма.

- Полное сгорание горючих материалов или их сильное обугливание.

Тепло выделяемое в процессе горения передается окружающей среде несколькими путями:

- Конвекцией;
- Излучением;
- Теплопроводностью.

Под конвекцией понимают вид теплообмена, в процессе которого энергия переносится слоями газа или жидкости. При излучении испускание и распространение энергии проходит за счет волн и частиц. Теплопроводность – это когда высокие температуры распространяются по горючим материалам.

При горении лесных массивов выделяют два типа горения:

- беспламенное (тление);
- Пламенное.

Горение может иметь сразу две стадии, а также возможен не однократный переход от одного типа горения к другому.

Тепло выделяемое при горении лесов и его распространение способствуют возникновению новых очагов. Мощное излучение тепла вызывает, нагрев большого количества деревьев, а это усиливает горение. Лесные массивы имеют способность к хорошей тепловой проводимости, что обеспечивает горение корней, и приводит к возникновению торфяных (подземных) лесных пожаров. Для возгорания влажного горючего материала требуется более высокая температура, а если материал сухой, то на испарение влаги и воспламенение необходима более низкая температура. Поэтому сухие леса загораются чаще и легче, а горение распространяется с большей скоростью, чем по влажным древесным материалам. Горение не будет распространяться, если величины тепла будет не достаточно для подсушки и прогрева более влажных горючих материалов.

От температурных и погодных условий зависит количество верховых лесных пожаров и площадь, которую он пройдет. Площадь, пройденная верховыми лесными пожарами, составляет 13-15 % от общей площади пройденной лесными пожарами.

Верховые пожары делят на две группы:

- Устойчивый (повальный);
- Беглый.

При повальном лесном пожаре горение захватывает все ярусы растений одновременно. Во время такого пожара горят подстилка, кроны деревьев, подрост, валежник, стволы деревьев, покров, сухостой. Такой пожар оставляет лишь обгоревшие стволы деревьев, остальные насаждения сгорают полностью. Устойчивый верховой пожар продвигается со скоростью от 300-600 м/ч, при определенных условиях скорость может увеличиваться до 4-5 км/ч.

При поглощении верховым лесным пожаром большого количества биомассы образуются клубни черного или тёмно-серого цвета. При прохождении огнем от одной кроны к другой дым становится темнее. Если

смотреть космовизуальные снимки, то при верховом пожаре на них можно наблюдать огонь.

Пожарная опасность в каждом месяце всего года разная, она вычисляется за многолетние периоды, она помогает предотвратить часть пожаров, а также спланировать действия служб для тушения пожара в случае его возникновения. В зимнее время очень редко случаются лесные пожары, но имеют место быть торфяные пожары. В умеренных широтах чаще всего случаются пожары в ранневесенний, летний и осенний периоды.

По статистике в России причины лесных пожаров делятся на следующие категории:

- Лесозаготовки;
- Экспедиции;
- Сельхозпалы;
- По вине иных организаций;
- По вине населения;
- Невыясненные.

На распространение лесного пожара не малое влияние оказывают погодные условия. Ограничивают и уменьшают скорость распространения пожара высокая влажность (дождь, снег), низкие температуры, а вот сильный ветер ускоряет распространение огня. Сухая и солнечная погода является самой благоприятной для горения лесных массивов.

Рельеф местности, где проходит пожар также оказывает не малое воздействие. Сильные склоны непосредственно влияют на распространение пожара, чем меньше склон, тем меньше скорость распространения и наоборот. Если огонь идет по склону вверх, то огонь находится у нижних частей крон деревьев, а это помогает стволам подсушиваться, нагреваться и затем воспламеняться. Это напрямую зависит от того, что теплый воздух поднимается вверх, создавая тягу.

Потоки, проходящие над пожаром, достигают скорости до 35 м/с. Были случаи, когда летящий самолет на высоте свыше 1700 м, пролетая над лесным

пожаром опрокидывался [11]. В Красноярском крае были лесные пожары достигающие высоты 5 км, включая густые столбы дыма. При такой высоте диаметр пожара достигал более 800 метров [12]. При таких потоках меняется метеорологическая обстановка в пограничном слое, и поэтом полеты для тушения пожара с воздуха могут быть опасны.

Для того чтобы минимизировать вероятность возникновения лесных пожаров и уменьшить захваченную им территорию при возникновении проводят определенные меры по профилактики. Обязательно проводится санитарная вырубка леса. Деревья вырубают при их старении или поражении вредителями, также убирают упавшие деревья тем самым очищая лесные территории. Уборка лесов проходит в основном в близи населенных пунктов. Очищаются минерализованные полосы от горючих материалов, а расстояние между ними делают не менее шестидесяти метров. Для уменьшения вероятности лесных пожаров, обустривают места для отдыха людей.

Профилактика лесных пожаров также включает наблюдение за лесами, а при обнаружение не большого возгорания быстрое тушение огня.

Наиболее активно лесные массивы охраняются в Сибири, Европейской части страны и на Дальнем Востоке. Эти районы борются с огнем с помощью авиации. Авиация полезна не только для ликвидации лесных пожаров, а также используется для их обнаружения. Уже много лет существуют пожарные вышки для обнаружения, регистрации лесных пожаров и мониторинга окружающей территории. В Сибири и Дальнем Востоке в последнее время для регистрации пожаров используют данные космического мониторинга. Для предотвращения пожаров в лесах проводят профилактические беседа и работы с населением, так как большинство лесных пожаров возникают из-за деятельности человека. Задача сохранения лесных массивов на Земле, является очень актуальной.

## **1.2 Экспериментальные исследования возникновения и развития лесных пожаров**

Для изучения лесных пожаров используют общие математические модели, которые являются эталонами точности физико-математических описаний различных типов лесных пожаров. Эти модели помогают оценивать полноту и точность наиболее удобных и простых моделей на практике. С помощью математических моделей воспроизводят подобные модели и изучают влияние различных факторов на развитие и другие характеристики лесного пожара. Современные численные методы помогают определить различные параметры пожаров (скорость, температуру, плотность и концентрацию компонентов, тепловые потоки). В определенный сезон и задавая район, зная свойства легко горючих материалов, можно спрогнозировать развитие лесного пожара. Экспериментальное исследование лесных пожаров очень дорогостоящее и экологически небезопасно, поэтому единственный способ изучения фронта пламени, условий и скорости распространения лесных пожаров остается математическое моделирование на ПК [8].

В лабораториях невозможно изучение лесных пожаров, потому что нельзя в точности воспроизвести физико-химические процессы, проходящие во время пожара в лесном массиве, например, таких как пиролиз или сушка [13]. Плохая воспроизводимость характеристик горения в натуральную величину в лабораторных условиях так же нарушает изучение их. При горении леса большое влияние оказывают внешние условия, например, ветер, неоднородность насаждений и почвы, влажность древесины, влажность воздуха, температура.

Верховые лесные пожары с помощью эксперимента изучают крайне редко. Экспериментально исследуют в основном процессы горения и распространения низовых лесных пожаров.

В статье [14] авторы провели экспериментально-аналитическое изучение закономерностей при формировании и распространении очагов низовых лесных пожаров. Так же они рассчитали в какой момент скорость нарастания фронта

пламени увеличивается, а в какой уменьшается, затронули тему распределения температуры по площади пожара. В ходе эксперимента поддерживались некоторые условия: скорость ветра до 3 м/с; температура воздуха 20-25 °С; влажность древесины до 30%; IV класс пожарной опасности. 80% напочвенного слоя составляли хвоя, веточки, трава и листья. Испытания считались законченными, после полного сгорания всех горючих материалов в испытываемой зоне.

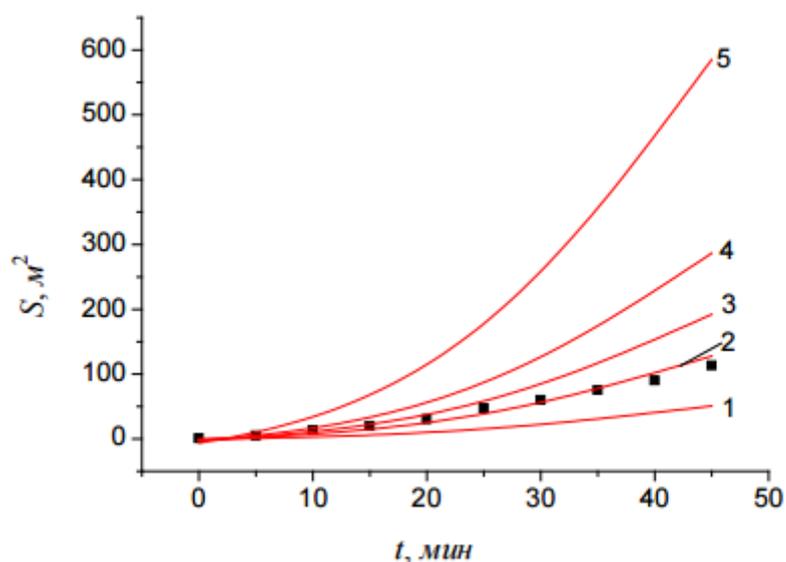


Рисунок 1.1 – Зависимость площадь пожара от времени горения при разных значения влажности ЛГМ.

На рисунке 1.1 представлены обобщенные результаты эксперимента по скорости распространения фронта пламени и площади, которую охватывает пожар. Кривые представленные на графике построенные на основании результатов измерений. Проводя эксперимент очень сложно смоделировать все возможные состояния окружающей среды по влажности, а математическое моделирование помогает справиться с этой трудностью. Чем моделируемое состояние ближе к экспериментально установленным данным, тем точнее будет прогноз. По графику видно, что при дальнейшем увеличении влажности ЛГМ горение прекратится даже при долгом воздействии на материалы тепловой энергии.

В результате экспериментального моделирования пожара удалось выявить закономерность распространения пламени, распределение температур по всей исследуемой площади, безопасное расстояние от очага горения, а также установили влияние влажности на скорость горения и перемещение фронта пламени. Ученые сделали вывод что огромную роль играет влажность воздуха и древесины.

Если не принимать ни каких действий по тушению пожара, он от простого пожара переходит к сложному, тушение которого более проблематично. Самая простая форма лесного пожара в дальнейшем переходит в более сложную [8]. Верховой лесной пожар очень редко возникает изначально, в основном он преобразуется из низового лесного пожара за счет возгорания крон деревьев. НЛП распространяется с такой же скоростью что и повальный ВЛП. При вершинных лесных пожарах низовой пожар подогревает, высушивает и зажигает продукты пиролиза, затем за счет сильного ветра идет быстрое распространение фронта пожара на кронах деревьев. Верховое горение по тем или иным причинам может прекратиться, а затем снова начаться. А происходит это за счет перехода фронта низового лесного пожара к месту, где остановился фронт верхового пожара [15; 16]. Таким образом самостоятельное существование верхового лесного пожара считается невозможным, и поэтому его перенесли в разряд сложных пожаров [8].

В работе [17] авторы описывают исследование перехода низовых лесных пожаров в верховые при отсутствии ветра и при его присутствии. Полученные в ходе исследования модели можно использовать для прогнозирования лесных верховых пожаров и их распространения. Предложенная в работе математическая модель для возникновения массовых лесных пожаров помогает определить размеры и контуры зон зажигания массивов леса.

В статье [13] для изучения распространения фронта пламени лесного пожара использовали лесные полосы, которые создавались искусственно, а для воспроизведения турбулентности атмосферы брали данные приземного слоя атмосферы. В процессе эксперимента велись наблюдения за температурой в

зоне горения, скоростью теплового потока в области горения, высотой пламени, влажностью горючего материала, скоростью распространения фронта пожара, влажностью и температурой воздуха, атмосферным давлением.

В статье [17] представлено, как мы можем прогнозировать распространение лесных пожаров с помощью клеточных автоматов. Эта работа по моделированию лесных пожаров является частью более сложного интегрального проекта по защите лесов от пожаров в Сплите и Далмации. Комплексная система защиты от лесных пожаров построена на информационной системе для планирования всех мероприятий, связанных с ранним обнаружением пожара, по средствам круглосуточного видеонаблюдения и микрообзора, метеорологического мониторинга, ведения лесного пожаротушения и восстановления после пожара сгоревшего ландшафта.

Моделирование пожаров используется для понимания и прогнозирования возможного поведения при пожаре. Представленные в статье модели огня, используются в различных аспектах управления огнем: до пожара – для расчета коэффициента риска, что поможет пожарным сосредоточить все силы в зонах повышенного риска; до пожара – для обучения пожарных и разработки моделей для их тренировок; во время пожара – для планирования стратегий борьбы с пожаром, что поможет пожарным правильно разместить пожарное оборудование на земле, чтобы оставаться в безопасности.

В статье [17] модель клеточных автоматов была применена к острову Бра. Среди входных параметров учитывались только характеристики растительности и ветровые условия. Результаты исследования показали, что такой подход является быстрым и удовлетворительным для практического применения. Дальнейшая работа по расширению входных параметров может быть выполнена с учетом того, что поведение пожаров является сложным процессом, контролируемым многими параметрами, такими как температура и влажность воздуха, слой топлива, влажность топлива, а здесь учитывалась только плотность растительности и ветровые условия. Взаимное использование

модель клеточных атомов вместе с другими вычислительными методами даст более точные результаты.

Работа [18] посвящена проблеме разработки математической модели для описания процессов тепломассопереноса при инициировании и распространении коронного лесного пожара. Математическая модель лесного пожара была основана на анализе экспериментальных данных и использовании концепции и методов из механики реактивных сред. В этом исследовании дана двумерная усредненная математическая установка и метод численного решения проблемы распространения лесных пожаров. Краевая задача решается численно с помощью метода расщепления по физическим процессам. Он был основан на численном решении двумерных уравнений Рейнольдса для описания турбулентного потока с учетом диффузионных уравнений химических компонентов и уравнений сохранения энергии для газовой и конденсированной фаз. В этом контексте было проведено исследование - математическое моделирование - условий распространения лесных пожаров, которое позволило бы получить детальную картину изменения полей скорости, температуры и концентрации компонентов во времени и определить предельные условия для распространения лесных пожаров.

Результаты расчетов дают возможность оценить критическое состояние распространения лесных пожаров, что позволяет применять данную модель для предотвращения пожаров. Предлагаемая в данной статье теория зависит от трех простых свойств кроны: высоты основания коронки, насыпной плотности и влажности лесного топлива [18].

С помощью экспериментального моделирования лесных пожаров можно выявить, по какой закономерности развивается пламя.

### **1.3 Математические модели воздействия лесных пожаров на объекты**

Экспериментальные исследования верховых лесных пожаров считаются очень дорогостоящими и трудоёмкими, поэтому используют метод

математического моделирования для решения проблем с пожарами [19]. Для изучения лесных пожаров метод математического моделирования является перспективным направлением. Моделирование лесного пожара необходимо для того чтобы предсказывать поведение огня в лесном массиве, а это требуется для эффективной борьбы с пожарами в лесу.

Под математической моделью понимают представление реальности в математическом виде. Это приближенно описанный объект моделирования, выраженный при помощи символов математики. Модели классифицируются по используемым математическим средствам:

- Нелинейная и линейная;
- Динамические и статические;
- Непрерывные и дискретные.

Под математическим моделированием подразумевают процесс изучения, построения и использования математической модели, моделирование построено на нескольких этапах. На первом этапе идет постановка целей и задач исследования, определение объекта. Неправильная постановка задачи приводит к неправильному решению. Затем выбираем тип математической модели, обычно строят несколько моделей, а сравнение их результатов с реальными данными позволяет определить лучшую из них. Необходимо обязательно провести предварительный контроль. Проводится контроль размерности (одинаковые размерности), порядков величин. После чего проходит проверка характера зависимостей, то есть определяю поведение одних величин при изменении других, граничных условий. Проверка соответствия модели относительно реальной системе, а затем идет использование модели на управляющей информационной системе.

Зная, что лесной пожар является динамической системой, его математической моделью мы будем считать совокупность соотношений, которые выражают связь между входными и выходными значениями параметров этой системы [20].

На фундаментальном уровне объектом моделирования считается горение, распространяющееся отдельными частицами по однородному слою горючих материалов, и иных ЛГМ, которые располагаются на минеральной части поверхности почвы в виде специфических структурных комплексов. Физико-химические характеристики ЛГМ, а также характеристики окружающей среды считаются входными параметрами. Параметрами, характеризующими сам процесс, являются распределение массовых и тепловых потоков, величина пламени, скорость распространения пламени по лесному массиву. На выходе мы получаем важные характеристики пожара: его вид, высоту пламени, глубину кромки и продвижение кромки, интенсивность горения. Модель дает возможность спрогнозировать площадь, которую охватит огонь, контур пожара, его длину и ширину, выделить участки, на которых характеристики и свойства отличаются от основной массы.

На основе уже известных экспериментальных данных, законах механики и понятиях биологии строятся математические модели. Многие модели основаны на модели прогнозирования динамики развития пожара, и модели, которая отображает информацию местности и размерах пожара.

Математическое моделирование стало развиваться с появлением ЭВМ. С появлением вычислительных машин получилось проанализировать и применить многие модели на практике. В 1919 году была разработана первая модель пожара, посвященная экспериментальному изучению процесса горения и распространения огня по лесным массивам [21]. В след за этим стали появляться теоретические оценки главных факторов, которые влияют на лесной пожар [21]. Затем работы посвящались анализу закономерностей возникновения и распространения пожаров в лесу [22].

В 1937 году Митчеллом была опубликована работа, в которой он провел оценку изменения фронта пожара. Для приближенной оценки он предложил зависимость между диаметром круга и длинной окружности. Но данная модель является очень простой и может быть использована лишь для моделирования наиболее простого пожара [21].

Существует две группы экспериментальных моделей: экспериментально-аналитические; экспериментально-статические.

Каждая модель создана для вычисления скорости распространения и определения пожара в лесных массивах при определенном рельефе местности и воздействии внешних условий. В экспериментально-аналитических моделях авторы используют уравнения теплового баланса в кромке леса, остальные зависимости описываются наипростейшими моделями, либо вообще не учитываются. Из-за того, что в такие модели включены многие данные параметров, взятые из экспериментов, точно определить все аспекты образования и развития лесного пожара невозможно. Говорят, что в экспериментально-аналитических моделях используют смешанный подход для описания пожаров в лесу. А экспериментально-статические модели основываются на комбинациях статических методов и физической теории для выведения формул, которые определяют поведение огня при лесном пожаре [23].

В 1940-х годах появились первые экспериментально-аналитические исследования лесных пожаров. Карри и Фонс проводили эксперименты на искусственно созданных слоях из сосновых веток и хвои [21]. Фонс в 1946 году опубликовал математическую модель, которая прогнозировала скорость распространения пожара [21]. Предпосылками к изучению этой модели послужило представление о том, что горение — это последовательное поджигание горючих частиц и в следствии этого получено уравнение теплового баланса. В Северной Америке создали две школы задачей которых была разработка моделей распространения лесных пожаров.

В конце 40-х и 50-х годов подробнее изучали вопросы связанные со способами передачи тепла от горящих частиц к остальным, и дальнейшее горение. Так же исследовали пламенное и беспламенное (тление) горение в лесных массивах. В этот же период времени приводились данные о теплотворности растительных материалов [21].

Курбатский Н.П. и Коровин Г.Н. приводили аналитические выражения, которые описывали контуры небольших пожаров. И это не единственные работы, связанные с прогнозированием контуров пожаров.

Работы Конева Э.В. [9] и Сухинина А.И. [21] посвящены созданию математической модели распространения огня по механизмам теплообмена различных материалов. Они предложили уравнение, которое описывает скорость распространения огня по слоям леса (траве, хвое, лишайникам). Это уравнение основывалось на раннее предложенной теории сохранения теплового и энергетического баланса [9].

В последующие годы в СССР были изучены направления по природе лесных пожаров, которые имеют большие биологические особенности. На модельных установках и в полевых условиях экспериментально устанавливали влияние факторов окружающей среды на процессы горения лесных низовых пожаров [21].

Верховые лесные пожары очень опасны и наиболее трудны в тушении. Построение эмпирических и теоретических моделей верховых пожаров, их верификация являются фундаментальной научной проблемой, которую обязательно необходимо решить с целью понимания динамики крупных пожаров и в итоге повысить эффективность методов их ликвидации. Из-за сложности математического описания в настоящее время опубликовано несколько работ, посвященных решению проблем верховых пожаров.

Большой вклад в изучение верховых и низовых лесных пожаров методом математического моделирования внес цикл работ, написанных под руководством Гришина А.М. Он же предложил общую математическую модель лесного пожара [8], которая учитывает закон сохранения массы, энергии и импульса при горении на всех ярусах леса. С помощью излучения, теплопроводности и конвекции тепло из фронта пожара передается в нетронутую огнем зону. Лес считают многокомпонентной, реакционной недеформируемой пористой многоярусной средой. Математическая модель учитывает взаимное влияние процессов в зоне подстилки, пологе леса и

приземном слое атмосферы. Она считается наиболее полной физико-математической моделью горения лесных массивов. Данная модель используется не только в России, она также стала популярна за рубежом.

В статьях [8; 9] говорится что ВЛП возникают из-за перехода огня по нижним границам крон деревьев от очагов НЛП или из-за разрядов молний по кронам деревьев. Поэтому большой интерес представляет изучение условий при которых возникает верховой лесной пожар в следствии низового лесного пожара. Поэтому данная тематика имеет большую значимость и активно развивается.

Важный вклад в механизм распространения горения ЛГМ внес Конев Э.В. Но его модели [9] считаются более сложными для реализации, потому что он рассматривает переход огня по твердой фазе от частицы к частице. Также модель Конева Э.В. не считается идеальной так как он не берет в расчет динамику газовой фазы во время пожара. Доррер Г.А. математическую модель распространения пожара описывает, как бегущую волну по неоднородной среде.

Разработанные теории [17-19] за рубежом посвящены изучению верховых пожаров в ласу. Процесс возникновения верхового лесного пожара при большом содержании влаги в лесном горючем материале подробно описан в статье [19]. В России данная модель основывается на общих основах математического моделирования лесного пожара [8]. Распространение горения строится на нестационарных уравнениях, полученных с помощью метода осреднения уравнений на различных высотах. С помощью этого метода получают поля с температурами и концентрациями компонентов в различные периоды времени. Математические модели, описанные выше, являются сложными для практической реализации из-за значительного количества разнообразных параметров, поэтому, преимущественно, имеют теоретическое значение

Существуют пространственные и непространственные модели, различаются они по способу отображения результатов вычисления.

Непространственные модели представляют полученную информацию в виде графиков или диаграмм в зависимости от запроса. Пространственные модели помогают увидеть визуальную картину процесса распространения огня [21].

Также существует разделение на стохастические и детерминированные модели. Детерминированные модели работают по принципу: при одинаковых причинах возникновения следуют одинаковые последствия. Вероятностные (стохастические) строятся на фактах, при которых причины и последствия не заданы [21].

Для того что бы модель использовалась в оперативных целях, она должна быть удобной для использования и простой для расчетов.

## **2 Математическое моделирование воздействия лесных пожаров на здания и сооружения**

### **2.1 Объект и методы исследования**

Объектом исследования в данной работе являются лесные пожары. Оценка их влияния на окружающую среду, а в частности на здания и сооружения, находящиеся в лесном массиве, изучалась с помощью программного обеспечения MATLAB.

Программное обеспечение MATLAB – это многофункциональное ПО, позволяющее прогнозировать и формализовать описание чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Программа позволяет решать одномерные, двумерные и трёхмерные задачи с учетом тепло- и массопереноса и химических реакций.

Защитникам окружающей среды это ПО будет полезным для прогнозирования, управления воздействием и опасностью загрязнения ОС. Техническим заданием исследования было изучение программного пакета MATLAB, а также работа над математической моделью и разработка программы расчета безопасных расстояний для зданий, находящихся в лесном массиве, с помощью ПО MATLAB.

В ходе прохождения научно-производственной практики было изучено и освоено ПО MATLAB, позволяющее моделировать лесные пожары и оценивать их воздействие на окружающую среду и здания, находящиеся в лесном массиве.

Для решения поставленной задачи был выбран метод Патанкара. В 80-х годах широко распространился метод контрольного объема [24]. Метод контрольного объема используется в ПО MATLAB, позволяющем решать многочисленные инженерные задачи механики жидкости и газа.

Исследование процесса возникновения и развития лесных пожаров с помощью математической модели, основывается на численном решении

системы дифференциальных уравнений в частных производных с соответствующими начальными и граничными условиями, которые зависят от конкретной задачи. Чтобы получить дискретные аналоги, нужно использовать различные численные методы (к примеру, метод контрольного объема [25]). В результате получается система алгебраических уравнений, которая и называется дискретным аналогом.

Выбор метода контрольного объема был выбран, потому что [25] при его использовании точно выполняются интегральные законы сохранения таких величин как масса, количество движения, энергия в каждом контрольном объеме. Это значит, что при решении задачи с малым количеством КО, в результате получится решение, которое удовлетворяет точным интегральным балансам во всей расчетной области [26].

## **2.2 Физическая постановка задачи**

Верховые пожары являются наиболее опасным видом лесных пожаров. Из литературных данных известно, что они составляют большую часть выгоревшей площади. Для тушения верховых лесных пожаров требуются большие материальные затраты, а в некоторых случаях невозможно и часто не эффективно. В связи с этим актуальным является изучение данного вида пожаров и его воздействие на окружающие объекты, в частности здания и сооружения, расположенные вблизи лесных массивов. Полученные расчетные данные о процессе возникновения, а также развития и воздействия верховых лесных пожаров могут быть использованы при профилактике и борьбе с ними.

Как правило, возгорание в лесу происходит в нижнем ярусе леса, а при определенных условиях, факел пламени может зажигать нижние ветви деревьев, охватить кроны деревьев и распространяться по пологу ветра под действием ветра. Проведение экспериментальных исследований для изучения лесных пожаров являются опасными и очень дорогостоящими, а в некоторых случаях невозможными. Поэтому большой интерес представляют

теоретические методы исследования. Например, метод математического моделирования дает возможность точно описать наиболее важные характеристики лесного массива, приземного слоя атмосферы и условия распространения лесных пожаров. Таким образом с помощью математических моделей можно исследовать процесс возникновения и распространения лесных пожаров и их воздействие на близлежащие объекты, такие как здания и сооружения.

Предполагаем, что на напочвенном покрове имеется область повышенной температуры, то есть очаг низового пожара, который имеет конечные размеры, на некоторой высоте, над пологом леса, задана скорость ветра. Под воздействием данного очага горения происходит инертный прогрев лесных горючих материалов в пологе леса, из них испаряется влага, далее происходит пиролиз с выделением конденсированных и летучих продуктов пиролиза, которые затем воспламеняются. Формируется фронт горения, который перемещается по пологу леса под действием ветра. Если вблизи лесного массива находится здание, то фронт пламени оказывает на него тепловое воздействие за счет переноса энергии излучением, конвекции и переноса горящих частиц. В результате возможно воспламенение данного объекта. Рассмотрим схематично область рассматриваемого процесса. Оси  $Ox_1$  и  $Ox_2$  – направлены параллельно поверхности земли, а ось  $Ox_3$  перпендикулярно поверхности земли, вверх. (направление ветра совпадает с направлением оси  $Ox_1$ ). На Рисунке 2.1 представлена схема данного процесса:

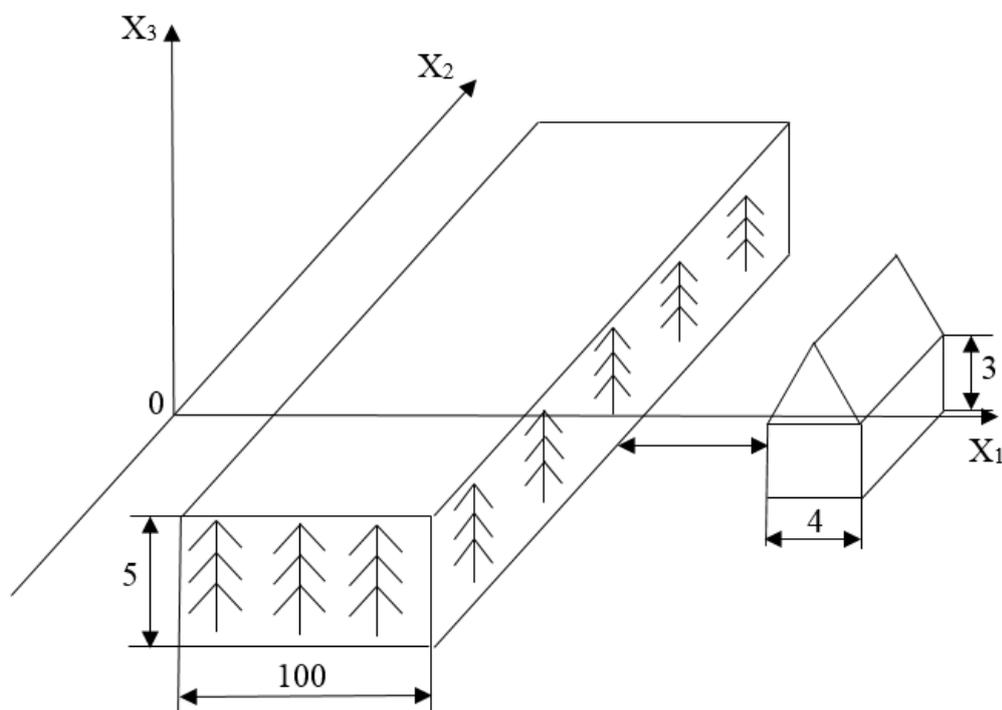


Рисунок 2.1 – Схема распространения лесного пожара.

Предполагается, что: 1) течение носит развитый турбулентный характер и молекулярным переносом пренебрегаем по сравнению с турбулентным, 2) плотность газовой фазы не зависит от давления из-за малости скорости течения по сравнению со скоростью звука, 3) среда находится в локально-термодинамическом равновесии, 4) известна скорость ветра над пологом леса в невозмущенных условиях, 5) газодисперсная смесь бинарная и состоит из частиц конденсированной фазы, а также газовой фазы – компонентов кислорода, газообразных горючих продуктов пиролиза и инертных компонентов (азот, водяной пар, продукты горения и т.д.).

### 2.3 Математическая постановка задачи

Сформулированная выше задача сводится к решению следующей системы уравнений:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho v_j) = \dot{m}, \quad j = 1, 2, 3, \quad i = 1, 2, 3; \quad (2.1)$$

$$\rho \frac{dv_i}{dt} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{v'_i v'_j}) - \rho s c_d v_i |\vec{v}| - \rho g_i - \dot{m} v_i; \quad (2.2)$$

$$\rho c_p \frac{dT}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho c_p v'_j \overline{T'}) + q_5 R_5 - \alpha_v (T - T_s) + k_g (cU_R - 4\sigma T^4); \quad (2.3)$$

$$\rho \frac{dc_\alpha}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{v'_j c'_\alpha}) + R_{5\alpha} - \dot{m} c_\alpha, \quad \alpha = \overline{1,3}; \quad (2.4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_j} \right) - kcU_R + 4k_s \sigma T_s^4 + 4k_g \sigma T^4 = 0, \quad k = k_g + k_s; \quad (2.5)$$

$$\sum_{i=1}^4 \rho_i c_{pi} \varphi_i \frac{\partial T_s}{\partial t} = q_3 R_3 - q_2 R_2 + k_s (cU_R - 4\sigma T_s^4) + \alpha_v (T - T_s); \quad (2.6)$$

$$\rho_1 \frac{\partial \varphi_1}{\partial t} = -R_1, \rho_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial t} = -R_2, \rho_3 \frac{\partial \varphi_3}{\partial t} = \alpha_c R_1 - \frac{M_c}{M_1} R_3, \rho_4 \frac{\partial \varphi_4}{\partial t} = 0; \quad (2.7)$$

$$\sum_{\alpha=1}^3 c_\alpha = 1, \quad p_e = \rho RT \sum_{\alpha=1}^3 \frac{c_\alpha}{M_\alpha}, \quad \vec{v} = (v_1, v_2, v_3), \quad \vec{g} = (0, 0, g),$$

$$\dot{m} = (1 - \alpha_c) R_1 + R_2 + \frac{M_c}{M_1} R_3 + R_{53} + R_{54},$$

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

начальные и граничные условия для систем уравнений имеют вид:

$$t = 0: v_i = 0, T = T_e, c_\alpha = c_{\alpha e}, T_s = T_e, \varphi_k = \varphi_{ke}, i = 1, 2, 3; k = 1, 2, 3; \alpha = \overline{1,5}. \quad (2.8)$$

$$x_1 = -x_{1e}: v_1 = V_e(x_3), v_2 = 0, v_3 = 0, T = T_e, c_\alpha = c_{\alpha e}, -\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_1} + cU_R / 2 = 0. \quad (2.9)$$

$$x_1 = x_{1e}: \frac{\partial v_1}{\partial x_1} = 0, \frac{\partial v_2}{\partial x_1} = 0, \frac{\partial v_3}{\partial x_1} = 0, \frac{\partial T}{\partial x_1} = 0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_1} = 0, -\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_1} + cU_R / 2 = 0. \quad (2.10)$$

$$x_2 = 0: \frac{\partial v_1}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial v_2}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial v_3}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial T}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_2} = 0, -\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_2} + cU_R / 2 = 0; \quad (2.11)$$

$$x_2 = x_{2e}: \frac{\partial v_1}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial v_2}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial v_3}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial T}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_2} = 0, \frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_2} + cU_R / 2 = 0. \quad (2.12)$$

$$x_3 = 0: v_1 = 0, v_2 = 0, (\rho v_3) = h_0 \overline{m},$$

$$T = T_s = \begin{cases} T_e + (T_0 - T_e) \exp(-((x_1 - x_{10}) / \Delta_x)^2) t / t_0, & t \leq t_0 \\ T_e + (T_0 - T_e) \exp(-(((x_1 - x_{10}) - x_f) / \Delta_x)^2), & t > t_0 \end{cases}$$

$$-\rho D_t \frac{\partial \alpha}{\partial x_3} + \rho v_3 c_\alpha = h_0 \bar{R}_{5\alpha}, \quad -\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_3} = \frac{\varepsilon}{2(2-\varepsilon)} (4\sigma T_s^4 - c U_R), \quad (2.13)$$

$$x_3 = x_{3e}: \frac{\partial v_1}{\partial x_3} = 0, \frac{\partial v_2}{\partial x_3} = 0, \frac{\partial v_3}{\partial x_3} = 0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_3} = 0, \frac{\partial T}{\partial x_3} = 0, \frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_3} + \frac{c}{2} U_R = 0. \quad (2.14)$$

здесь и выше  $x_1, x_2, x_3, v_1, v_2, v_3$ - декартовы координаты и компоненты проекции вектора скорости на соответствующие оси координат;  $R_5$  и  $R_{5\alpha}$ - горения летучих продуктов пиролиза и образования  $\alpha$  - компонентов газодисперсной фазы;  $c_p, \rho$  - удельные теплоемкости и плотность газовой фазы;  $T$  - температура газовой фазы;  $c_\alpha$ - массовые концентрации ( $\alpha=1$  - кислород, 2 - CO, 3 -инертные компоненты воздуха);  $P$  -давление;  $U_R$  - плотность энергии излучения;  $\sigma$  - постоянная Стефана-Больцмана;  $k_g$  коэффициент поглощения для газодисперсной фазы;  $q_5, E_5, k_5$  - тепловые эффекты, энергии активации и пред экспоненты реакции горения летучих продуктов пиролиза;  $M_\alpha, M$  - молекулярные веса индивидуальных компонентов газовой фазы и воздушной смеси;  $c$  - скорость света;  $\alpha_c, \nu$  - коксовое число и массовая доля горючих газов в массе летучих продуктов пиролиза;  $g$  - ускорение свободного падения. Индексы "о" и "е" относятся к значениям функций в очаге горения и на большом расстоянии от зоны пожара соответственно. Верхний индекс " ' " относится к пульсационной составляющей данной величины. Система уравнений описывает процессы переноса в области пологие леса. Термодинамические, теплофизические и структурные характеристики соответствуют ЛГМ соснового леса и численно равны: Термодинамические, теплофизические и структурные характеристики соответствуют ЛГМ соснового леса и численно равны  $E_5/R=11500$  К,  $k_5 = 3 \cdot 10^{13}$ ,  $q_5 = 10^7$  Дж/кг,  $c_p=1000$  Дж/(кг·К,  $\alpha_c=0.06$ ,  $\nu=0.7$ ,  $\rho_e = 1.2$  кг/м<sup>3</sup>,  $c_{2e} = 0$ ,  $p_e = 10$  н/м<sup>2</sup>,  $T_e = 300$  К,  $c_{1e} = 0.23$ .

Система уравнений содержит члены, связанные с турбулентной конвекцией и нуждаются в замыкании. Компоненты тензора турбулентных напряжений  $\overline{\rho v_i' v_j'}$ , а также турбулентные потоки тепла и массы  $\overline{\rho v_j' c_p T'}$ ,  $\overline{\rho v_j' c_\alpha'}$  записываются через градиенты среднего течения согласно

$$-\overline{\rho v_i v_j} = \mu_t \left( \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} K \delta_{ij}; \quad -\overline{\rho v_j c_p T'} = \lambda_t \frac{\partial T}{\partial x_j}, \quad -\overline{\rho v_j c_\alpha'} = \rho D_t \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_j}, \quad (2.15)$$

$$\lambda_t = \mu_t c_p / Pr_t, \quad \rho D_t = \mu_t / Sc_t; \quad \mu_t = c_\mu \rho K^2 / \varepsilon, \quad (2.16)$$

где  $K$  - кинетическая энергия турбулентности,  $v_i$  и  $v_i'$  - компоненты средней скорости и пульсационной составляющей скорости в проекции на ось  $x_i$ ;  $\mu_t$ ,  $\lambda_t$ ,  $D_t$  - коэффициенты турбулентной, динамической вязкости, турбулентной теплопроводности и диффузии;  $Pr_t$ ,  $Sc_t$  - турбулентные числа Прандтля и Шмидта;  $\delta_{ij}$  - символы Кронекера. Согласно  $\mu_t = c_\mu \rho K^2 / \varepsilon$ , где  $\varepsilon$  - скорость диссипации турбулентной кинетической энергии,  $c_\mu$  - константа. В связи с тем, что определение коэффициента турбулентной динамической вязкости связано с трудностями обусловленными, например, произволом при выборе начальных и граничных условий для уравнения кинетической энергии турбулентности, представляет интерес приближенный способ замыкания, основанный на гипотезе пути смешения Прандтля, что фактически означает равновесное приближение (баланс генерации и диссипации) для уравнения кинетической энергии турбулентности. Детали этого подхода для двумерного плоского случая изложены в работе. [25]

Для замыкания системы уравнений компоненты тензора турбулентных напряжений, турбулентные потоки тепла и массы определяются при помощи формул. Используется локально-равновесная модель турбулентности. Для определения турбулентной динамической вязкости в плоском двумерном случае использовалась формула:

$$\mu_t = \rho l^2 \left\{ 2 \left[ \left( \frac{\partial v_1}{\partial x_1} \right)^2 + \left( \frac{\partial v_3}{\partial x_3} \right)^2 \right] + \left( \frac{\partial v_1}{\partial x_3} + \frac{\partial v_3}{\partial x_1} \right)^2 - \frac{2}{3} \left[ \frac{\partial v_1}{\partial x_1} + \frac{\partial v_3}{\partial x_3} \right]^2 - \frac{g}{\Gamma Pr_t} \frac{\partial \theta}{\partial x_3} \right\}^{1/2}, \quad (2.17)$$

где  $\theta = T - T_e$ .

Использовалась формула для пути смещения, предложенная авторами работы

$$l = x_3 k_t / (1 + 2.5 x_3 \sqrt{c_d s / h}) \quad (2.18)$$

где  $k_t = 0.4$  - постоянная Кармана,  $h$  - размер полога леса.

## 2.4 Результаты расчетов и их анализ

В рассматриваемой расчётной области, которая имеет высоту 50 м, а длину 300 м, задавался лесной массив высотой 5 метров и длиной по оси X1 – 100 метров и деревянное строение, отдаленное на различные расстояния от правого конца лесного массива. В результате численных расчетов были получены распределения полей температуры, скорости и концентрации. Рассматривалось три случая в первом случае строение было удалено от очага пожара на 21 м, во втором на 26 м, в третьем на 31 м.

Исследовалось воздействие лесного пожара на деревянное здание, и определялись критические безопасные расстояния между очагом пожара и зданием. Из литературных источников было выявлено, что возгорание древесины происходит при температуре 300°C [38].

В результате математического моделирования были получены расстояния, на котором следует располагать деревянные постройки в зависимости от скорости ветра, чтобы не произошло возгорание. Результаты расчётов могут быть использованы для оценки теплового воздействия на здания, находящиеся в лесном массиве при лесных пожарах.

В первом случае деревянная постройка, которая имеет высоту 3 метра, а длину 4 располагалась на расстоянии 31 метр от правого края лесного массива расчеты проводились при скоростях ветра равных 6; 8 и 10 м/с, по всей высоте деревянной постройки на ближайшей стенке. Данные представлены на рисунке 2.2.

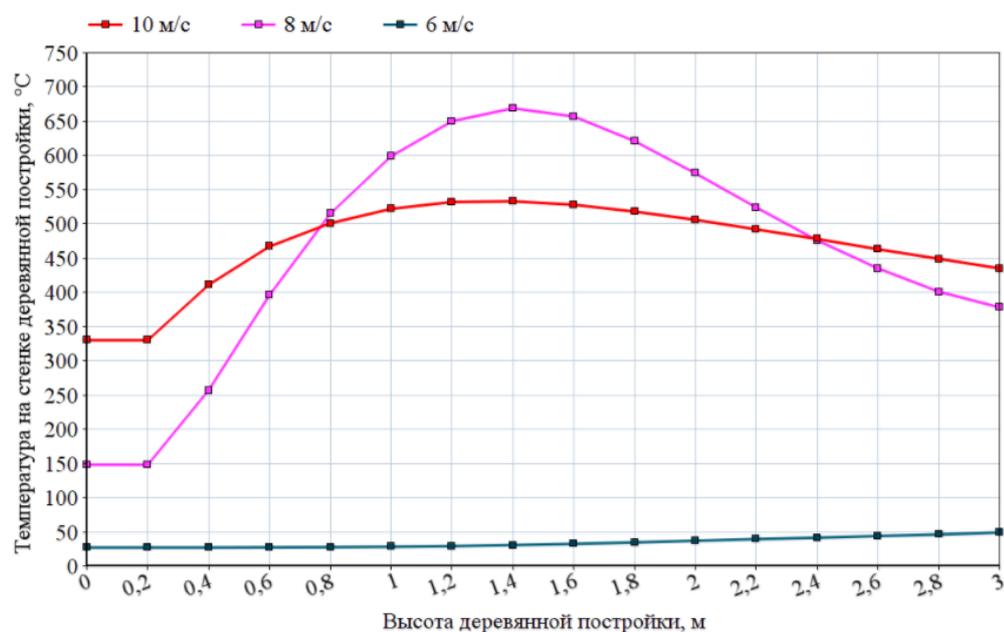


Рисунок 2.2 – Температуры на стенке деревянной постройки на расстоянии 21 м от правого края лесного массива при скоростях ветра 6; 8 и 10 м/с.

Анализ данной зависимости показывает следующее:

- При скорости ветра 6 м/с на заданном расстоянии возгорания не произойдет, зажигание будет, но на более близких расстояниях;
- При скорости ветра 8 м/с горения лесного массива возгорание деревянной постройки произойдет на 0,6 м от уровня земли;
- При скорости ветра 10 м/с после начала горения возгорание произойдет на всей стенке деревянной постройки.

Во втором случае деревянное строение располагалось на расстоянии 26 метров от правого края лесного массива, измерения проводились для тех же скоростей ветра. Измерения температур, как и в первом случае. Данные представлены на рисунке 2.3.

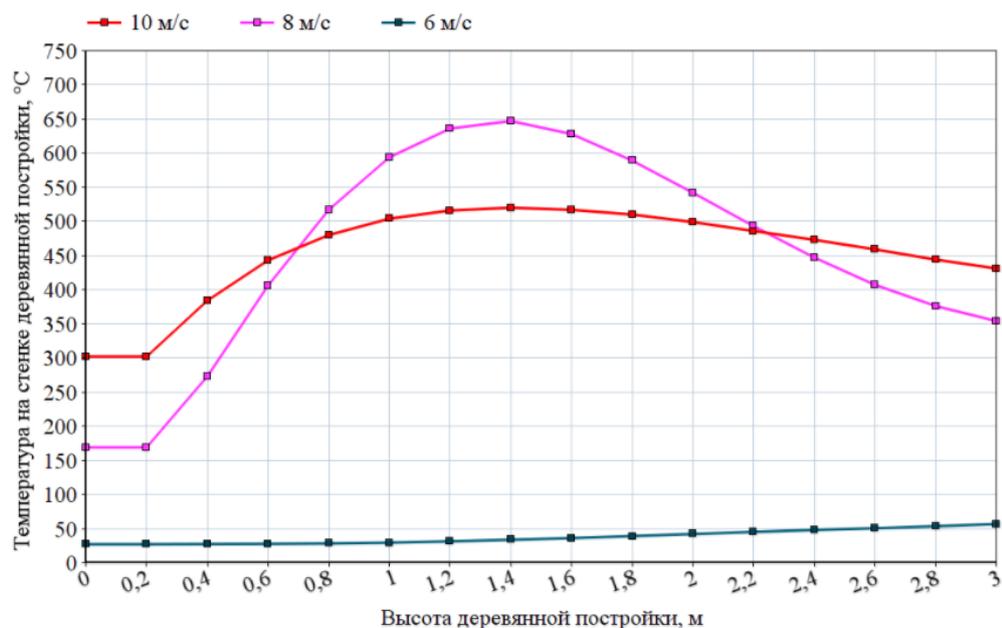


Рисунок 2.3 – Температуры на стенке деревянной постройки на расстоянии 26 м от правого края лесного массива при скоростях ветра 6; 8 и 10 м/с

Анализ данной зависимости показывает следующее:

- При скорости ветра 6 м/с возгорания не произойдет на заданном расстоянии;
- При скорости ветра 8 м/с возгорание деревянной постройки произойдет на 0,5 м от уровня земли;
- При скорости ветра 10 м/с на заданном расстоянии возгорание будет на всей стенке деревянного строения.

В третьем случае деревянная постройка размерами была удалена на 31 метр от правого края лесного массива, скорости ветра брали, как в первом и втором случае. Данные представлены на рисунке 2.4.

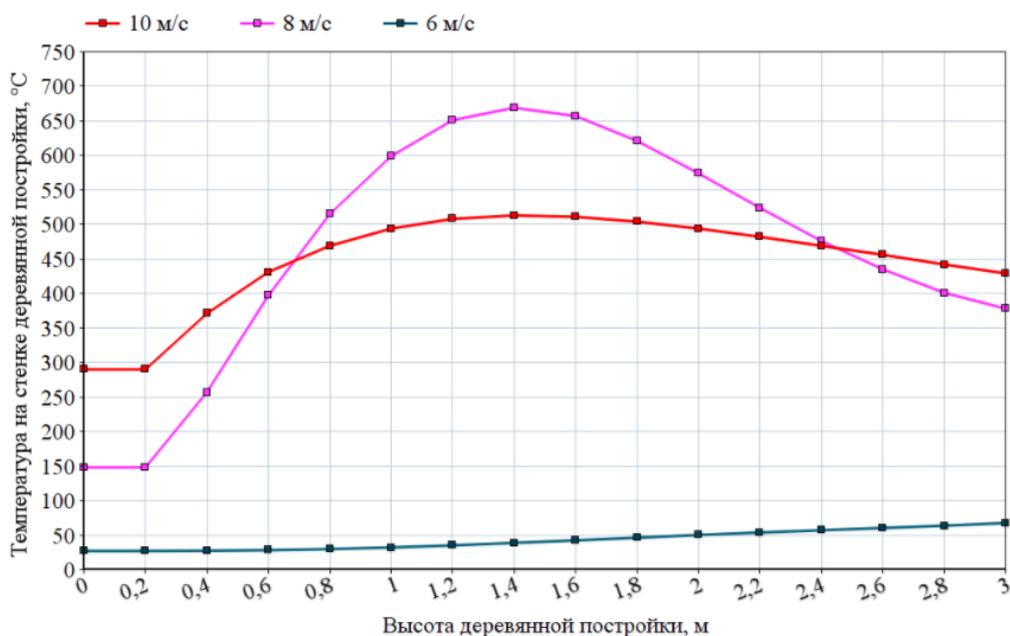


Рисунок 2.4 – Температуры на стенке деревянной постройки на расстоянии 31 м от правого края лесного массива при скоростях ветра 6; 8 и 10 м/с

Анализ данной зависимости показывает следующее:

- При скорости ветра 6 м/с на заданном расстоянии возгорания не произойдет;
- При скорости ветра 8 м/с возгорание деревянной постройки произойдет на 0,5 м от уровня земли;
- При скорости ветра 10 м/с на заданном расстоянии возгорание произойдет на 0,2 м от уровня земли.

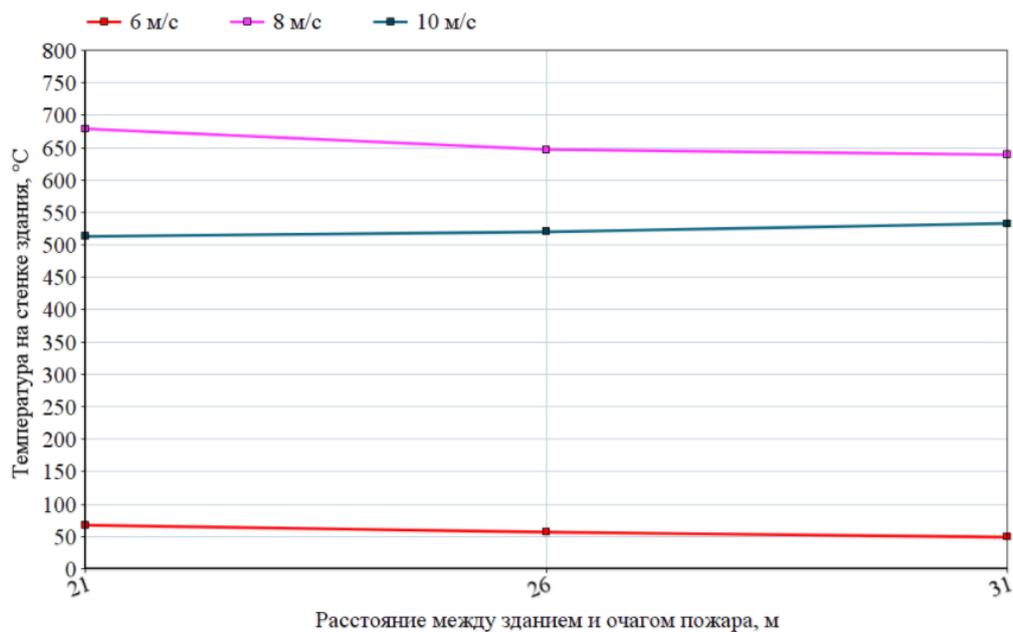


Рисунок 2.5 – Зависимость температуры на стенке деревянного дома для различных скоростей ветра (6; 8 и 10 м/с) от расстояния (21; 26 и 31 м).

Анализ данной зависимости показывает следующее:

- При скорости ветра 6 м/с зажигание здания при менее, чем 20 метров;
- При скорости ветра в 8 м/с расстояние, на котором возможно зажигание здания, достигает 21-31 метров;
- При скорости ветра в 10 м/с расстояние, на котором возможно зажигание здания, достигает 21-31 метров;

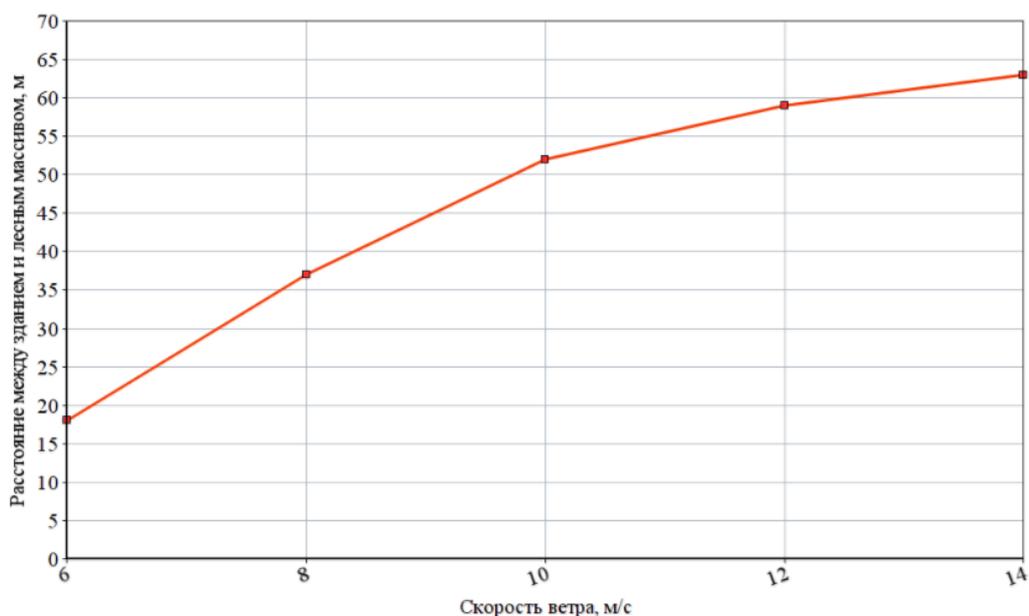


Рисунок 2.6 – Зависимость расстояний, при которых произойдет возгорание, при различных скоростях ветра при высоте строения в 3 метра

На рисунке 2.6 представлена зависимость размеров опасной зоны, в которой возможно зажигание здания в зависимости от скорости ветра. При увеличении скорости ветра увеличиваются размеры зоны зажигания. Из расчетов видно, для того чтобы обезопасить деревянное строение и жизни людей необходимо ставить строения не ближе, чем 65 метров от края лесного массива.

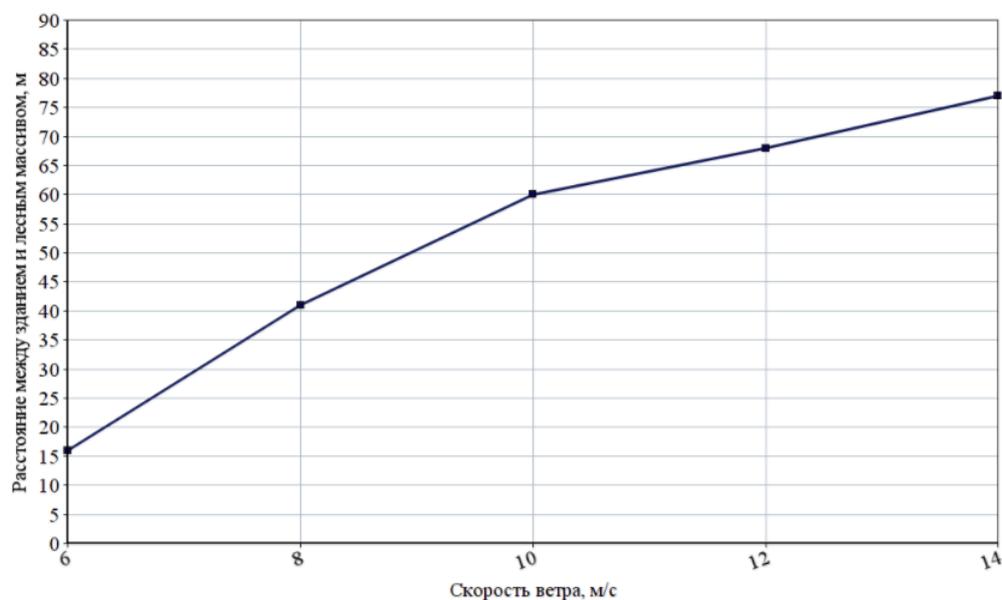


Рисунок 2.7 – Зависимость расстояний, при которых произойдет возгорание, от скорости ветра при высоте строения в 6 метра

Данный график подтверждает вывод, сделанный в предыдущем случае, что при увеличении скорости ветра увеличиваются размеры зоны зажигания. Для более высоких зданий зажигание возможно на больших расстояниях. Однако, с увеличением скорости ветра, уменьшается разность между максимальными расстояниями, на которых возможно зажигание зданий и для скорости ветра 14 м/с они практически одинаковы.

Из расчетов видно, для того чтобы обезопасить деревянное строение и жизни людей необходимо ставить строения не ближе, чем 75 метров от края лесного массива.

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

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

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

Выпускная квалификационная работа заключается в моделирование воздействия лесных пожаров на здания и сооружения. Данная работа нацелена на борьбу с лесными пожарами и создание безопасных условий для жизни людей. Целью работы является создание двухмерная математической модели воздействия верховых лесных пожаров на здания и сооружения, разработка вычислительной методики для проведения численных экспериментов в рамках построенной модели. В частности, в определении безопасных расстояний для построек с учетом различных метеорологических условий. Задачами, обеспечивающими решение поставленной цели, являются:

- определение потенциальных потребителей результатов исследования;
- выполнить анализ конкурентных технических решений;
- выполнить планирование работ в рамках проведения исследования;
- подсчитать бюджет на проведение исследования;
- оценить эффективность выполненного исследования.

Потенциальными потребителями результатов данной ВКР является МЧС России.

### 3.1.2 Анализ конкурентных технических решений

С помощью анализа конкурентных технических решений можно выявить сильные и слабые стороны разработок конкурентов. Проведем данный анализ с помощью оценочной карты. (см. табл. 3.1)

Для анализа альтернативных методов оценки рисков была выбрана оценочная карта. Для оценки конкурентных методов была выбрана шкала от 1 до 5, где: 1 – наиболее слабая позиция; 2 – ниже среднего, слабая позиция; 3 – средняя позиция; 4 – выше среднего, сильная позиция; 5 – наиболее сильная позиция.

Таблица 3.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		В	Ф	Д	К <sub>в</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>д</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
Удобство в использовании	0,14	5	3	4	0,7	0,42	0,56
Визуализация результатов	0,11	5	2	3	0,55	0,22	0,33
Полнота представления данных	0,12	4	4	4	0,48	0,48	0,48
Скорость вычисления	0,13	4	3	3	0,52	0,39	0,39
Универсальность метода	0,08	2	2	2	0,16	0,16	0,16
Специальное оборудование	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
Дополнительные данные для вычисления	0,12	4	2	3	0,48	0,24	0,36
Цена	0,11	4	3	4	0,44	0,33	0,44
Специально обученные сотрудники	0,09	3	3	3	0,27	0,27	0,27
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>3,01</b>	<b>3,39</b>

Где сокращения:

$B_{\phi}$ - метод контрольного объёма;

$B_{k1}$  – аналитический метод;

$B_{k2}$  – численный метод.

Анализ конкурентных технических решений определили по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (3.1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

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

$B_i$ – балл  $i$ -го показателя.

Опираясь на полученные данные, следует сказать, что метод контрольного объёма является наиболее эффективным. Полнота и доступность изложения информации будет доступна для всех целевых аудиторий.

## 3.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование этапов работ по выполнению проекта включает составление перечня этапов и работ, а также распределение исполнителей по всем видам работ. В таблице 3.2 приведены основные этапы и содержание работ с распределением ответственных исполнителей.

Таблица 3.2 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение темы	Научный руководитель
	2	Календарное планирование работ по теме	Студент
	3	Подбор, изучение и анализ требований нормативных документов	Студент

Продолжение таблицы 3.2

Теоретические и практические исследования	4	Проведение анализа литературы по теме ВКР	Студент
	5	Изучение моделей распространения лесных пожаров	Студент
	6	Составление программы для расчета	Студент, научный руководитель
	7	Выявление зависимостей	Студент
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Студент, научный руководитель
Оформление отчета по НИР	9	Завершение оформления работы	Студент

### 3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

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

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (3.2)$$

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

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (3.3)$$

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

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

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

### 3.2.3 Разработка графика проведения научного исследования.

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} \quad (3.4)$$

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

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

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} \quad (3.5)$$

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

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

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

Согласно производственному и налоговому календарю на 2017 год, количество календарных 365 дней, количество рабочих дней составляет 247 дней, количество выходных и праздничных 118 дней, таким образом:  $k_{кал}=1,48$ .

Все рассчитанные значения вносим в таблицу (табл. 3.3)

Таблица 3.3 – Временные показатели проведения научного исследования

Вид работы	Трудоемкость работы			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел-дни	$t_{max}$ , чел-дни	$t_{ожi}$ , чел-дни			
Составление и утверждение темы	2	5	3,2	Р	3	4
Календарное планирование работ по теме	2	5	3,2	С	3	4
Подбор, изучение и анализ требований нормативных документов	3	6	4,2	С	4	6
Проведение анализа литературы по теме ВКР	10	15	12	С	12	18
Изучение моделей распространения лесных пожаров	7	10	8,2	С	8	12
Составление программы для расчета	10	15	12	Р, С	6	9
Выявление зависимостей	4	7	5,2	С	7	10
Оценка эффективности полученных результатов	2	4	2,8	Р, С	1	2
Завершение оформления работы	10	12	10,8	С	10	15

Для иллюстрации календарного плана проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за весь период дипломирования строится диаграмма Гантта.

Диаграмма Гантта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Из диаграммы видно, что работа над дипломным проектом началась в первой декаде февраля, а закончилась в первой декаде июня. Некоторые виды работ выполнялись параллельно, например, поиск и изучение литературы по теме выполнялись одновременно с подбором, изучением и анализом моделей

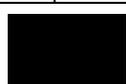
распространения лесных пожаров. Так же можно увидеть, что один вид работ выполнялся несколькими исполнителями, например, работу по календарному планированию студент и научный руководитель выполняли совместно.

Таблица 3.4 – Диаграмма Гантта

№ работ	Вид работ	Исполните ли	Кол- во дней, Т <sub>раб</sub>	Продолжительность выполнения работ														
				Февраль 2017			Март 2017			Апрель 2017			Май 2017			Июнь 2017		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение темы	Р	4	▨														
2	Календарное планирование работ по теме	С	4		■													
3	Подбор, изучение и анализ требований нормативных документов	С	6			■												
4	Проведение анализа литературы по теме ВКР	С	18				■	■	■	■	■	■						
5	Изучение моделей распространения лесных пожаров	С	12								■	■						
6	Составление программы для расчета	Р, С	9									▨	■	■				
7	Выявление зависимостей	С	10										■	■	■			
8	Оценка эффективности полученных результатов	С, Р	2												▨	■		
9	Завершение оформления работы	С	15													■	■	■



– Руководитель (Р)



– Студент (С)

### 3.2.4 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (3.6)$$

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

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

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

$k_T$ – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы в пределах 15-25%).

Расчеты, произведенные в данном разделе, вносим в табл. 3.5.

Таблица 3.5 – Матрица затрат на материалы

Наименование материала	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб	Затраты на материалы ( $Z_m$ ), руб.
Бумага для офисной техники (А4)	лист	120	3	414
Картридж для принтера	шт.	1	950	1,092,5
Интернет	М/бит (пакет)	1	600	690
Большой блокнот	шт.	1	85	97,7
Шариковая ручка	шт.	1	57	65,5
<b>Итого</b>				<b>2359,7</b>

Материальные затраты на выполнение научно-технического исследования составили 2359,7 рубль.

### 3.2.5 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта.

Необходимо рассчитать основную заработную плату для: руководителя (от ТПУ); инженера.

Основная заработная плата руководителя (инженера) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (3.8)$$

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

$T_{\text{раб}}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн., представлена в таблице 4;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (3.9)$$

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

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 25 рабочих дня  $M$  равно 11,2 месяца, 5-дневная неделя,

- при отпуске в 48 рабочих дней  $M$  равно 10,4 месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала (в рабочих днях), из таблицы 3.6.

Таблица 3.6 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер (студент)
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные/праздничные)	118	118
Потери рабочего времени - отпуск	48	25
- невыходы по болезни	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	199	222

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot K_p, \quad (3.10)$$

где  $Z_{тс}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$K_p$  – районный коэффициент, равный 30 % (Томская область)

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$ , руб.	$K_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_{раб}$ , раб.дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	36800	1,3	47840	2500	15	37500
Инженер (студент)	17000	1,3	22100	1114,9	76	84732,4
<b>Итого</b>	<b>122232,4</b>					

Заработная плата научного руководителя составила 37500 рублей, инженера (студента) – 84732,4 рублей. Общая основная заработная плата составила 122232,4 рублей.

### 3.2.6 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормативных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = K_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (3.11)$$

Где,  $K_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Таблица 3.8 – Дополнительная заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Студент
Основная зарплата	37500	84732,4
Дополнительная зарплата	4500	10167,9
<b>Итого, руб</b>	<b>136900,3</b>	

Таким образом, дополнительная заработная плата руководителя равна 4500 рублей, студента – 10167,9 рублей.

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы (см. табл. 4.8):

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (3.12)$$

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

На 2017 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%.

Таблица 3.9 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Научный руководитель	37500	4500
Инженер-студент	84732,4	10167,9
Коэффициент отчисления во внебюджетные фонды	0,3	
<b>Итого</b>	<b>41070,1</b>	

Отчисления во внебюджетные фонды составило 41070,1 рубля.

### 3.2.8 Накладные расходы

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 3) \cdot k_{\text{нр}} \quad (3.13)$$

Накладные расходы составили:

$$Z_{\text{накл}} = (2359,7 + 136900,3) \cdot 0,16 = 22281,6 \text{ руб}$$

### 3.2.9 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Расчетная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. (см. табл. 3.10)

Таблица 3.10 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Доля затрат
Материальные затраты	2359,7	1,2
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	122232,4	60,3
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	14667,9	7,2
Отчисления во внебюджетные фонды	41070,1	20,3
Накладные расходы	22281,6	11
Бюджет затрат на НИИ	202611,7	100%

Бюджет затрат на выполнение научно-исследовательской работы составил 202611,7 рублей.

### 3.3 Оценка эффективности исследования

В данной работе была разработана математическая постановка двухмерной задачи воздействия лесных пожаров на здания и сооружения. Проведены многочисленные расчеты по описанию воздействия лесных пожаров на здания и сооружения. В частности, для конкретных размеров зданий и очага лесного пожара были получены зависимости значений

температуры на зданиях в различные моменты времени для различных скоростей ветра. Это поможет определить на каком расстоянии возможно строительство деревянных построек, без опасения его возгорания.

В данном разделе выпускной квалификационной работы была проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности разработки, определена структура работ в рамках научного исследования, определена трудоемкость выполнения работ, построен график проведения научного исследования, подсчитан бюджет научного исследования равный.

## **4 Социальная ответственность**

### **4.1 Введение в раздел социальная ответственность**

В последние годы все большее значение приобретают требования мирового сообщества и практически всех государств к социальной стороне деятельности организаций. Это в равной мере относится к организациям всех типов, размеров и форм собственности вне зависимости от их географического размещения, сферы деятельности, культурных и национальных традиций.

В данном разделе выпускной квалификационной работы рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места инженера-менеджера в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды.

Основной целью данного раздела является создание оптимальных норм для улучшения условий труда, обеспечения производственной безопасности человека, повышения его производительности, сохранения работоспособности в процессе деятельности, а также охраны окружающей среды.

В связи с тем, что дипломная работа предусматривает моделирование воздействия лесных пожаров на здания и сооружения, вопросы производственной и экологической безопасности рассматриваются с позиции инженера, который моделирует. Производственная среда и организация рабочего места должны соответствовать общепринятым и специальным требованиям техники безопасности, эргономики, нормам санитарии, экологической и пожарной безопасности.

### **4.2 Техногенная безопасность**

В данном разделе анализируется рабочая зона инженера, занимающегося моделированием.

#### 4.2.1 Микроклимат помещения

Нормы оптимальных и допустимых метеорологических условий устанавливает СанПиН 2.2.4.548-96 [27]. Все категории работ разграничиваются на основе интенсивности энергозатрат организма в килокалориях за час (Вт). Работа инженера-менеджера относится к категории Ia - работа с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимая сидя и сопровождающаяся незначительным физическим напряжением.

Допустимые параметры микроклимата для помещения без избытка выделения тепла для работ категории тяжести Ia должны соответствовать требованиям таблицы 4.1.

Таблица 1 – Допустимые нормы микроклимата для категории работ Ia

Сезон года	Категория тяжести выполняемых работ	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/сек	
		Фактич знач.	Допуст знач.	Фактич знач.	Допуст знач.	Фактич знач.	Допуст знач.
Холодный	Ia	(21÷23)	(20÷25)	60	(15÷75)	0,05	0,1
Теплый	Ia	(22÷24)	(21÷28)	60	(15÷75)	0,05	0,1

Из таблицы 4.1 видно, что в анализируемом кабинете параметры микроклимата соответствуют нормам. Для поддержания оптимальных значений микроклимата используется система отопления и кондиционирования воздуха. Для повышения влажности воздуха в помещении следует применять увлажнители воздуха с дистиллированной или кипяченой питьевой водой.

## 4.2.2 Освещенность рабочего места

Согласно санитарно-гигиеническим требованиям рабочее место инженера должно освещаться естественным и искусственным освещением. Естественное освещение проникает в рабочий кабинет инженеров через одно большое окно в светлое время суток. Естественное освещение по своему спектральному составу является наиболее приемлемым. Искусственное же отличается относительной сложностью восприятия его зрительным органом человека.

При работе с персональным компьютером в сочетании с работой с нормативной и технической документацией согласно нормам [28] регламентируется минимальная искусственная освещенность рабочих мест в 200 лк при общем освещении. Разряд зрительной работы 4г: работа средней точности [29]. Требования к освещению на рабочих местах [30], оборудованных ПК представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Требования к освещению рабочего места, оборудованного ПК

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

Для искусственного освещения помещений с персональными компьютерами следует применять светильники типа ЛПО36 с зеркализированными решетками, укомплектованные высокочастотными пускорегулирующими аппаратами. Допускается применять светильники прямого света, преимущественно отраженного света типа ЛПО13, ЛПО5,

ЛСО4, ЛПО34, ЛПО31 с люминесцентными лампами типа ЛБ (см. рис. 4.1). Светильники должны располагаться в виде сплошных или прерывистых линий сбоку от рабочих мест параллельно линии зрения пользователя при разном расположении компьютеров.

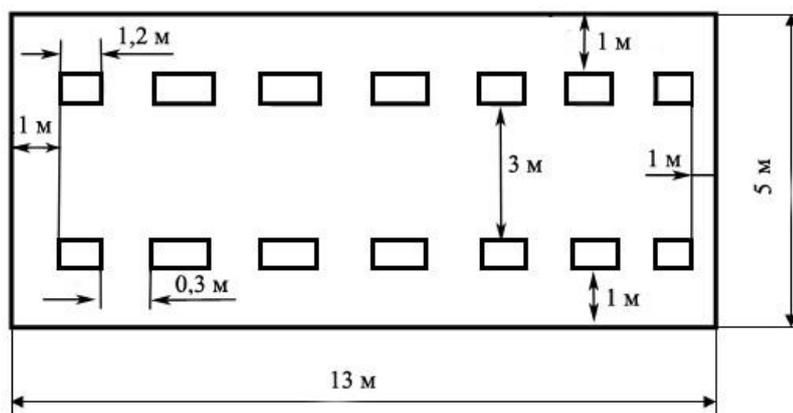


Рисунок 4.1 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Для обеспечения нормативных значений освещенности в помещениях следует проводить чистку стекол оконных проемов и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп.

### 4.2.3 Производственный шум

Шум является общебиологическим раздражителем и в определенных условиях может влиять на органы и системы организма человека.

Основными источниками шума в рассматриваемом кабинете являются компьютеры, мониторы, принтеры, кондиционер и работающие светильники люминесцентных ламп. Кроме этого шум проникает извне через открытые проемы форточек, окон и дверей.

В результате неблагоприятного воздействия шума на работающего человека происходит снижение производительности труда, увеличивается брак в работе, создаются предпосылки к возникновению несчастных случаев.

Уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50дБА (категория напряженности труда I, категория тяжести труда I) [31]. В рассматриваемом помещении уровень шума не превышает 50 дБ.

Шум на рабочем месте снижают, ослабляя шумы самих источников и специальными техническими решениями. Дополнительными мероприятиями по шумогашению на рабочем месте могут быть: устройство подвесного потолка, который служит звукопоглощающим экраном; использование звукопоглощающих материалов; уменьшение площади стеклянных ограждений и оконных проемов.

#### **4.2.4 Воздействие электромагнитного поля**

При длительном постоянном воздействии электромагнитного поля (ЭМП) радиочастотного диапазона на организм человека наблюдаются нарушения сердечно-сосудистой, дыхательной и нервной систем, характерны головная боль, утомляемость, ухудшение самочувствия, изменение проводимости сердечной мышцы.

Электромагнитное поле, создаваемое персональным компьютером, имеет сложный спектральный состав в диапазоне частот от 0 Гц до 1000 МГц, и в том числе мощность экспозиционной дозы мягкого рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана при любых положениях ПК не должна превышать 100 мкР/ч [32].

Время работы на персональном компьютере по санитарным нормам [32] не должно превышать 4 часа.

Допустимые значения параметров неионизирующих электромагнитных излучений от монитора компьютера представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Допустимые значения параметров неионизирующих электромагнитных излучений

Наименование параметра	Допустимые значения
Напряженность электрической составляющей электромагнитного поля на расстоянии 50см от поверхности видеомонитора	10 В/м
Напряженность магнитной составляющей электромагнитного поля на расстоянии 50см от поверхности видеомонитора	0,3 А/м
Напряженность электростатического поля не должна превышать: - для взрослых пользователей - для детей дошкольных учреждений и учащихся средних специальных и высших учебных заведений	20 кВ/м 15 кВ/м

Предельно-допустимые нормы электромагнитного поля представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Предельно-допустимые нормы электромагнитного поля

Диапазон частот	Напряженность электромагнитного поля	Плотность магнитного потока
5 Гц – 2 кГц	25 В/м	250 нТл
2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м	25 нТл

Среди средств защиты от ЭМП выделяют следующие: организационные мероприятия; инженерно-технические мероприятия; лечебно-профилактические мероприятия.

При работе в рассматриваемом кабинете воздействие ЭМП происходит только от монитора компьютера.

#### 4.2.5 Ионизирующее излучение

Оценка уровней ионизирующих излучений проводится при работе компьютерами, оснащенными мониторами с электроннолучевой трубкой. В данном случае работа велась за компьютером, снабженным монитором с

жидкокристаллическим экраном, поэтому оценка параметров по данному пункту раздела не проводилась.

#### **4.2.6 Электробезопасность на рабочем месте**

Согласно Правилам устройства электроустановок, все производственные помещения по опасности поражения электрическим током разделяются на три категории: помещения с повышенной опасностью, особо опасные помещения и помещения без повышенной опасности [33]. К опасным производственным факторам на рабочем месте относится возможность поражения электрическим током.

Кабинет, в котором выполнялась работа, относится к категории помещений без повышенной опасности, поскольку данное помещение характеризуется следующими признаками: температура воздуха и влажность в норме, отсутствие сырости, химически активной среды, токопроводящих полов и пыли.

Однако в процессе деятельности с ЭВМ, работающим от источника тока, может возникнуть опасность поражения электрическим током. Основными причинами этого могут послужить следующие действия: прикосновение к токоведущим частям или прикосновение к конструктивным частям, оказавшимся под напряжением. С целью исключения опасности поражения электрическим током необходимо соблюдать правила электрической безопасности.

К защитным мерам по предупреждению прикосновения к токоведущим частям электроустановок относятся: изоляция, ограждение, блокировка, пониженные напряжения, электрозщитные средства.

Электробезопасность также зависит от профессиональной подготовки работников, сознательной производственной и трудовой дисциплины. Каждому работнику целесообразно знать меры первой медицинской помощи при поражении электрическим током.

### **4.3 Региональная безопасность**

При использовании ПК могут возникнуть следующие виды негативного воздействия на окружающую среду: выбросы в атмосферу углекислого газа и образование тепла при пожаре; загрязнение почвы при утилизации старого ПК.

ПК после завершения использования (срока эксплуатации) можно отнести к отходам электронной промышленности. Переработка такого рода отходов осуществляется разделением на однородные компоненты, химическим выделением пригодных для дальнейшего использования компонентов и направлением их для дальнейшего использования: кремний, алюминий, золото, серебро, редкие металлы.

Пластмассовые части ПК утилизируются при высокотемпературном нагреве без доступа воздуха.

Отходы, не подлежащие переработке, утилизации и вторичному использованию подлежат захоронению на полигонах или в почве. Большое значение имеют нормативы предельно допустимых концентраций токсичных веществ в почве (ПДКп, мг/кг) в соответствии с [34].

### **4.4 Организационные мероприятия обеспечения безопасности**

Инженер при выполнении своей работы пользуется персональным компьютером, при работе с которым должны соблюдаться следующие требования, согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [35].

Высота рабочей поверхности стола для взрослых пользователей должна регулироваться в пределах 680 - 800 мм; при отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности стола должна составлять 725 мм.

Модульными размерами рабочей поверхности стола, на основании которых должны рассчитываться конструктивные размеры, следует считать: ширину 800, 1000, 1200 и 1400 мм, глубину 800 и 1000 мм при нерегулируемой его высоте, равной 725 мм.

Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной - не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног - не менее 650 мм.

Конструкция рабочего стула должна обеспечивать:

- ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм;
- поверхность сиденья с закругленным передним краем;
- регулировку высоты поверхности сиденья в пределах 400 - 550 мм и углам наклона вперед до 15 град, и назад до 5 град.;
- высоту опорной поверхности спинки 300 - 20 мм, ширину - не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости 400 мм;
- угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах 30 градусов;
- регулировку расстояния спинки от переднего края сиденья в пределах 260 - 400 мм;
- стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной 50 - 70 мм;
- регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах 230 - 30 мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах 350 - 500 мм.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100 - 300 мм от края, обращенного к пользователю или на специальной, регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы [32].

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии от 600 до 700 мм, но не ближе 500 мм [32].

Влажную уборку помещения следует проводить ежедневно. Недопустима запыленность воздуха, пола, рабочей поверхности стола и техники. Помещение должно быть оборудовано системами вентиляции,

кондиционирования и отопления. Запрещается работа на компьютере в подвальных помещениях.

#### **4.5 Особенности законодательного регулирования проектных решений**

Законодательством РФ регулируются отношения между организацией и работниками, касающиеся оплаты труда, трудового распорядка, социальных отношений, особенности регулирования труда женщин, детей, людей с ограниченными способностями и др.

Продолжительность рабочего дня не должна превышать 40 часов в неделю. Возможно установление неполных рабочих дней для беременной женщины; одного из родителей (опекуна, попечителя), имеющего ребенка в возрасте до четырнадцати лет (ребенка-инвалида в возрасте до восемнадцати лет) [36]. Оплата труда при этом производится пропорционально отработанному времени.

Организация обязана предоставлять ежегодные отпуска продолжительностью 28 календарных дней. Для работников, занятых на работах с опасными или вредными условиями, предусматривается дополнительный отпуск.

Работнику в течение рабочего дня должен предоставляться, перерыв не более двух часов и не менее 30 минут, который в рабочее время не включается. Всем работникам предоставляются выходные дни, работа в выходные дни производится только с письменного согласия работника.

Законодательством РФ запрещены дискриминация по любым признакам, а также принудительный труд.

## 4.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Пожарная безопасность предусматривает обеспечение безопасности людей и сохранения материальных ценностей предприятия на всех стадиях его жизненного цикла. Основными системами пожарной безопасности являются системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, включая организационно-технические мероприятия.

Пожар в одном из помещений предприятия представляет большую опасность и наносит огромный ущерб. Такой пожар характеризуется опасностью для жизни человека и, кроме того, грозит уничтожением приборов, компьютеров, инструментов и комплектов документов, представляющих значительную ценность. Возникновение пожара в кабинете может быть обусловлено следующими факторами: в современных ПК очень высокая плотность размещения электронных схем. При протекании по ним электрического тока выделяется значительное количество тепла, что может привести к повышению температуры отдельных узлов до 100°C. При этом возможно оплавление изоляции соединительных проводов, их оголение, как следствие - короткое замыкание, сопровождаемое искрением.

Следовательно, для целей обеспечения пожарной безопасности эксплуатация ЭВМ связана с необходимостью проведения обслуживающих, ремонтных и профилактических работ. При этом используются различные смазочные материалы, прокладываются временные электропроводки, ведется пайка и чистка отдельных узлов и деталей. Однако всегда есть вероятность дополнительной пожарной опасности, которая требует соответствующих мер пожарной профилактики.

Пожарная профилактика – комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращение возникновения пожара, а также ограничение его распространения и создание условий для успешного тушения пожара в случае его возникновения [37]. Успех борьбы с пожаром во многом зависит от его

своевременного обнаружения и быстрого принятия мер по его ограничению и ликвидации.

Исходя из установленной номенклатуры обозначений зданий по степени пожароопасности, анализируемое в данной работе помещение относится в категории В согласно НПБ 105-03 [38].

Среди организационных и технических мероприятий, осуществляемых для устранения возможности пожара, выделяют следующие меры:

- использование только исправного оборудования;
- проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- назначение ответственного за пожарную безопасность помещений предприятия;
- издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности
- отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ;
- курение в строго отведенном месте;
- содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

На предприятии имеются огнетушители типа ОУ-8 и ОХП-10, а также силовой щит, который позволяет мгновенно обесточить кабинет. На видном месте в коридорах вывешены инструкции, обязанности сотрудников и план эвакуации (см. рис. 4.2) в случае пожара.

СОГЛАСОВАНО  
Начальник СПЧ-4  
ФГКУ СУФПС №49  
МЧС России  
ЧЕРНОВСКИЙ В.В.

# ПЛАН ЭВАКУАЦИИ

Здание 110 первый этаж

УТВЕРЖДАЮ  
Главный инженер  
ОАО "ИРМ"  
Сулимов Е.М.

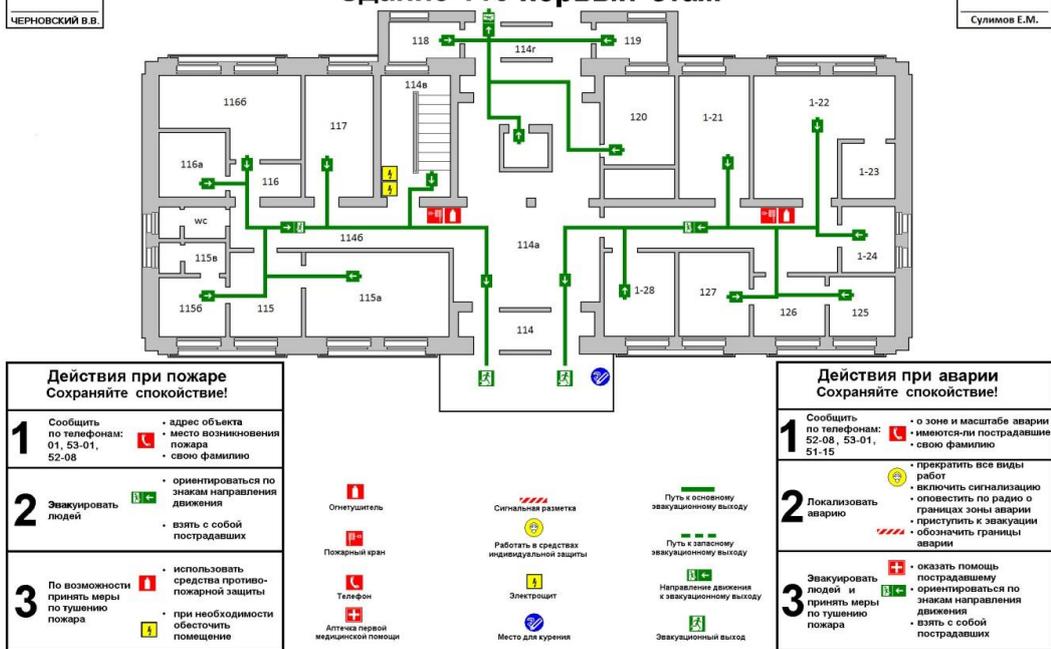


Рисунок 4.2 – План эвакуации при ЧС

В случаях, когда не удастся ликвидировать пожар самостоятельно, необходимо вызвать пожарную охрану и покинуть помещение, руководствуясь разработанным и вывешенным планом эвакуации. Конкуренция между компаниями диктует необходимость постоянного улучшения качества выпускаемой продукции, оказания услуг, всеми возможными методами.

Современная система управления качеством на предприятии должна оптимально сочетать методы, действия и средства, обеспечивающие изготовление продукции, оказание услуг, удовлетворяющих потребности рынка. Однако, так как требования потребителей часто меняются, предприятия должны быстро адаптироваться к новым условиям.

В работе подробно рассмотрены тенденции и преимущества внедрения интегрированных систем. Так же выделено особое значение персоналу в процессе интеграции. Рассмотрены организационный механизм реализации проекта по разработке и внедрению интегрированной системы менеджмента.

Так же, итогом данной выпускной квалификационной работы является моделирование воздействия лесного пожара на здания и сооружения.

## **Заключение**

Таким образом, в данном исследовании была разработана математическая модель воздействия лесных пожаров на здания и сооружения. Для визуализации использовалось программное обеспечение MATLAB. Были проведены многочисленные расчеты по описанию воздействия лесных пожаров на здания и сооружения. Проведены численные расчеты по распределению полей температуры, скорости и концентрации.

Для заданных размеров здания, скорости ветра и расстояния от правого края лесного массива до деревянной постройки были получены зависимости значений температуры на стенке здания при различных скоростях ветра и при разной удалённости здания от лесного массива. На основе результатов численных расчетов делаются выводы о возможности воспламенения рассматриваемого объекта. На основе полученных данных можно сделать вывод, что при увеличении скорости ветра увеличиваются размеры зоны зажигания. Для более высоких зданий зажигание возможно на больших расстояниях.

С помощью представленной модели определены безопасные расстояния от правого края лесного массива до деревянной постройки при различных скоростях ветра.

## Список используемых источников

1. Федеральное агентство лесного хозяйства [Электронный ресурс] / URL: <http://www.rosleshoz.gov.ru>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 02.03.2017 г.
2. Гришин А.М. Анализ действия лесных и степных пожаров на города и поселки и новая детерминированно-вероятностная модель прогноза пожарной опасности в населенных пунктах [Текст] / А.М. Гришин, П.В. Пугачева // Вестник Томского Государственного Университета. – 2009. – №1(6). – С. 41-48.
3. Лесной дозор [Электронный ресурс] / URL: <http://www.lesdozor.ru>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. Дата обращения: 24.03.2017 г.
4. Шарагин, А. М. Влияние лесных пожаров на экологическую ситуацию [Текст] / А. М. Шарагин. // Успехи современного естествознания. – 2011. – №7. – стр. 236-236.
5. Значение леса [Электронный ресурс]. – М.: Пиломатериалы, 2010. – URL: <http://sy4ok.ru>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. Дата обращения: 19.03.2017 г.
6. МЧС России [Электронный ресурс] / URL: <http://www.mchs.gov.ru>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. Дата обращения: 03.03.2017 г.
7. Лесная энциклопедия: В 2-х т., т.2/Гл.ред. Воробьев Г.И.; Ред.кол.: Анучин Н.А., Атрохин В.Г., Виноградов В.Н. и др. - М.: Сов. энциклопедия, 1986.-631 с., ил.
8. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. Новосибирск: Наука, 1992. 408 с.
9. Конев Э.В. Физические основы горения растительных материалов. Новосибирск: Наука, 1977. 239 с.
10. Щетинский Е.А. Тушение лесных пожаров: Пособие для лесных пожарных. М: ВНИИЛМ, 2002. 104 с.
11. Мазур И.П., Иванов О.П. Опасные природные процессы. Вводный курс. – М.: Экономика, 2004.

12. Кузнецов Г.В., Барановский Н.В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 301 с.
13. Гришин А.М., Голованов А.Н., Смирнов В.Г. О методике экспериментального определения параметров в зоне лесного пожара // Физика горения и взрыва. 1995. Т.31, № 3.
14. Гоман П.Н., Соболев В.Р., Баровик Д.В., Таранчук В.Б. Экспериментально-численное моделирование процесса горения и распространения огня в условиях лесного низового пожара. / Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности», выпуск № 3 (37) – 2011 г.
15. ГОСТ Р 22.1.09-99 “Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования”.
16. Раздорожный А.А. Охрана труда и производственная безопасность: Учебное пособие. – М.: Издательство «Экзамен», 2005. – 512 с.
17. Гришин А.М., Зятнин В.И., Перминов В.А. Экспериментальное исследование перехода низового лесного пожара в верховой. – Томск. Томский ун.-т, Деп. ВИНТИ № 982-91 от 06.03.91. 22 с.
18. Гришин А.М., Алексеев Н.А., Грузин А.Д. и др. Физическое моделирование распространения лесных пожаров и взаимодействия ударных волн с фронтом пожара. – Томск, Томский ун.-т, Деп. ВИНТИ № 2883-в89 от 04.05.89. 59с.
19. Математическое моделирование возникновения верховых и массовых лесных пожаров: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук: специальность 01.02.05 <Механика жидкости, газа и плазмы> / Перминов Валерий Афанасьевич; [Том. гос. ун-т]. - Томск: 2010. - 39 с.
20. Доррер Г.А. Динамика лесных пожаров. Новосибирск: Наука, 2008. 403с.
21. Ходаков В.Е., Жарикова М.В. Лесные пожары: методы исследования. – Херсон: Гринь Д.С., 2011. – 470 с.

22. Anderson, D.G. Modeling the spread of grass fires // Journal of Australian Mathematical Society (series B) / D.G.Anderson, E.A. Catchpole, N.J. de Mestre, T. Parkes. – 1982. – № 23.
23. Suhas Patankar. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. Hemisphere Publishing Corporation. 1980. 214 p.
24. Судаков И.А. К вопросу об устойчивости численной схемы [Текст] / Патанкара И. А. Судаков, Т.Г. Сукачева // Компьютерные исследования и моделирование – 2012. – № 4 – С. 827–835.
25. Патанкар С.В. Численное решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена при течениях в каналах. М.: Изд-во МЭИ, 2003. – 312 с.
26. Перминов В. А. Математическое моделирование возникновения вер-ховых и массовых лесных пожаров [Текст] : дис. ... док. физ.-мат. наук : 01.02.05 : утв. 27.08.10 / В. А. Перминов. – 2010. – 283 с.
27. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав России, 1997. – 15 с.
28. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий. М.: Минздрав России, 2003. – 37 с.
29. СП 52.13330.2011. Свод правил. Естественное и искусственное освещение. – М.: Минздрав России, 2011. – 43 с.
30. Назаренко О.Б. Расчет искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей. – Томск: Изд. ТПУ, 2001. – 15 с.
31. ГОСТ 12.1.003-83. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. – М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2008. – 11с.
32. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарные правила и нормы. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы – М.: Минздрав России, 2003. – 37с.

33. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов – М.: Стандартиформ, 2001. – 4 с.
34. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПКД) химических веществ в почве. – М.: Роспотребнадзор, 2006. -15 с.
35. Белов С.В., Барбинов Ф.А., Козьяков А.Ф. Охрана окружающей среды: Учеб для техн. ВУЗов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 1991. – 319 с.
36. ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: Минздрав России, 1991. – 126с.
37. НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности – М.: Минздрав России, 2003. – 31с.
38. Валендик Э.Н., Матвеев П.М., Софронов М.А. Крупные лесные пожары и борьба с ними. М.: Наука, 1979. 198 с