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

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Математическая модель воздействия лесных пожаров на населенные пункты

УДК 630*432.1:911.37:519.87

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Е41	Коржова Александра Юрьевна		

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
Старший преподаватель ОСГН	Николаенко Валентин Сергеевич			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП 20.03.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ларионова Екатерина Владимировна	к.х.н.		

Томск – 2018 г.

Результаты освоения образовательной программы по направлению

20.03.01 Техносферная безопасность

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
Р1	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.
Р2	Демонстрировать понимание сущности и значения информационных технологий в развитии современного общества и для ведения практической инновационной инженерной деятельности в области техносферной безопасности
Р3	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
Р4	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.
Универсальные компетенции	
Р5	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.
Р6	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
Р7	Уметь организовать деятельность по обеспечению техносферной безопасности на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателя, в том числе при реализации инновационных междисциплинарных проектов
Р8	Уметь оценивать механизм, характер и риск воздействия техносферных опасностей на человека и природную среду
Р9	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»**

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

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
20.03.01 Техносферная безопасность
_____ Е.В. Ларионова
05.02.2018 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
1Е41	Коржовой Александре Юрьевне

Тема работы:

Математическая модель воздействия лесных пожаров на населенные пункты	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	13.06.2018 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования в данной работе являются лесные пожары. С помощью программного обеспечения MATLAB были построены графики, расчеты производились с помощью программы Wildinte. Предметом исследования являлось математическое моделирование воздействия лесных пожаров на населенные пункты.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1) Обзор существующих теоретических и экспериментальных методов изучения лесных пожаров 2) Выбор метода математического моделирования 3) Применение метода контрольного объема для получения дискретного аналога 4) Разработка математической постановки задачи о возникновении и распространении лесных пожаров

	5) Задание исходных данных и параметров. 6) Разработка численной методики решения двумерной задачи. 7) Численное решение задачи о воздействии лесных пожаров населенные пункты 9) Анализ результатов решения задачи и анализ воздействия лесных пожаров на населенные пункты

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	**Николаенко Валентин Сергеевич**
Социальная ответственность	**Мезенцева Ирина Леонидовна**

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.02.2018 г.

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов Валерий Афанасьевич	Доктор физико-математических наук		05.02.2018 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Е41	Коржова Александра Юрьевна		05.02.2018 г.

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность
Уровень образования бакалавриат
Отделение контроля и диагностики
Период выполнения весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	13.06.2018 г.

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
12.03.2018 г.	Введение 1.Обзор литературы 1.1 Общие сведения о лесе и классификация лесных пожаров	20
26.03.2018 г.	1.2 Статистические данные по лесным пожарам в населенных пунктах	10
09.04.2018 г.	1.3 Экспериментальные исследования возникновения и развития лесных пожаров и их воздействие на населенные пункты	15
23.04.2018 г.	2. Математическое моделирование воздействия лесных пожаров на населенные пункты 2.1 Физическая постановка задачи 2.2. Математическая постановка задачи	15
07.05.2018 г.	3. Результаты численного решения задачи 3.1 Метод контрольного объема 3.2 Дискретный аналог для двух измерений. 3.3 Алгоритм SIMPLE 3.4 Результаты расчетов и анализ	10
21.05.2018 г.	4.Разработка разделов «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» 5. «Социальная ответственность»	10
	Оформление и представление ВКР	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов Валерий Афанасьевич	д.ф.-м.н.		05.02.2018

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП 20.03.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ларионова Е.В.	к.х.н.		05.02.2018

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
1Е41	Коржовой Александре Юрьевне

Школа	ИШНКБ	**Отделение**	ОКД
Уровень образования	Бакалавр	**Направление/специальность**	Техносферная безопасность

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ)	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; наблюдение.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Использованная система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведение НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения НЗЗ	Определение потенциального потребителя результатов исследования, SWOT-анализ, определение возможных альтернатив проведения научных исследований
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование этапов работы , распределение исполнителей НИ
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений *2.* Матрица SWOT *3.* Интерактивные матрицы *4.* Морфологическая матрица *5.* Перечень этапов, работ и распределение исполнителей НИ	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОСГН	Николаенко Валентин Сергеевич			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Е41	Коржова Александра Юрьевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1Е41	Коржовой Александре Юрьевне

Школа	**ИШНКБ**	**Отделение**	**ОКД**
Уровень образования	Бакалавриат	**Направление/специальность**	20.03.01/20.04.01 Техносферная безопасность

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования в данной работе является программа по моделированию лесных пожаров. Область применения данной программы разработка алгоритмов, анализ данных, исследование и визуализация результатов моделирования.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения. 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.	1.1 Воздействие на инженера-исследователя по моделированию опасных факторов, таких как неблагоприятный микроклимат, недостаточная освещенность рабочей зоны, повышенный уровень шума на рабочем месте, повышенная напряженность электрического поля 1.2 Воздействие на инженера-исследователя по моделированию опасных факторов пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения), электробезопасность (в т.ч. статическое электричество);
2. Экологическая безопасность:	Негативное влияние токсических веществ от ПК на окружающую среду, загрязнение почвы при утилизации персональных компьютеров
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	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
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Е41	Коржова Александра Юрьевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 78 с., 23 рис., 15 табл., 46 источников.

Ключевые слова: математическая модель, лесные пожары, населенные пункты, воздействие, лесной массив, метод контрольного объема.

Объектом исследования в данной работе являются лесные пожары. С помощью программного обеспечения MATLAB были построены графики, расчеты производились с помощью программы Wildinte.

Цель работы – определение безопасных расстояний, от очага горения леса до населенных пунктов, стоящих вблизи лесных массивов.

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

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

Степень внедрения: разработанная в работе математическая модель воздействия лесных пожаров на населенные пункты опубликована в сборниках научных конференций.

Экономическая эффективность/значимость работы данная работа позволит более точно определить безопасные расстояния от лесных пожаров до населенных пунктов.

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

Сокращения и обозначения

ЛП – лесные пожары

ВЛП – верховой лесной пожар

НЛП – низовой лесной пожар

МКО – метод контрольного объёма

ЭВМ – электронно-вычислительная машина

ПО – программное обеспечение

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение..... 14

1.Обзор литературы по изучению лесных пожаров 17

1.1 Общие сведения о лесе и классификация лесных пожаров..... 17

1.2 Статистические данные по лесным пожарам в населенных пунктах..... 21

1.2.1 Мировая статистика лесных пожаров..... 21

1.2.2 Лесные пожары в России 22

1.2.3 Лесные пожары в Томской области 27

1.3 Экспериментальные исследования возникновения и развития лесных пожаров и их воздействие на населенные пункты 28

2. Математическое моделирование воздействия лесных пожаров на населенные пункты 32

2.1 Физическая постановка задачи 32

2.2. Математическая постановка задачи 34

3. Результаты численного расчета..... 37

3.1 Метод контрольного объема..... 37

3.2 Дискретный аналог для двух измерений 38

3.3 Алгоритм SIMPLE 41

3.4 Результаты расчетов и анализ..... 42

4. Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережения» 50

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения 50

4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования 50

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений..... 51

4.2. SWOT-анализ 53
4.3 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований 57
4.4 Планирование научно-исследовательских работ 58
4.4.1 Структура работы в рамках научного исследования 58
5. Раздел «Социальная ответственность» 60
5.1 Введение в раздел 60
5.2 Производственная безопасность 60
5.1.1 Отклонение показателей микроклимата 62
5.1.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны 64
5.1.3 Повышенный уровень шума на рабочем месте 65
5.1.4 Повышенная напряженность электрического поля 66
5.1.5 Электрический ток 67
5.1.6 Механические опасности 67
5.2 Экологическая безопасность 67
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях 68
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности 70
Заключение 73
Список литературы 74

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день одной из актуальных проблем становиться негативное воздействие лесных пожаров. Ежегодно в России возникают десятки тысяч лесных пожаров, которые выбрасывают в атмосферу тонны продуктов сгорания. Лесные пожары пагубно влияют на ценную древесину, лишают почву растительного покрова, приводят к ухудшению состояния водоемов, снижают научную ценность ландшафтов, приносят вред человеческому здоровью, гибнут животные, сгорают жилые здания и постройки и это только малая часть негативного воздействия лесных пожаров [1]. Лесные пожары приносят огромный ущерб, который не ограничивается стоимостью уничтоженной древесины. Различные виды лесных пожаров представляют собой проблему для ведения лесного хозяйства, а опасные стихийные бедствия, создают угрозу для здоровья и жизни людей и материальных ресурсов, приносят огромный ущерб, негативно воздействуя на населенные пункты, находящихся вблизи районов их возникновения и развития [2]. Поэтому следует увеличить пожароустойчивость лесов, а при возникновении пожара немедленно реагировать на него и устранять, не дав погубить большие площади леса.

Леса являются национальным богатством на планете. Общая площадь лесов составляет почти третью часть всей суши, что составляет 38,2 млн. $км^2$ [3], из них человек посадил 256 млн. га, а это всего 7% от общей площади лесов [4]. Территория, покрытая лесами в Российской Федерации, занимает около 8 млн. км² (800 млн. га), то есть 45,4 % территории страны [5]. Ежегодно на территории лесного фонда Российской Федерации регистрируются от 12 до 36 тыс. пожаров в лесных массивах, они охватывают огромные площади [6].

Уже в течение многих столетий лесные пожары приносят человечеству большой вред. По проведенному анализу эти стихийные бедствия находятся на одном из первых мест с точки зрения вреда, как в экономической сфере,

так и экологии. Экологические последствия от лесных пожаров заключаются в загрязнении атмосферного воздуха углекислым газом и продуктами пиролиза лесных горючих материалов [7].

После прохождения лесных пожаров значительно ухудшаются свойства древесины, а также усложняются условия восстановления. Помимо всего прочего, меняется растительность животного мира, условия проживания людей в населенных пунктах, изменяются в худшую сторону свойства сельскохозяйственных земель. Поэтому данная проблема считается актуальной.

Целью данной работы является определение безопасных расстояний, от очага горения леса до населенных пунктов, стоящих вблизи лесных массивов.

Следует разработать вычислительную методику для расчета модели, чтобы определить безопасные расстояния для построек с учетом различных метеорологических условий. При этом учитываются влияние ветра, размеры здания, высота лесного массива, параметры лесного пожара, температура, время и другие факторы.

Основные задачи исследования:

1. Разработка математической модели распространения верхового лесного пожара и его воздействия на здания в населенных пунктах.
2. Применение численных методов для решения поставленной задачи.
3. Проведение численных расчетов для изучения воздействия лесных пожаров на здания.
4. Визуализация результатов расчетов с помощью ПО MATLAB.
5. Анализ полученных данных.

Объектом исследования в данной работе являются лесные пожары. Исследование воздействия лесных пожаров на деревянное здание заключалось в определении безопасных расстояний между очагом пожара и

зданием. С помощью программного обеспечения MATLAB были построены графики, расчеты производились с помощью программы Wildinte.

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

Экспериментальное изучение лесного пожара не дает полного физического моделирования этого явления, следовательно, рассматриваются другие возможные пути исследования, а именно теоретические методы исследований, поэтому рассматриваем математическое моделирование, описывающее положение, в котором находится приземный слой атмосферы и биогеоценоз [7].

Несмотря на большие потери леса в России, они имеют огромную национальную значимость, приобрели экономическое и экологическое значение. Леса являются большим показателем биологической продуктивности, оказывают огромное влияние на экологию планеты, а также являются крупнейшим накопителем углерода на Земле [8].

1.ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ИЗУЧЕНИЮ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

1.1 Общие сведения о лесе и классификация лесных пожаров

Лес – составная часть природы, в сообществах которой преобладают деревья одного или многих видов растущие вблизи друг от друга, а также животный мир и микроорганизмы, биологически взаимосвязанные в своем развитии между собой. Так как, лес это сложный природный комплекс, он несет за собой множество проблем – экологических, законодательных, демографических, которые сплетаются в единый клубок, за какую нитку ни потяни, она тащит за собой новые цепочки причин и следствий. Впервые определение леса дал русский ученый, лесовод Г.Ф. Морозов, еще в начале XX века, он утверждал, что лес это сообщество деревьев, и древесных растений [9].

Леса составляют третью часть суши. Производство деловой древесины развито в России. С экологической точки зрения леса обогащают воздух кислородом и играют важную роль в его очищении. А также играют огромную роль в сохранении земельных ресурсов. Огромное количество разных ароматических соединений выделяют именно леса. К ним могут относиться фитонциды и эфирные масла, которые негативно влияют на болезнетворных микробов и приводят к их смерти. В хвойных лесах отсутствуют патогенные микробы [10]. Растительный состав леса зависит от географического положения, которое оказывает влияние на водный и тепловой режим. Географическое положение влияет на состав животного и растительного мира. Еще недавно леса оценивались как источник получения древесины и других биологических ресурсов, но сейчас леса рассматриваются как фактор обеспечения экологической безопасности и человеческого развития [1].

Лесной пожар – является неконтролируемым распространением огня по лесному массиву. Лесные пожары, это явление сопровождающиеся выбросом в атмосферу большого количества копоти, сажи, двуокиси

углерода. Наиболее опасным видом пожаров являются верховые. Верховой лесной пожар охватывает хвою, листья, ветви, и всю крону, а также может охватить травяной покров почвы. На долю верховых лесных пожаров приходится до 70% выгоревшей площади. Основные механизмы возникновения различных видов пожаров в лесных массивах до конца не определены. Тушение лесных пожаров большинстве случаев малоэффективно или невозможно, а также требует больших затрат сил и средств [11].

Лесные пожары нарушают состав леса и негативно влияют на всю окружающую среду. Причины возникновения лесных пожаров в основном человеческая халатность, в другом случае грозовые разряды или долгосрочная жара, засуха. Рельеф местности, где проходит пожар также оказывает не малое воздействие, непосредственно влияет 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. Еще одной причиной являются сельхозпалы, они ведут к деградации почв и гибели насекомых. Иногда лесной пожар вызывают преднамеренно для борьбы с насекомыми или болезнями деревьев, но такие пожары находятся под контролем человека. Так как проблема лесных пожаров очень актуальна, она давно исследуется разными учеными. Много статей можно найти на данную тему. Многие ученые считают, что после пожара повышается плодородие почвенного состава, отсюда возрастает разнообразие видов в экосистемах. Также лесные пожары нарушают функционирование и состав лесов. Для восстановления леса после пожара требуется очень много времени [7].

Лесные пожары имеют свою основную классификацию. В первую очередь пожары в зависимости от характера возгорания и состава леса можно разделить на верховые, низовые и подземные. Второе название подземных

пожаров – торфяные, это когда горит подстилка или первый нижний слой яруса леса. Низовые пожары тоже имеют несколько других названий, например валежный или напочвенный, подлесно-куставой. Горят нижние слои яруса леса. По кронам деревьев распространяется верховой пожар. Для возникновения крупных лесных пожаров с переходом в верховые необходимы определенные факторы, сухая жаркая погода, большое количество действующих очагов низовых пожаров, усиление ветра от умеренного до штормового. Населенные пункты и объекты различного назначения, расположенных вблизи лесных массивов, в таких условиях подвергаются угрозе [1]. Деревья при таком пожаре часто сгорают полностью или его большая часть в зависимости от интенсивности и типа древесины. По интенсивности лесные пожары делятся на слабые, средние и сильные [7].

Лесные пожары классифицируются еще по одному признаку [12] . Пожары, которые распространяются по территории с одним ландшафтом, называются ландшафтно-однородными. Если же ландшафт меняется, то это смешенный тип лесного пожара. Однородные лесные пожары охватывают меньшую площадь горения и мощность их меньше, чем смешанных пожаров.

По скорости распространения лесной пожар классифицируется как беглый и устойчивый. Беглый верховой пожар характеризуется быстрым распространением огня по кронам деревьев по направлению ветра. А при устойчивом лесном пожаре, огонь захватывает все от подстилки до крон. Так же пожары бывают простые и сложные. Если тип пожара на протяжении всего процесса горения ЛГМ не меняется, то это простой лесной пожар, а если меняется то сложный [12].

Тепло при пожаре затрачивается на нагрев горючих материалов, их просушивание и пиролиз. Продукты пиролиза сгорают, выделяя большое количество энергии, далее процесс повторяется. Под пиролизом рассматривают расщепление на простые органические продукты, за счет высокой температуры, из более сложных соединений.

Существует два вида горения лесных массивов пламенное и беспламенное. Тепло выделяемое при горении способствует возникновению новых очагов, а излучение усиливает горении. Количество верховых лесных пожаров зависит от погодных и температурных условий [13]. Чаще всего наибольшее количество лесных пожаров выпадает на летний период, в зимнее время лесные пожары бывают редко, но все же имеют местно быть торфяные пожары [14].

Вопросы обеспечения защиты населенных пунктов от воздействия крупномасштабных лесных пожаров необходимо рассматривать совместно с вопросами обеспечения пожарной безопасности в лесах. Практическое осуществление мероприятий по обеспечению пожарной безопасности в лесах возложено на государственную лесную охрану или ведомственную охрану, если леса закреплены за другими владельцами. Нормативно-правовые документы определяют классификацию чрезвычайных ситуаций возникших вследствие лесных пожаров, рассматривают вопросы защиты населения и территории от лесных пожаров. В случае введения режима чрезвычайной ситуации и угрозы перехода огня на населенные пункты и объекты экономики к тушению лесных пожаров, привлекают силы и средства МЧС России. К мероприятиям по обеспечению пожарной безопасности в населенных пунктах относят инженерно-технические и организационные мероприятия [11]. К инженерно-техническим можно отнести обеспечение защиты населения, рассредоточенное размещение построек, оборудование пожароопасных территорий. Организационные мероприятия по защите населенных пунктов от лесных пожаров рассматривают прогнозирование пожарной обстановки, планирование предупреждения и ликвидации лесного пожара и мер по защите территорий населенных пунктов и самого населения, организация пожарного наблюдения. Для населенных пунктов более подверженных лесным пожарам, имеющих общую границу с лесными массивами разрабатывается паспорт населенного пункта, который состоит их двух блоков. Первый содержит сведения о населенном пункте, второй

определяет основные показатели и критерии, готовность подразделения органа местного самоуправления. Перечисленные выше мероприятия по защите населенных пунктов от лесных пожаров ориентированы на нейтрализацию лесного пожара, а этого недостаточно для защиты самих населенных пунктов, не имеющих для этого средств и сил [11].

1.2 Статистические данные по лесным пожарам в населенных пунктах

Лесные пожары – это стихийные бедствия, которые, как правило, охватывают огромные территории в несколько сотен, тысяч и даже миллионов гектаров. Истинные размеры реальной пожарной опасности очень велики, мало кто знает, как часто возникают пожары, каковы их социальные, экономические и экологические последствия. Ежегодно погибает большое количество людей, выгорает лесов, уничтожается жилищ, зданий. Для того чтобы дать достаточно точные ответы на эти вопросы, необходимо постоянно вести учет всех пожаров и их последствий, собирать определенные статистические данные. Сейчас все больше и больше исследуют проблему возникновения пожара по всему миру, чтобы уменьшить его риск.

1.2.1 Мировая статистика лесных пожаров

За 2017 год в мире насчитывается более 300 тыс. случаев возгораний в лесах. Ущерб от лесных пожаров оценивается в миллиардах долларов. Статистика лесных пожаров за 5 лет выделяет ряд наиболее подверженных этому явлению регионов: Россия, США, Канада, Португалия, Франция, Испания, Австралия и другие страны. Также в прошлом году горением были охвачены огромные массивы лесов в Северной Америке. Самый крупный лесной пожар был отмечен в Канаде – огнем было охвачено 504,4 тыс. га, уничтожено 1921 строение. В данных регионах происходят самые масштабные лесные пожары в мире. Крупные лесные пожары были в Австралии в 1939, 1983 и 2013 годах [16].

1.2.2 Лесные пожары в России

Объем статистических данных о лесных пожарах в России расширяется. Обширные массивы лесов, как в европейской части страны, так и в Сибири подвержены действию разрушительной силы огня. Основные причины – умеренный континентальный климат, не изобилующий осадками и человеческая неосторожность в обращении с огнем [16]. На рисунке 1.1 представлено количество лесных пожаров по фактору возникновения в Российской Федерации.

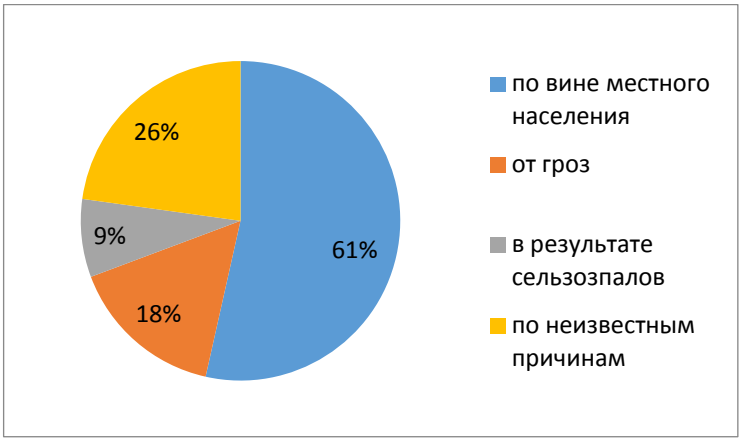


Рисунок 1.1 – Количество лесных пожаров по фактору возникновения [1,18]

По данным рисунка 1.1 можно сделать соответствующий вывод, что самый распространенный фактор возникновения лесных пожаров это по вине местного населения. В радиусе до 5 км возникает 70% лесных пожаров [1,18].

Ежегодно в России регистрируется от 10 до 35 тыс. пожаров в лесах охватывающих площади до 2,5 млн. га. Самыми пожароопасными регионами страны являются Дальний Восток, Сибирь, Ханты–Мансийский округ, Забайкальский край, Иркутская область, Красноярский край, Поволжье, Урал, Свердловская область [16].

Наибольший ущерб, приносящий, лесному фонду в России являются пожары в тайге. Огромные площади, занятые лесом, отдаленные от крупных населенных пунктов, затруднительные подъездные пути позволяют огню очень быстро набирать силу. Лесные пожары в Сибири считаются самыми масштабными и приносящими наибольший урон.

Один из самых низких уровней возгораний имеет Республика Карелия. За 2016 год здесь произошло всего 149 пожаров площадью 318,8 га, что меньше среднего показателя по стране в 13 раз. Благоприятна обстановка и в Крыму. В республике за прошлый год было ликвидировано 82 лесных пожара на площади 47,4 га [16].

Ответственность за лесные пожары по закону несут лица прямо или косвенно повлиявшие на их возникновение и распространение. Наказание предусматривает штраф от 1500 до 400 000 руб. или исправительные работы сроком до 2 лет [16].

Таблица 1.1 Количество природных пожаров в РФ

Год	Количество природных пожаров
2012	19329
2013	9991
2014	16865
2015	12337
2016	11025
2017	10475

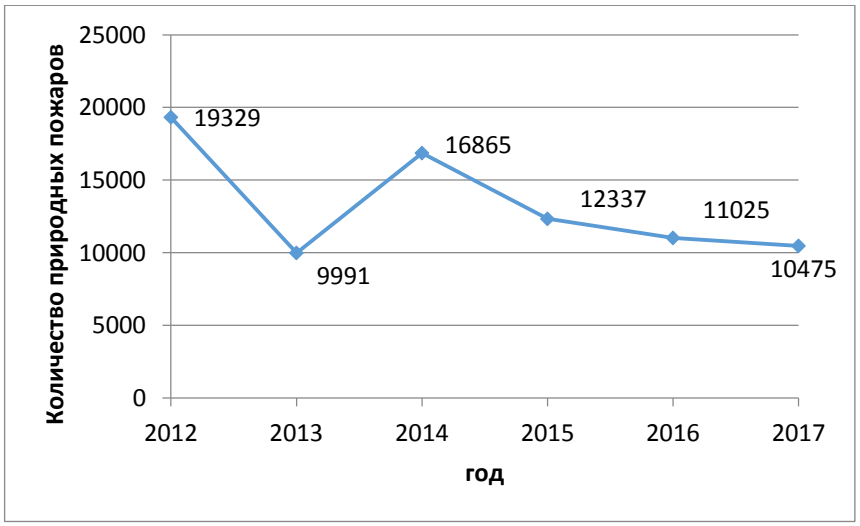


Рисунок 1.2 – Количество природных пожаров в России по годам [17]

Исходя из Рисунка 1.2, можно сделать вывод, что 2012 является самым пожароопасным годом из всех выше представленных годов, количество лесных пожаров в 2012 году составляет около 19329. Катастрофическое

положение с пожарами на территориях с лесными массивами в Российской Федерации в 2012 году связано с огромным комплексом различных факторов как природного, так и административно-хозяйственного характера. К основным факторам, относятся, большое количество мертвой сухой древесины в лесах, нарастающее изменение климата, разрушение Лесным кодексом 2012 года экономических основ существования лесного хозяйства, неосуществимость обеспечить достаточной численностью работников леса. Как видно из таблицы количество возгораний в 2015–2016 годах значительно снизилось по сравнению с 2014 годом [17]. Разница в процентах составляет 25–30 %. По сравнению с 2016 годом, в 2017 году количество лесных пожаров сократилось в 1,1 раза (на 851 пожар). Площадь, пройденная лесными пожарами, сократилась в 1,2 раза (на 894 926 га) [18]. За последние 5 лет прошлый год демонстрирует самые низкие показатели по количеству пожаров в лесу. Такая тенденция по годам связана с тем, что государство осуществляет мониторинг лесных пожаров, проводит техническое совершенствование противопожарной службы, выбирает оптимальные средства противодействия огню, учитываются особенности лесных пожаров – от его вида до характера и скорости распространения огня [16].

Лесные пожары вызывают возгорание зданий в населенных пунктах, а также на складах с нефтепродуктами и другими сгораемыми материалами, линиями электропередач и связи на деревянных столбах, приводят к поражению людей и сельскохозяйственных животных [13]. В таблице 2 можно увидеть прямой ущерб от лесных пожаров в населенных пунктах по годам.

Таблица 1.2 – Ущерб от лесных пожаров в населенных пунктах по годам [17]

Год	Повреждено зданий	Уничтожено зданий
2012	16907	6571
2013	9510	2107
2014	10207	3523
2015	8574	1325
2016	7388	1493
2017	6168	2594

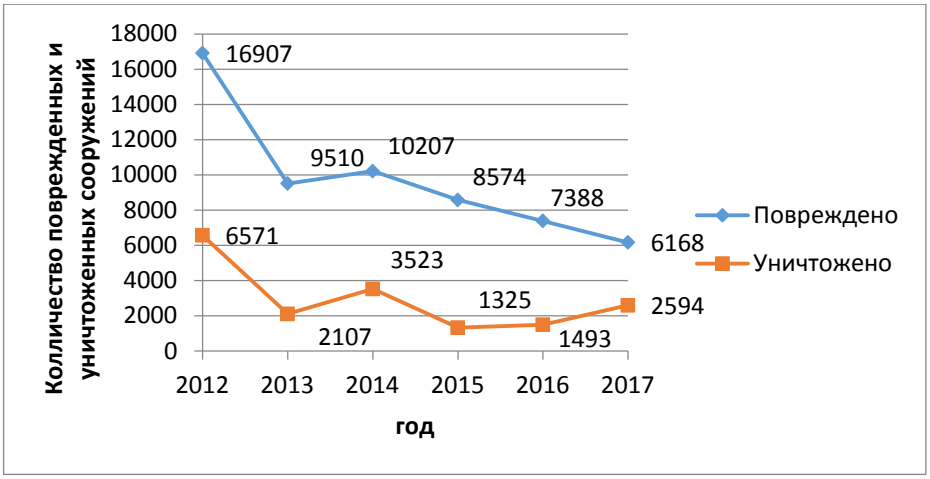


Рисунок 1.3 – Воздействие лесных пожаров на здания [17]

Из Рисунка 1.3 видно масштаб ущерба, наносимого лесными пожарами на населенные пункты. По рисунку видно, что в 2012 году самый крупный ущерб, и уничтожено наибольшее количество зданий, а еще большее повреждено [17].

Всего в России 85 регионов. Географические, социально-экономические и климатические характеристики регионов отличаются из-за большой протяжённости страны. Некоторые регионы имеют огромные площади лесных насаждений, что накладывает на них большую ответственность по защите и профилактике леса. На рисунках 1.4, 1.5 представлены количество и площадь лесных пожаров, которые возникли на территории субъектов Российской Федерации в зонах наземного обнаружения и тушения, и лесоавиационных работ по данным региональных диспетчерских служб лесного хозяйства в период с 01.01.2017 по 28.12.2017.

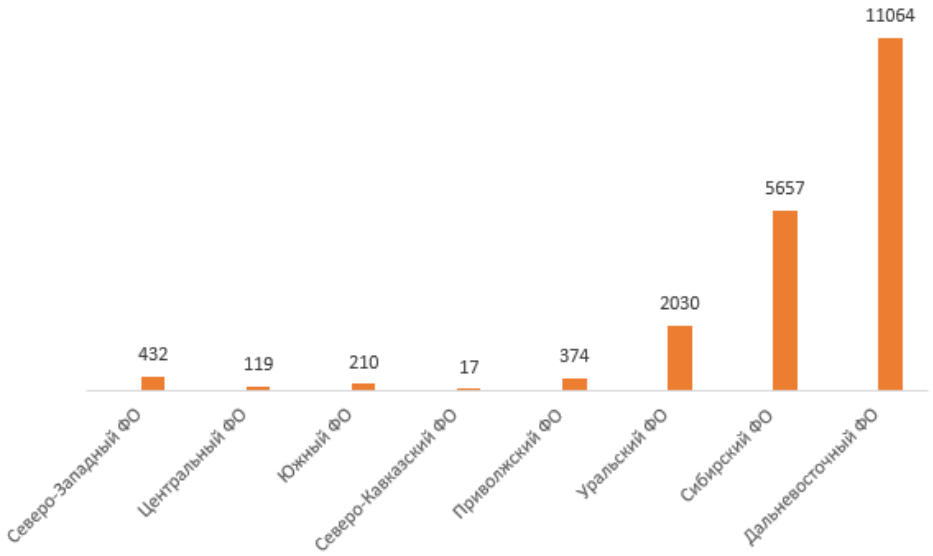


Рисунок 1.4 – Количество лесных пожаров в субъектах РФ (2017 г)

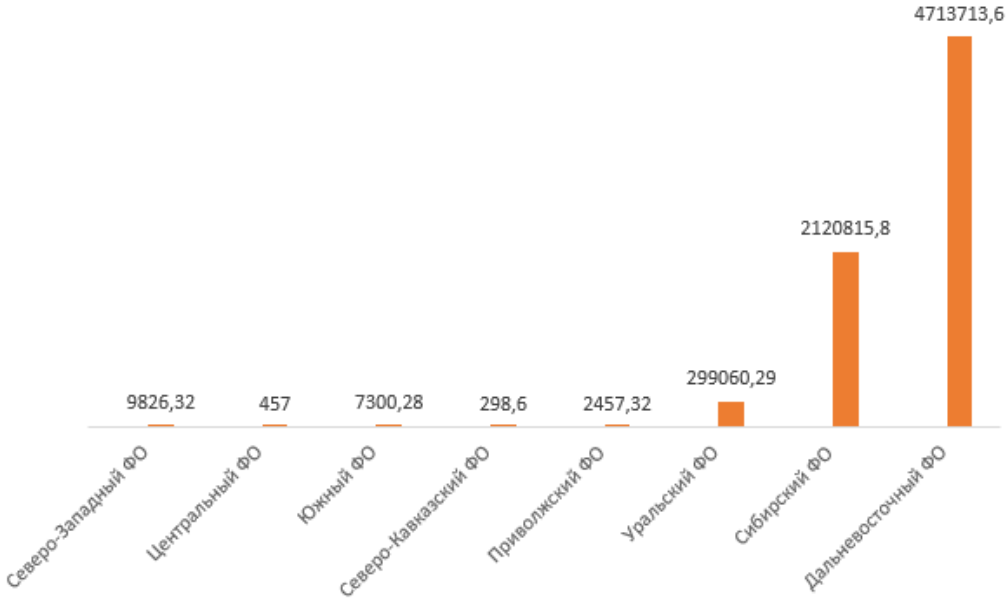


Рисунок 1.5 – Площадь пройденная огнем (га)

Как видно из Рисунков 1.4 и 1.5, наибольшее количество лесных пожаров, наносящих максимальный ущерб, возникает на территориях Уральского, Сибирского и Дальневосточного федеральных округов. Это можно связать с тем, что именно в этих областях сосредоточены максимальные площади, покрытые лесом. Одной их причин такой сильной выгораемости территории является труднодоступность. Недостаток дорог, пожарных машин, отсутствие оперативной передачи информации, всё это приводит е неэффективности борьбы с этим разрушительным природным явлением [19,20].

1.2.3 Лесные пожары в Томской области

Рассмотрим данные по количеству пожаров находящихся на природных территориях Томской области с 2012 по 2017 год.

Таблица 1.3 – Количество природных пожаров по годам [17]

Год	Количество природных пожаров
2012	547
2013	59
2014	155
2015	136
2016	297
2017	110

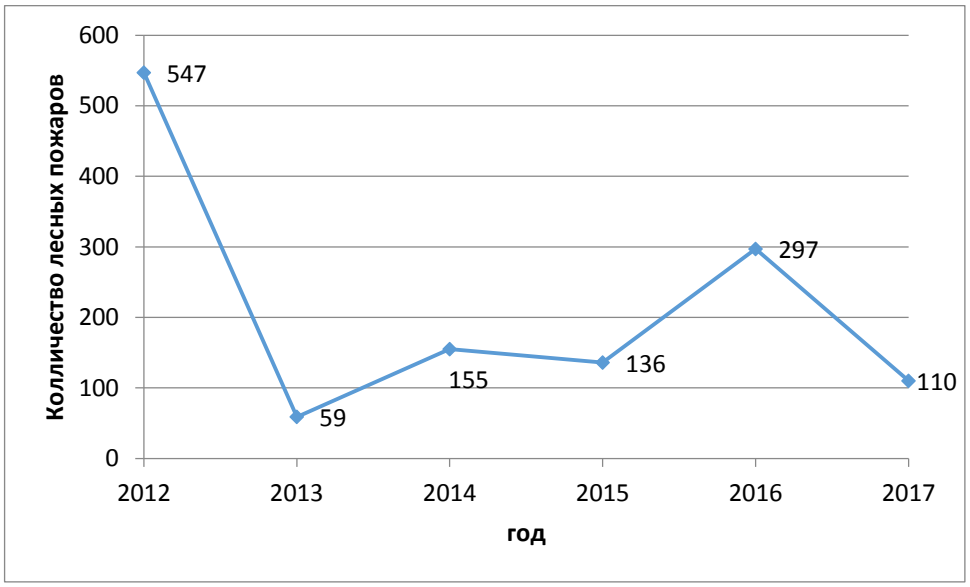


Рисунок 1.5 – Количество природных пожаров на территории Томской области по годам

Из Рисунка 1.5 видно, что наибольшее количество природных пожаров в Томской области зарегистрировано в 2012 году. Основными причинами возникновения чрезвычайных ситуаций на территории Томской области явились климатические условия и антропогенное воздействие [17].

1.3 Экспериментальные исследования возникновения и развития лесных пожаров и их воздействие на населенные пункты

Во всем мире нас окружают сложные технические системы. Для изучения лесных пожаров используют математические модели, с помощью которых можно описать физико-химические процессы имеющие место при разных типах лесных пожаров. С помощью математических моделей изучают влияние различных факторов на развитие и другие характеристики лесного пожара. Для решения поставленной задачи проводятся расчеты для различных значений параметров, которые в данной системе заменяют моделью. Модель выражает наиболее значимые свойства объекта. Математическая модель представляет систему, которая позволяет получать информацию о другой системе. Классификация моделей подразделяется на линейные и нелинейные, статистические и динамические, сосредоточенные и распределенные, дискретные и непрерывные. Численные методы определяют различные параметры пожара, включая скорость, температуру, тепловые потоки, плотность, концентрацию компонентов. Зная свойства горючих материалов, какой сезон и район можно смоделировать развитие лесного пожара. Математическое моделирование производиться на персональных компьютерах с помощью различного программного обеспечения. При горении леса большое значение имеют внешние условия, например ветер, температура, влажность, состав почвы и древесины [7]. Полученные таким образом данные необходимо обосновать, используя результаты экспериментальных исследований. Экспериментально обычно исследуют процессы горения при низовых и верховых лесных пожарах. Причем верховые лесные пожары с помощью экспериментов изучают крайне редко.

В статье [21] авторы проводят экспериментальное и теоретическое исследование и определяют безопасные расстояния от лесных массивов до населенных пунктов, учитывая такие факторы как скорость ветра, температуру, высоту здания и лесного массива, время распространения пожара. В работе [22], авторы определяют возможные риски воздействия

лесного пожара на населенные пункты, с учетом различных параметров, рассчитали коэффициент риска. В результате эти расчеты помогают 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 поместить пожарное оборудование на земле, чтобы оставаться в безопасности.

В статье [23] 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 работе [24] в ходе эксперимента велись наблюдения за значениями тепловых потоков, высотой пламени, влажностью горючего материала, температурой и скоростью горения, атмосферным давлением. При помощи данных приземного слоя атмосферы изучали воспроизведение турбулентности атмосферы. Существует две группы экспериментальных моделей: экспериментально-аналитические; экспериментально-статистические.

В работе [24] описана проблема разработки математической модели для описания процессов тепломассопереноса. С помощью экспериментальных данных с использованием концепции и методов механики активных сред была основана математическая модель лесного пожара. В этом исследовании дан метод численного решения проблемы распространения лесных пожаров. Краевая задача решается по физическим процессам с помощью метода расщепления. Метод расщепления был основан на численном решении двумерных уравнений Рейнольдса. С помощью математического моделирования можно определить условия распространения лесных пожаров и получить изображение изменения полей

скорости, температуры и концентрации компонентов во времени. Анализ расчетов позволяет оценить состояние распространения лесных пожаров и применить данную модель для разработки методов профилактики и предотвращения лесных пожаров.

В работе [25] описаны масштабы ущерба, нанесенного лесными пожарами в сельских районах, возникшие из-за изменения климата. В данной статье представлено исследование распространения огня в лесу и вблизи находящихся знаний и построек. Авторы рассматривают возможные стратегии для предотвращения распространения огня, а также какие эффективнее всего использовать строительные материалы для постройки зданий в лесу. В исследовании приведены крупные структурные сооружения, проведено индивидуальное тестирование материалов здания, крыш, вентиляционных отверстий, ограждений. Используя результаты проведенных тестов и исследований, была достигнута уязвимость и эффективность стратегий предотвращения распространения огня. Более подходящими строительными материалами были предложены бетонные блоки, кирпич, брус, деревянный каркас. Кирпич и блоки более долговечны и надежны, но нуждаются в утеплении и нужен мощный фундамент, для бруса характерны быстрота возведения и облеченный фундамент, но данный материал подвержен горению и гниению. В работе [26] приведены рекомендации для защиты населенных пунктов от пожаров в лесных массивах. Населенные пункты загораются от горящих частиц, которые разбрасывает сильный природный пожар перед своим фронтом на расстояние до 500 м, именно поэтому кромка пожара должна быть остановлена на этом расстоянии. Сильный лесной пожар остановить практически невозможно. Рассмотрены два варианта: первый активный - быстрое создание выжженной защитной полосы с помощью отжига в случае приближения к населенному пункту крупного пожара, второй пассивный способ защиты - создание защитной полосы (зоны) шириной не менее 500 м вокруг населенного пункта и ее постоянное поддержание в негоримом состоянии [26].

Характеристики пламени имеют большое значение для прогнозирования пожаротушения, с их помощью можно определить, как будет воздействовать огонь на растительность и почву. В статье [27] авторы описали, как при помощи математической модели можно прослеживать количественные изменения характеристик, таких как скорость распространения, высота пламени, скорость ветра и другие. Используя экспериментальные данные, которые были получены в результате наблюдения за реальными пожарами в лесных массивах, авторы определили статистическую зависимость между входными и выходными характеристиками пожара.

Радиационный теплообмен является основным термическим воздействием лесного пожара на людей, борющихся с огнем или на конструкции. В статье [27] предложена модель пламени, которая построена с использованием значений конечной ширины фронта огня. В качестве исходных данных для этой модели используются соотношения ширины фронта пожара, длины пламени и т.д. Представленное в этой модели аналитическое приближение используется для получения простой и полезной формулировки для определения приемлемого безопасного расстояния от фронта пожара. Анализ проводят при различных физических и геометрических параметрах, используемых для определения фронта пламени. Данный анализ показал, что наиболее чувствительным параметром является температура пламени.

С помощью экспериментального моделирования лесных пожаров можно выявить, по какой закономерности развивается пламя. Метод математического моделирования для изучения лесных пожаров является наиболее перспективным. 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 НАСЕЛЕННЫЕ ПУНКТЫ

2.1 Физическая постановка задачи

Верховые пожары являются наиболее угрожающим видом лесных пожаров. На долю верховых пожаров приходится большая часть выгоревшей площади. Для тушения верховых лесных пожаров требуется большое количество материальных ресурсов, а в некоторых случаях тушение невозможно и часто не эффективно. В связи с этим актуальным является изучение данного вида пожаров и его воздействие на окружающие объекты, в частности населенные пункты, расположенные вблизи лесных массивов. Полученные данные о механизмах возникновения, развития и негативного воздействия верховых лесных пожаров могут быть предложены службам для разработки новых способов профилактики и борьбы с пожарами.

Проведение экспериментальных исследований для изучения лесных пожаров являются опасными и дорогостоящими. Поэтому интерес представляют теоретические методы исследования. Метод математического моделирования дает возможность описывать 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 населенные пункты.

Предполагаем, что на напочвенном покрове имеется область повышенной температуры, то есть очаг низового пожара, который имеет некие размеры, на определенной 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. Ось $0x_2$ направлена вверх, а ось $0x_1$ – направлена параллельно поверхности земли (данная ось совпадает с направлением ветра). На Рисунке 2.1 представлена схема данного процесса:

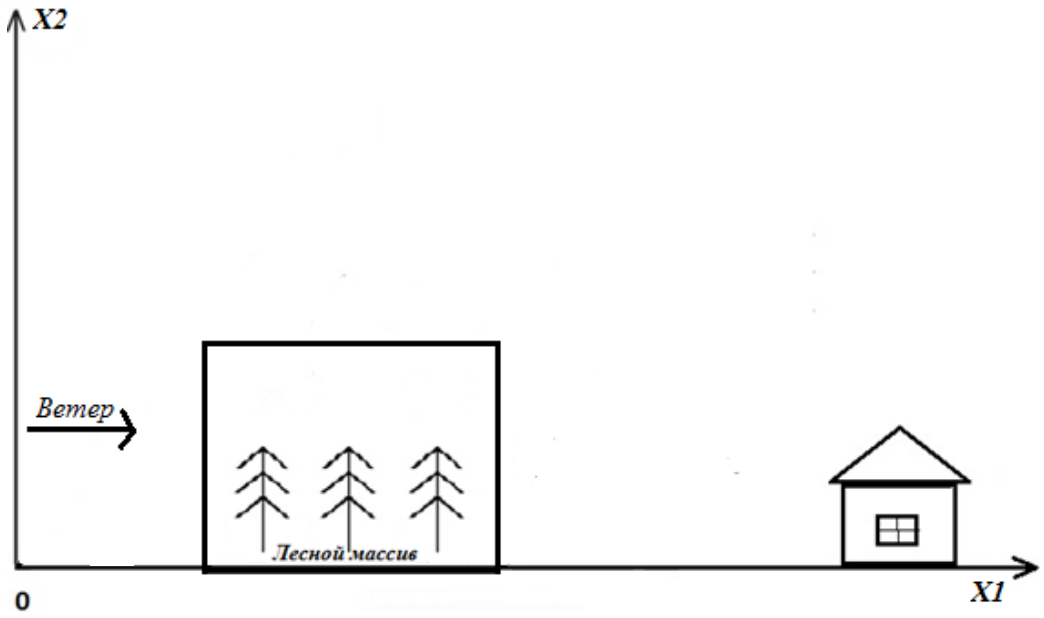


Рисунок 2.1 – Схема распространения лесного пожара

Считается, что: 1) течение является развитым турбулентным, при этом пренебрегаем молекулярным переносом, так как он не значителен по сравнению с турбулентным, 2) значение плотности газовой фазы не зависит от давления, в связи с тем, что скорость течения мала относительно скорости звука, 3) имеет место локально-термодинамическое равновесие, 4) на заданной высоте над пологом леса задается скорость ветра, 5) учитывается многофазность среды, состоящей из частиц конденсированной и газовой фазы (кислород, газообразные горючие продукты пиролиза и инертные компоненты (азот, пары воды, газообразные продукты горения и др.) [7].

2.2. Математическая постановка задачи

Математически поставленная задача может быть сформулирована с помощью следующих уравнений:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho v_i) = m, j = 1,2, i = 1,2; \quad (1)$$

$$\rho \frac{dv_i}{dt} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}(-\rho \overline{v_i' v_j'}) - \rho s c_d v_i \,|\, \vec{v} \,| - \rho g_i - \dot{m} v_i; \quad (2)$$

$$\rho c_p \frac{dT}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_j}(-\rho c_p v_j' \overline{T'}) + q_5 R_5 - \alpha_v (T - T_s) + k_g (cU_R - 4\sigma T^4); \quad (3)$$

$$\rho \frac{dc_\alpha}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_j}(-\rho \overline{v_j' c_\alpha'}) + R_{5\alpha} - \dot{m} c_\alpha, \ \alpha = \overline{1,3}; \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\frac{c}{3k}\frac{\partial U_R}{\partial x_j}\right) - kcU_R + 4k_S \sigma T_S^4 + 4k_g \sigma T^4 = 0, k = k_g + k_S; \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{4} \rho_i c_{pi} \varphi_i \frac{\partial T_S}{\partial t} = q_3 R_3 - q_2 R_2 + k_s (cU_R - 4\sigma T_S^4) + \alpha_V (T - T_S); \quad (6)$$

$$\rho_1 \frac{\partial \varphi_1}{\partial t} = -R_1, \rho_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial t} = -R_2, \rho_3 \frac{\partial \varphi_3}{\partial t} = \alpha_C R_1 - \frac{M_C}{M_1} R_3, \rho_4 \frac{\partial \varphi_4}{\partial t} = 0; \quad (7)$$

$$\sum_{\alpha=1}^{3} c_\alpha = 1, p_e = \rho RT \sum_{\alpha=1}^{3} \frac{c_\alpha}{M_\alpha}, v = (v_1, v_2), g = (0, g) \quad (8)$$

$$\dot{m} = (1 - \alpha_c) R_1 + R_2 + \frac{M_c}{M_1} R_3 + R_{53} + R_{54},$$
$$R_{51} = -R_3 - \frac{M_1}{2M_2} R_5, R_{52} = v(1 - \alpha_c) R_1 - R_5, . \quad (9)$$

Данная система уравнений должна быть решена с учетом начальных и граничных условий:

$$t = 0: v_i = 0, T = T_e, c_\alpha = c_{\alpha e}, T_s = T_e, \varphi_k = \varphi_{ke}, i = 1,2; k = 1,2; \alpha = 1,3. \quad (10)$$

$$x_1 = -x_{1e}: v_1 = V_e(x_2), v_2 = 0, T = T_e, c_\alpha = c_{\alpha e}, -\frac{c}{3k}\frac{\partial U_R}{\partial x_1} + cU_R/2 = 0. \quad (11)$$

$$x_1 = x_{1e}: \frac{\partial v_1}{\partial x_1} = 0, \frac{\partial v_2}{\partial x_1} = 0, \frac{\partial T}{\partial x_1} = 0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_1} = 0, -\frac{c}{3k}\frac{\partial U_R}{\partial x_1} + \frac{cU_R}{2} = 0. \quad (12)$$

$$x_2 = 0: v_1 = 0, (\rho v_2) = h_0 m,$$

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

$$-\rho D_t \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_2} + \rho v_2 c_\alpha = h_0 R_{5\alpha}, -\frac{c}{3k}\frac{\partial U_R}{\partial x_3} = \frac{\varepsilon}{2(2-\varepsilon)}(4\sigma T_S^4 - cU_R), \quad (13)$$

$$x_2 = x_{2e}: \frac{\partial v_1}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial v_2}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial T}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial U_R}{\partial x_2} + \frac{c}{2} U_R = 0. \qquad (14)$$

где x_1, x_2, v_1, v_2 - координаты и соответствующие проекции вектора скорости на оси д.с.к.; R_5 и $R_{5\alpha}$- скорости реакций горения газообразных продуктов пиролиза и появления α - компонентов газо - дисперсной фазы; c_p ρ, - удельные теплоемкости и плотность газовой фазы; T, - температура газа**;** c_α- массовые концентрации (α =1 – концентрация кислорода, 2 – оксида углерода, 3 -инертных компонентов воздуха); P -давление; U_R - плотность энергии излучения; σ - постоянная Стефана-Больцмана; k_g коэффициент поглощения для газодисперсной фаз; q_i, E_i, k_i - тепловые эффекты, энергии активации и предэкспоненты реакции горения продуктов пиролиза; M_α , M - молекулярные веса индивидуальных компонентов газовой фазы и воздушной смеси; c - скорость света; α_c, ν - коксовое число и массовая доля горючих газов в массе газообразных продуктов пиролиза; g – гравитационная постоянная. Индексы ”o” и "e" относятся к функциям в области горения и на значительном расстоянии от фронта пожара соответственно. Индекс "‘" используется для обозначения пульсационных составляющих различных функций [7]. Используемые в постановке задачи термодинамические, теплофизические и структурные величины относятся к лесным горючим материалам соответствующим сосновому лесу: E_5/R=11500 К, k_5 =3·10^{13}, q_5 =10^7 Дж/кг, c_p=1000 Дж/(кг·К), α_c=0.06, ν=0.7, ρ_e= 1.2 кг/м^3, c_{2e} = 0, p_e = 10 н/м^2, T_e= 300 К, c_{1e} =0.23 [7] .

Компоненты тензора турбулентных напряжений $\rho\overline{v_i' v_j'}$ и турбулентные потоки тепла и массы $\overline{\rho v_j' c_p T'}$, $\overline{\rho v_j' c_\alpha'}$ вычисляются используя градиенты среднего течения в следующем виде:

$$-\rho\overline{v_i v_j} = \mu_t\left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i}\right) - \frac{2}{3}K\delta_{ij}, ; -\rho\overline{v_j c_p T'} = \lambda_t \frac{\partial T}{\partial x_j}, \; -\rho\overline{v_j c_\alpha'} = \rho D_t \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_j}, \qquad (15)$$

$$\lambda_t = \mu_t c_p / \mathrm{Pr}_t, \; \rho D_t = \mu_t / Sc_t \; ; \mu_t = c_\mu \rho K^2 / \varepsilon, \qquad (16)$$

здесь +K - кинетическая энергия турбулентности, v_i и v_i' - компоненты

средней скорости и пульсационной составляющей скорости в проекции на ось x_i; μ_t, λ_t, D_t - коэффициенты турбулентной, динамической вязкости, турбулентной теплопроводности и диффузии; Pr_t. Sc_t-турбулентные числа Прандтля и Шмидта; δ_{ij} - символы Кронекера; $\mu_t = c_\mu \rho K^2 / \varepsilon$, где ε - скорость диссипации турбулентной кинетической энергии, c_μ-константа. Определение коэффициента турбулентной динамической вязкости имеет обусловленные трудности , такие как, произвол при выборе начальных и граничных условий для уравнения кинетической энергии турбулентности, а также представляет интерес приближенный способ замыкания, который основан на гипотезе пути смешения Прандтля, что фактически означает равновесное приближение для уравнения кинетической энергии турбулентности. В работе [7] более подробно описан подход для двумерного плоского случая. Если в рассматриваемом случае в уравнении для кинетической энергии турбулентности пренебречь нестационарным и конвективными членами, а также членами диффузии турбулентной кинетической энергии, тогда из правой части уравнения можно получить коэффициент турбулентной динамической вязкости и выражение для кинетической энергии турбулентности [28].

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

$$\mu_t = \rho l^2 \left\{ 2\left[\left(\frac{\partial v_1}{\partial x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial v_2}{\partial x_2}\right)^2\right] + \left(\frac{\partial v_1}{\partial x_2} + \frac{\partial v_2}{\partial x_1}\right)^2 - \frac{2}{3}\left[\frac{\partial v_1}{\partial x_1} + \frac{\partial v_2}{\partial x_2}\right]^2 - \frac{g}{T\,\mathrm{Pr}_t}\frac{\partial \theta}{\partial x_2}\right\}^{1/2}, \qquad (17)$$

где $\theta = T - T_e$.

Формула для пути смешения, предложенная авторами работы [28] имеет вид

$$l = x_2 k_t / (1 + 2.5 x_2 \sqrt{c_d s / h}), \qquad (18)$$

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

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА

3.1 Метод контрольного объема

Для решения вышеизложенной задачи используем метод контрольного объема. Основной смысл данного метода легко понятен и поддается прямому физическому разъяснению. Расчетную область разбиваем на определенное количество непересекающихся контрольных объемов так, чтобы каждая точка узла содержалась только в одном объеме. В случае двумерной задачи рассмотрим прямоугольник. Вторым этапом является интегрирование дифференциального уравнения по каждому контрольному объему. Для проведения вычисления интегралов используются профили, описывающие изменение между узловыми точками функции Ф. Полученный в результате интегрирования дискретный аналог выражает закон сохранения для параметра состояния Ф в каждом конечном контрольном объеме [29].

Полученный таким образом дискретный аналог выражает закон сохранения Ф для конечного контрольного объема точно так же, как дифференциальное уравнение выражает закон сохранения для бесконечно малого контрольного объема. Важным свойством данного метода является то, что в методе контрольного объема заложено точное интегральное сохранение таких величин, как масса, количество движения и энергия на любой группе контрольных объемов и на всей расчетной области. Эта особенность демонстрируется при любом количестве узловых точек, а не только в предельном случае их большого числа. Даже решение на грубой сетке удовлетворяет точным интегральным балансам [28].

Дифференциальные уравнения, подчиняющиеся обобщенному закону сохранения, описывают процессы гидродинамики и теплообмена, массообмена. При обозначении любой искомой функции переменной Ф, обобщенное дифференциальное уравнение примет вид в тензорной форме:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}(\rho\Phi) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho v_i \Phi) = \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\Gamma_\Phi \frac{\partial \Phi}{\partial x_i}\right) + S_\Phi$$

Где, ρ – плотность, t –координата временная, x_i – координата пространственная, v_i – компоненты вектора скорости, Γ_Φ– коэффициент переноса (Γ_Φ – коэффициент теплопроводности, турбулентной вязкости, диффузии и т.д.), S_Φ – источниковый член [28].

В частных случаях в S_Φ может входить приток теплоты в результате химических реакций в уравнении энергии или увеличение (уменьшение) концентраций компонента в ходе химических реакций в уравнениях диффузии. Конкретный вид Γ_Φ и S_Φ зависит от смысловой нагрузки переменной Ф.

3.2 Дискретный аналог для двух измерений

Для узловой точки *P* соседние точки *W* и *E* расположены по направлению оси *x,* точки *N* и S (обозначающие север и юг) — по направлению оси *y.* Контрольный объем, окружающий точку *P,* показан штриховыми линиями. Глубина объема в направлении оси *z* предполагается равной единице. Обозначения для расстояний Δx, *(δx)e* и т. д., распространяются здесь на два измерения. Вопрос расположения граней контрольного объема по отношению к узловым точкам остается все еще открытым. Расположить их точно посередине между соседними точками можно, но можно применить и другие способы, некоторые из них будут рассмотрены ниже. Полученный здесь дискретный аналог можно будет использовать в любом подобном случае. Часть двухмерной сетки показана на Рисунке 3.1

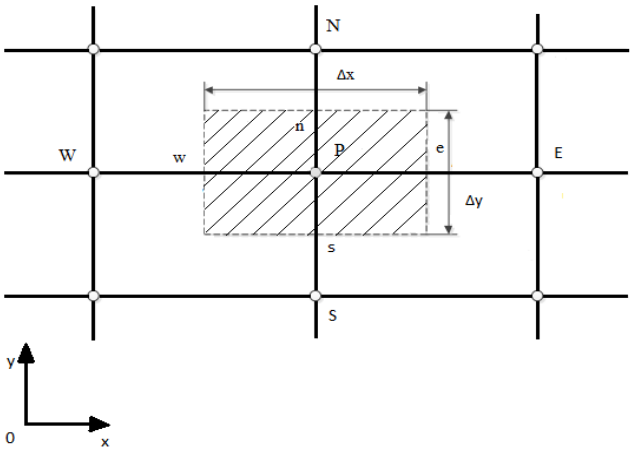


Рисунок 3.1 — Контрольный объем (заштрихованная область) для двухмерного случая

Пунктирной линией для двухмерной области с центром в точке P обозначен контрольный объем. Буквами N, S, W, E обозначены центры соседних контрольных объемов (узлов). Расстояния до центров соседних контрольных объемов обозначены, например, δx_e , δy_n и т.д. Прописными буквами n, s, e обозначены соответствующие точки на границах контрольного объема. Δx и Δy – размеры контрольного объема [29].

Интенсивность переноса теплоты через другие поверхности контрольного объема можно определить подобным образом. В этом случае дифференциальное уравнение

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\Phi) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho v_i\Phi) = \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\Gamma_\Phi \frac{\partial\Phi}{\partial x_i}\right) + S_\Phi \tag{19}$$

можно быстро привести к дискретному аналогу

$$a_P T_P = a_E T_E + a_W T_W + a_N T_N + a_S T_S + b \tag{20}$$

где

$$a_E = \frac{k_e \Delta y}{(\delta x)_e};\ a_W = \frac{k_w \Delta y}{(\delta x)_w};\ a_N = \frac{k_n \Delta y}{(\delta x)_n};$$

$$a_S = \frac{k_s \Delta y}{(\delta x)_s};\ a_P^0 = \frac{\rho c \Delta x \Delta y}{\Delta t};\ b = S_C \Delta x \Delta y + a_P^0 T_P^0; \tag{21}$$

$$a_P = a_E + a_W + a_N + a_S + a_P^0 - S_P \Delta x \Delta y.$$

Произведение ΔxΔy представляет собой контрольный объем.

Рассматривая задачу теплопроводности, мы по существу получили дискретный аналог из общего дифференциального уравнения, содержащего нестационарный, диффузионный и источниковый члены (записанные выше через температуру T и коэффициент теплопроводности k эти члены можно легко переписать через общую переменную Ф и соответствующий коэффициент диффузии). Был опущен конвективный член, который в настоящей главе будет учтен. Выше были изложены методы решения алгебраических уравнений. Добавление конвективного члена не влияет на форму дискретного аналога, поэтому можно использовать те же методы.

Окончательный дискретный аналог для двухмерного случая можно записать в следующем виде:

$$a_P\Phi_P = a_E\Phi_E + a_W\Phi_W + a_N\Phi_N + a_S\Phi_S + b$$

$$a_E = D_eA(\ |P_e|\ ) + [|-F_e, 0|];\ a_w = D_wA(\ |P_w|\ ) + [|-F_W, 0|];$$

$$a_N = D_nA(\ |P_n|\ ) + [|-F_n, 0|];\ a_S = D_sA(\ |P_s|\ ) + [|-F_s, 0|];$$

$$b = S_C\Delta x\Delta y + a_P^0\Phi_P^0;$$

$$a_P = a_E + a_W + a_N + a_S + a_P^0 - S_P\Delta x\Delta y;\ a_P^0 = \frac{\rho_P^0\Delta x\Delta y}{\Delta t}; \qquad (22)$$

Здесь Φ_P^0 и ρ_P^0 обозначают известные значения для времени t, а все другие величины (Φ_P, Φ_E, Φ_W, Φ_N, Φ_S и т. д.) представляют собой неизвестные величины для времени $t+\Delta t$. Массовые расходы F_e, F_w, F_n и F_S определены уравнениями $F_e = (\rho u)_e\Delta y;\ F_w = (\rho u)_w\Delta y;\ F_n = (\rho v)_n\Delta x;\ F_s = (\rho v)_s\Delta x$. Соответствующие проводимости представим в виде

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

А числа Пекле

$$P_e = \frac{F_e}{D_e};\ P_w = \frac{F_w}{D_w}; P_n = \frac{F_n}{D_n}; P_s = \frac{F_s}{D_s}.$$

Функцию A(|P|) можно взять из табл. 4.2 соответственно-выбранной схеме. Рекомендуется схема со степенным законом, для которой

$$A(\mid P \mid) = [\mid 0,(1 - 0{,}1 \mid P \mid)^5 \mid].$$

Коэффициенты в соседних точках a_E, a_w, a_N и a_S учитывают влияние конвекции и, диффузии для четырех граней контрольного объема, которые зависят от массового расхода F и проводимости D. Член a_P^0 и Φ_P^0характеризует известную величину Ф для контрольного объема (для времени t), отнесенную к шагу по времени. Оставшиеся члены можно интерпретировать аналогичным образом [29].

3.3 Алгоритм SIMPLE

Для представленной выше системы уравнений рассмотрим алгоритм решения для заданной области. Система уравнений является нелинейной и в связи с этим необходимо задавать приближения искомых функций. В данных условиях употребляются их значения с предыдущего слоя по времени. Начальные условия используются в качестве приближения на первом итерационном шаге расчета. В ходе численного решения использовалось расщепление по физическим процессам, то есть вначале рассчитываем гидродинамическую картину течения и распределения искомых скалярных функций (например c_α, T и т.д.), а затем решаем уравнения химической кинетики для объемных долей фаз и учитываем химические источники для скалярных функций (T, c_α). Процедура, разработанная для расчета поля течения, получила название SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations), что означает полунеявный метод для связывающих давление уравнений. Данный алгоритм описан в работе [29].

Основные операции в порядке их выполнения.

1. Задаем поле давления p^*.

2. Решаем уравнения движения

$$a_e u_e^* = \sum a_{nb}\, u_{nb}^* + (p_P^* - p_E^*) A_e;$$

$$a_n v_n^* = \sum a_{nb}\, v_{nb}^* + (p_P^* - p_N^*) A_n$$, для получения u^*, v^*.

3. Решаем уравнения для p'.

4. Производим расчет p из уравнения $p = p^* + p'$;

5. Расчитываем u, v с учетом соответствующих значений со * и с помощью формул для поправки скорости

$$u_e = u_e^* + d_e(p_P' - p_E');$$

$$v_n = v_n^* + d_n(p_P' - p_N').$$

6. Решаем дискретные аналоги для других Ф (таких, как температура, концентрация и турбулентные характеристики), если они влияют на поле течения через физические свойства жидкости источниковые члены и т. д. (если какое - то определенное Ф не влияет на поле течения, лучше рассчитать его после получения сходимости решения для поля течения).

7. Представляем скорректированное давление p как нового p^*, если сходящееся решение не будет получено, возвращаемся ко второму пункту и повторяем всю процедуру.

Решая вышеуказанные уравнения, автоматически был выбран шаг по времени, что позволило осуществить процесс решения на втором этапе с уменьшенным шагом по времени. Когда существенную роль играют химические источники, а именно когда происходит пиролиз ЛГМ и испарение влаги и зажигание летучих продуктов пиролиза, возникала данная ситуация. Затем проводилось решение уравнения переноса излучения. В качестве начального приближения подставляются значения функций и процесс повторяется [29].

3.4 Результаты расчетов и анализ

В расчетной области высотой 50 метров, а длиной 200 м, задается лесной массив высотой 5 м и длинной 100 м и деревянное строение, отдаленное на разные дистанции от лесного массива по правую сторону. В результате численных расчетов были получены распределения полей температуры, скорости и концентрации. В построенной модели температура меняется от начального значения T_e = 300 К до температуры горения $T_г$ = 1500 К. Рассмотрим три случая в первом случае строение было удалено от

очага пожара на 48 м, во втором на 56 м, в третьем на 63 м. Согласно [30] противопожарные расстояния от границ застройки городских и сельских поселений до лесных массивов установлены не менее 15 метров.

Проводим исследование воздействия лесного пожара на деревянное строение, и определим безопасные расстояния между очагом пожара и зданием. Исходя из литературных источников, можно сказать, что возгорание древесины происходит при температуре 150 °С [31].

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 [32].

В первом случае деревянная постройка, которая имеет высоту 3 метра, а длину 4 располагалась на расстоянии 48 метров от правого края лесного массива расчеты проводились при скоростях ветра равных 10, 12 и 15 м/с, по всей высоте деревянной постройки на ближайшей стенке. Данные представлены на Рисунке 3.2.

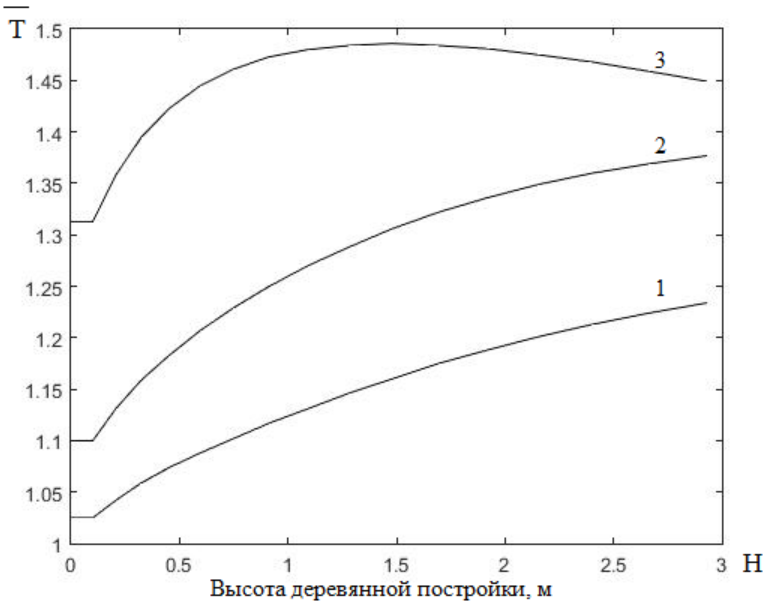


Рисунок 3.2 – Температура на стенке деревянной постройки на расстоянии 48 м от правого края лесного массива при скоростях ветра: 1-10; 2-12 и 3-15 м/с

По Рисунку 3.2 можно сделать вывод что, возгорания деревянной конструкции при скорости ветра 10 м/с не произойдет, так как зажигание будет при более близких расстояниях, но тепловой поток охватывает крышу здания. При скорости ветра 12 м/с возгорание деревянной конструкции начнется на расстоянии 0,7 м от лесного пожара, и при скорости ветра 15 м/с после начала горения возгорание произойдет на всей стенке.

В результате численного интегрирования получены поля температур для разных скоростей и при различных расстояниях постройки от лесного массива. Для визуализации полученных результатов и построения графиков используем программу MATLAB. На Рисунках 3.3, 3.5, 3.7, представлены распределения данных функций. Числами 1 – 4; 2 – 3; 3 – 2; 4 – 1,5; 5 – 1,2 обозначены значения изотерм безразмерной температуры, которая определяется следующим образом: $T = T/T_e, T_e = 300K$.

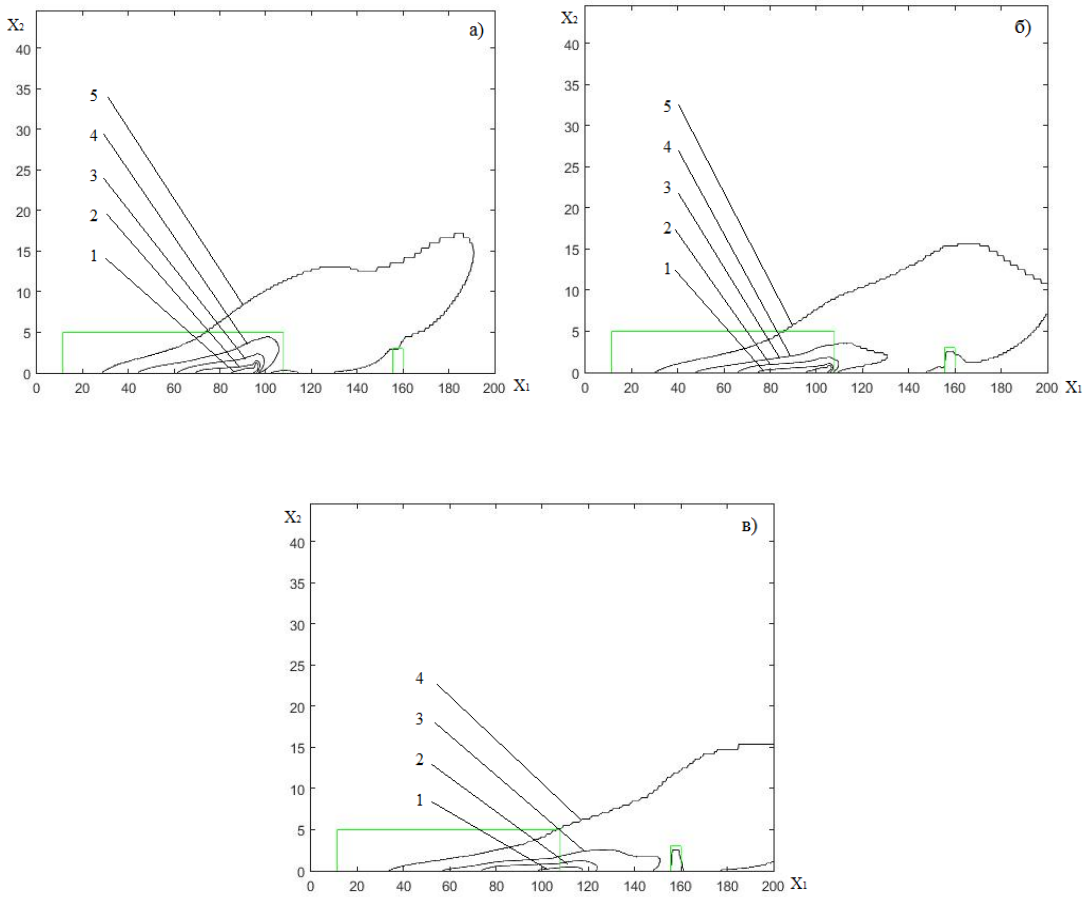


Рисунок — 3.3 Распределения изотерм воздействия очага пожара на деревянную постройку на расстоянии 48 м: а) при скорости ветра 10 м/с б) при скорости ветра 12 м/с в) при скорости ветра 15 м/с

Во втором случае деревянное строение располагалось на расстоянии 56 метров от правого края лесного массива, измерения проводились для тех же скоростей ветра. Измерения температур, как и в первом случае. Данные представлены на рисунке 3.4.

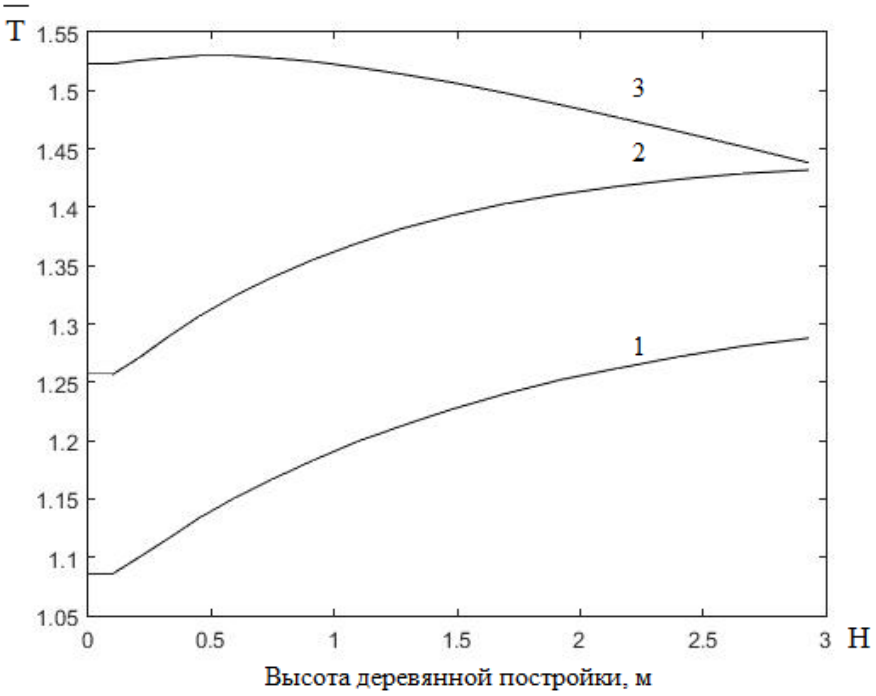


Рисунок 3.4 – Температуры на стенке деревянной постройки на расстоянии 56 м от правого края лесного массива при скоростях ветра 1-10; 2-12 и 3-15 м/с

На Рисунке 3.4 видно что, возгорания деревянной конструкции при скорости ветра 10 м/с не произойдет, так как зажигание будет при более близких расстояниях. При скорости ветра 12 м/с возгорание деревянной конструкции начнется на расстоянии 0,4 м от лесного пожара, и при скорости ветра 15 м/с после начала горения возгорание произойдет на всей стенке.

Далее увеличиваем расстояние и скорость ветра, чтобы определить на каком расстоянии зажигание деревянной постройки будет прекращено.

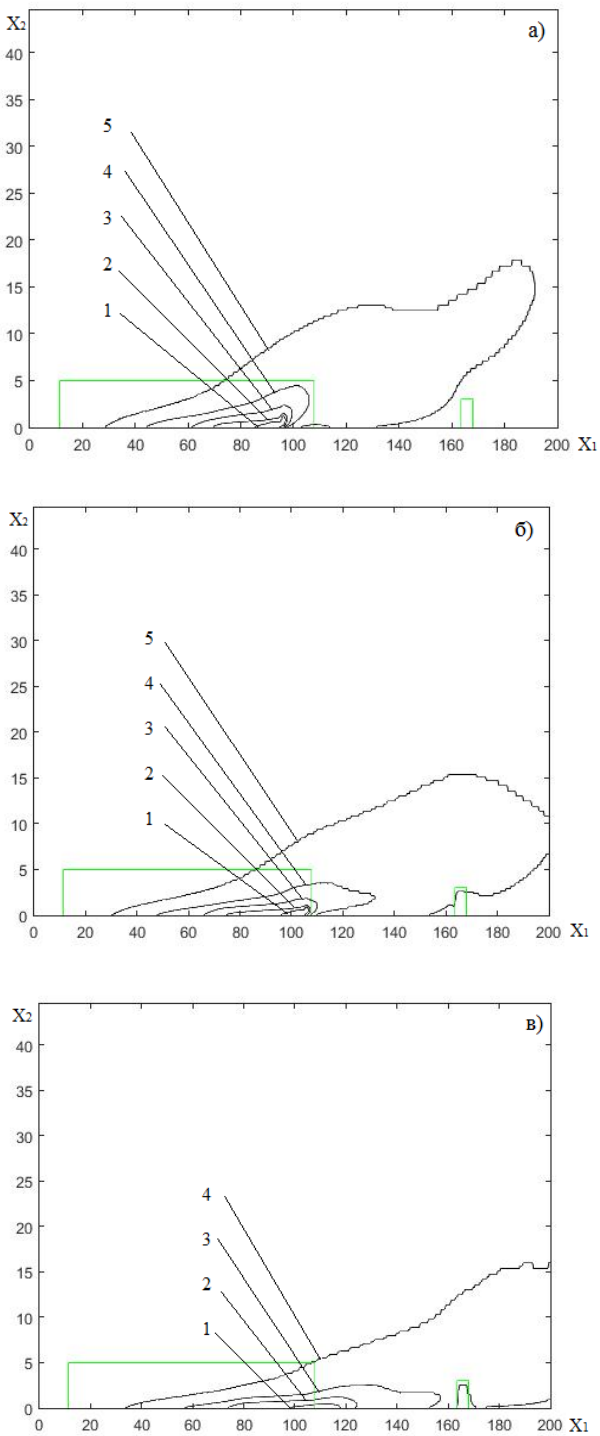


Рисунок — 3.5 Распределения изотерм воздействия очага пожара на деревянную постройку на расстоянии 53 м: а) при скорости ветра 10 м/с б) при скорости ветра 12 м/с в) при скорости ветра 15 м/с.

В последнем случае деревянная постройка была удалена на 63 метра от правого края лесного массива, скорости ветра прежние, как в первом и втором случае. Изменение температур как в первых двух случаях. Данные представлены на рисунке 3.6.

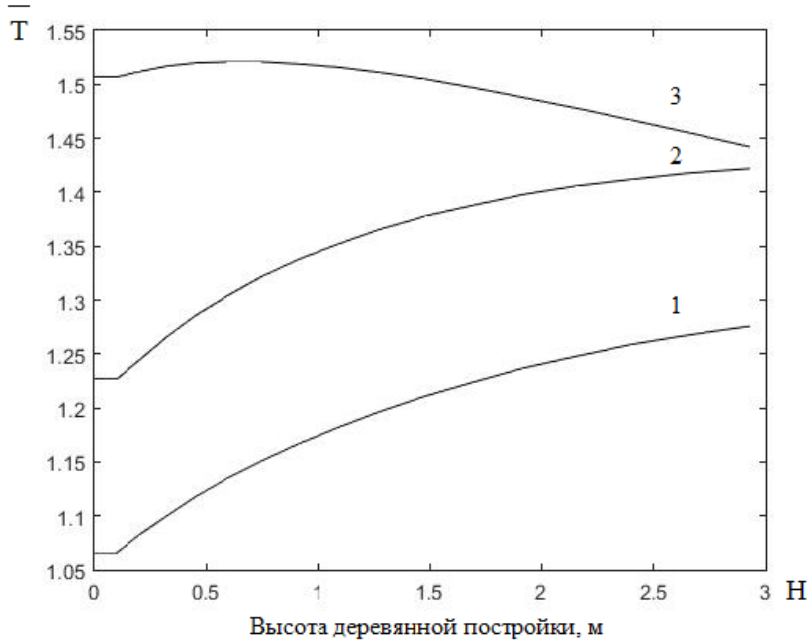
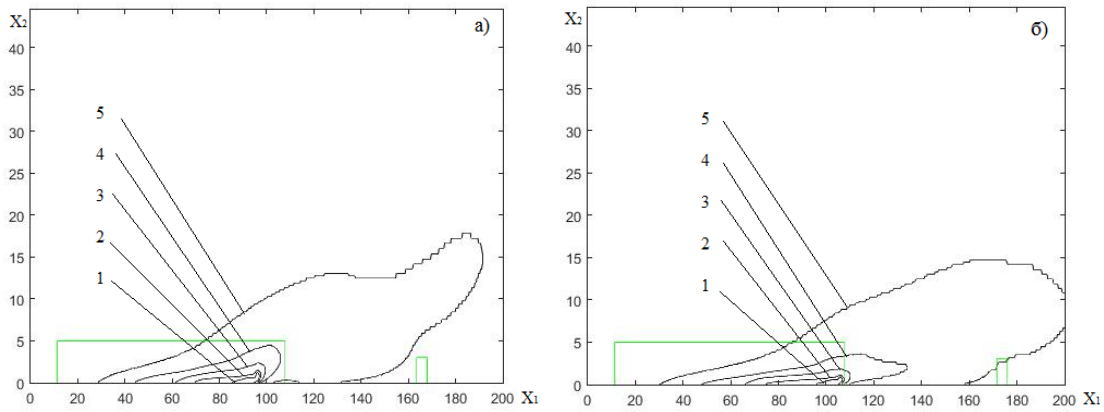


Рисунок 3.6 – Температуры на стенке деревянной постройки на расстоянии 63 м от правого края лесного массива при скоростях ветра 1-10; 2-12 и 3-15 м/с

Анализ этой зависимости показывает следующее что, возгорания деревянной конструкции при скорости ветра 10 м/с также не произойдет, так как зажигание будет при более близких расстояниях. При скорости ветра 12 м/с возгорание деревянной конструкции начнется на расстоянии 0,2 м от лесного пожара, и при скорости ветра 15 м/с после начала горения возгорание произойдет на всей стенке.



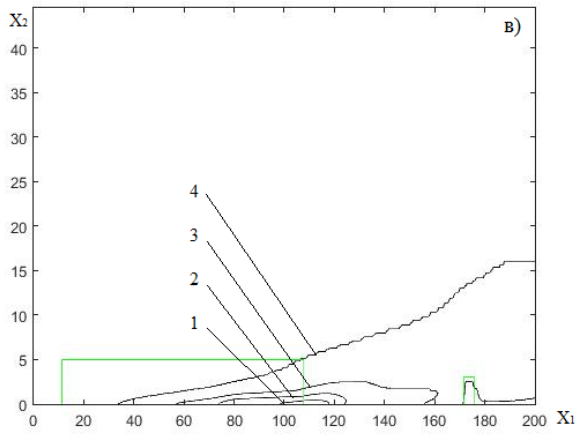


Рисунок — 3.7 Распределения изолиний воздействия очага пожара на деревянную постройку на расстоянии 63 м: а) при скорости ветра 10 м/с б) при скорости ветра 12 м/с в) при скорости ветра 15 м/с

На основании изменений распределений изолиний можно сделать вывод о перемещении фронта пожара по направлению ветра (ось x_1) и его расширении в направлении ветру по оси x_2.

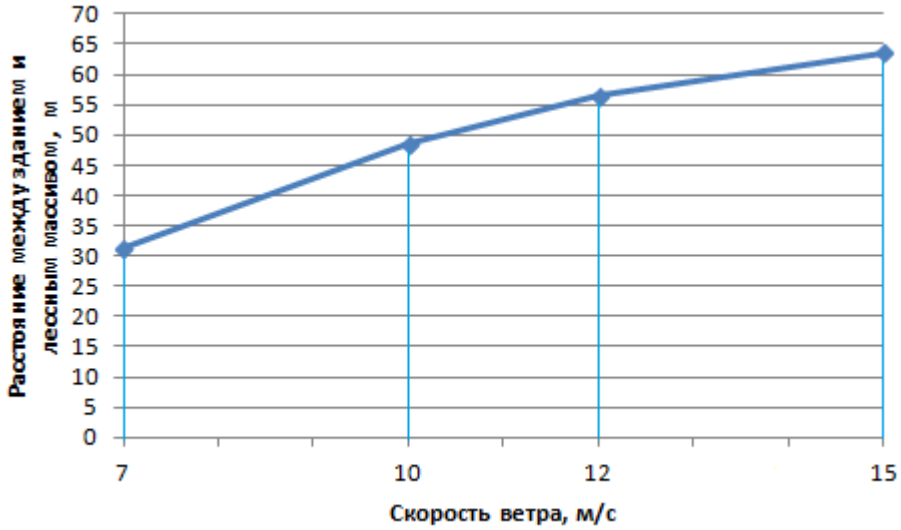


Рисунок 3.8 – Зависимость расстояний, при которых произойдет возгорание, при различных скоростях ветра при высоте строения в 3 метра

На рисунке 3.8 показано возможное зажигание здания в зависимости от скорости ветра. При увеличении скорости ветра увеличиваются размеры зоны зажигания. Из расчетов можно сказать, что безопасным расстоянием для деревянной постройки и жизни людей от лесного массива является 63 м.

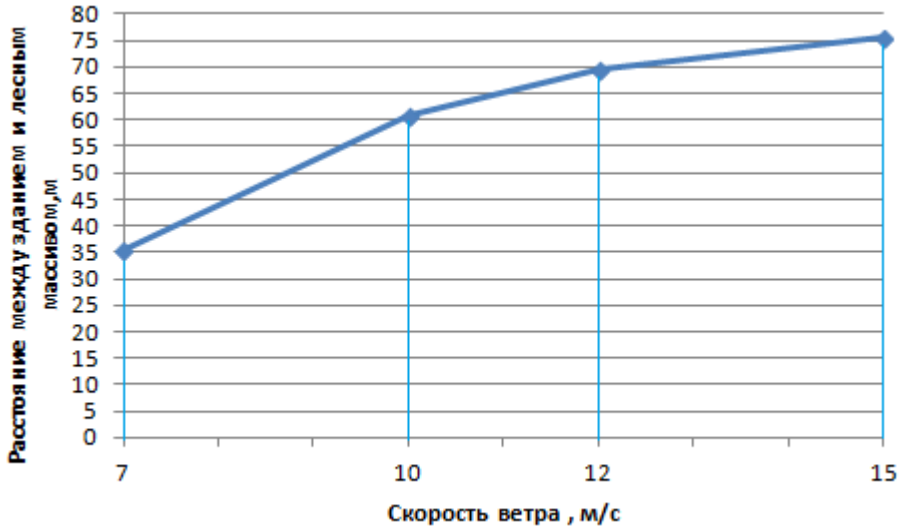


Рисунок 3.9– Зависимость расстояний, при которых произойдет возгорание, при различных скоростях ветра при высоте строения в 6 метров

Из данного графика можно сделать вывод, как и в предыдущем графике, что размеры зоны зажигания увеличиваются при увеличении скорости ветра. Зажигание высоких зданий возможно на больших расстояниях. Из расчетов можно сказать, что безопасным расстоянием для деревянной постройки и жизни людей от лесного массива является 76 м для заданных при расчетах характеристиках лесного массива и метеоусловиях, а также параметрах здания.

4. РАЗДЕЛ «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ»

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

4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Выпускная квалификационная работа «Математическая модель воздействия лесных пожаров на населенные пункты» направлена на борьбу с лесными пожарами и создание безопасных условий для жизни людей. Суть работы заключается в создании математической модели воздействия верховых лесных пожаров на населенные пункты, от очага горения леса до населенных пунктов, стоящих вблизи лесных массивов, разработка вычислительной методики для проведения численных экспериментов в рамках построенной модели. С помощью программного обеспечения MATLAB были построены графики, расчеты производились с помощью программы Wildinte.

MATLAB — пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений и одноимённый язык программирования, используемый в этом пакете. Пакет используют более миллиона инженерных и научных работников, он работает на большинстве современных операционных систем. В данной работе это программное обеспечение использовалось для построения графиков. А Wildinte недавно разработанная программа, для расчета математических моделей. В расчетной области задается лесной массив и деревянное строение с определенными размерами, отдаленное на разные дистанции от лесного массива по правую сторону. В результате численных расчетов с помощью программ Wildinte были получены распределения полей температуры, скорости и концентрации и MATLAB построены графики возможного зажигания деревянной постройки с учетом метрологических условий.

Основные задачи данного раздела:

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

Согласно нормативным документам противопожарные расстояния от границ застройки городских и сельских поселений до лесных массивов установлены не менее 15 метров. Результаты расчётов являются более точными, так как были учтены все параметры здания и лесного массива, а также и метеорологические условия, в отличие от нормативных документов. Проставление «О противопожарном режиме» включает в себя нормативы противопожарных расстояний, результаты исследования можно предложить для рассмотрения и внедрения значений в данное постановление. Поэтому заинтересованными лицами в полученных данных могут являться ГУ МЧС РФ, прогнозирующие организации.

4.1.2 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, которая представлена в таблице 4.1. 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 4. 1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	**Вес крите-рия**	**Баллы**			**Конкуренто-способность**		
		$Б_ф$	$Б_{к1}$	$Б_{к2}$	$К_ф$	$К_{к1}$	$К_{к2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобно в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0.1	4	3	4	0.4	0.3	0.4
2. Автоматический расчет уравнений программой	0.15	5	3	2	0.75	0.45	0.3
3. Простота эксплуатации	0.15	4	2	3	0.6	0.3	0.45
4. Качество интеллектуального интерфейса	0.2	4	5	2	0.8	1	0.4
5. Визуальное представление результатов	0.1	5	3	4	0.5	0.3	0.4
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0.1	4	3	2	0.4	0.3	0.2
2. Цена	0.1	5	4	4	0.5	0.4	0.4
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0.1	4	4	4	0.4	0.4	0.4
Итого	**1**	35	27	23	4.35	3.45	2.95

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i Б_i \quad (1)$$

где К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

В*i* – вес показателя (в долях единицы);

Б*i* – балл *i*-го показателя.

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

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

4.2. SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Данный анализ проводится в несколько этапов и представлен в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT

Матрица SWOT		
	Сильные стороны научно-исследовательского проекта	**Слабые стороны научно-исследовательского проекта**
	С1. Более низкая стоимость, по сравнению с другими технологиями. С2.Использование современного оборудования и ИТ-технологий. С3. Наличие опытного руководителя. С4. Представление полученной информации наглядно (графики, формулы, таблицы). С5. Актуальность программы	Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров для работы с программой. Сл2. Время, затрачиваемое на расчет в программе и построение графиков (30-40 минут). Сл3. Отсутствие необходимого оборудования и программного обеспечения для работы с программой. Сл4. Ограниченная область применения.

Матрица SWOT		
	Сильные стороны научно-исследовательского проекта	**Слабые стороны научно-исследовательского проекта**
		Сл5. Медленный процесс вывода на рынок новой технологии.
Возможности: В1. Повышение уровня локализации пожаров В2.Возможность создания партнерских отношений с рядом ведущих вузов. В3.Повышение стоимости конкурентных разработок В4. Возможность создания эффективного метода ликвидации пожара.	- В результате низкой стоимости продукт могут позволить себе многие организации - В результате использования современных технологий повысится скорость локализации экологической очистки - При грамотном подходе руководителей улучшиться реагирование служб, а следовательно и сам исход аварии - При вышеперечисленных возможностях мы добьемся наглядного	-В дальнейшем снижение цены на математическую программу, рассчитывающую безопасные расстояния;

Матрица SWOT		
	Сильные стороны научно-исследовательского проекта	**Слабые стороны научно-исследовательского проекта**
	исхода аварии и более быстрой еѐ локализации - При повышении актуальности программы, конкуренты будут вынуждены повысить стоимость своих разработок во избежание разорения	
Угрозы: У1. Появление новых технологий У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У3. Введение дополнительных государственных требований и сертификации программы. У4.Неумение персонала пользоваться продуктом	- За счет появления новых технологий цена на программу уменьшится; - Повышение квалификации персонала т.к. тема актуальна и есть современное оборудование.	- Проведение обучения сотрудников организаций по работе с продуктом - Сократить время подсчета программой - Сделать программу воспроизводимой на всех доступных устройствах - Расширить область применения программы - Засертифицировать программу

Описание сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта, его возможностей и угроз происходит на основе результатов

анализа, проведенного в предыдущих и последующих разделах бакалаврской работы.

Вторым этапом проводится выявление соответствия сильных и слабых сторон научно- исследовательского проекта. Интерактивные матрицы проекта представлены в таблицах 3, 4, 5, 6.

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

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

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и возможности: В1С1С5, В2С1С4, В3С3С4С5, В4С2С3С4С5.

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

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

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможности: В1С1С2С4.

Таблица 4.5 – Интерактивная матрица проекта

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

	У4	-	+	+	-	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и угроз: У1С1С3, У2С2С3, У3С2С3, У4С2С3.

Таблица 4.6 – Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	+	-	+	-	0
	У2	+	+	0	+	0
	У3	+	+	+	+	0
	У4	-	-	-	-	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и угроз: У1С1С3, У2С1С2С4, У3С1С2С3С4, У4С5 .

4.3 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

В рамках данного раздела проведены альтернативные научные исследования в разделе 3 «Математическая модель воздействия лесных пожаров на населенные пункты» ВКР.

Таблица 4.7 - Морфологическая матрица

	1	2	3
А. Визуализация объектов	График	Формулы	Таблица
Б. Описание процесса	Формулы	Таблицы	Графики
В. Описание поражающих факторов, количество	2	3	>3
Г. Длительность расчета программой, мин	10	30	40
Д. Интерфейс	Русский	Английский	
Е. Алгоритмы расчета	SIMPLE	SIVA	

Возможные варианты решения технической задачи:

1) А1Б1В3Г1Д4Е1 – В первом случае, программа производит расчет только при малых скоростях ветра. В данной программе визуализация результатов происходит посредством графиков, значения которых приведены в таблицах, длительность расчетов 30 минут, язык русский, алгоритм расчета используется SIMPLE.

2) А1Б1В4Г2Д1Е2 – Во втором случае, программа производит расчет также при малых скоростях ветра. В данной программе процесс описывается графиками, длительность расчетов в данном случае 40 минут, язык интерфейса русский, алгоритм расчета SIMPLE.

4.4 Планирование научно-исследовательских работ

4.4.1 Структура работы в рамках научного исследования

Таблица 4.8 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Перечень этапов, работ и распределение исполнителей			
Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Создание темы проекта	1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель
	2	Выдача задания для проекта	
Выбор направления исследования	3	Поиск материалов по теме	Студент
	4	Выбор направления исследования	Научный руководитель, студент
Теоретические исследования	5	Изучение литературы по теме	Студент
	6	Подбор нормативных документов	
	7	Изучение программы «Wildinte» и «MatLab»	
Практическое	8	Моделирование зон зажигания растительного покрова под действием	

Перечень этапов, работ и распределение исполнителей			
исследование		теплового излучения огненного шара	Студент
	9	Изучение результатов	
	10	Проведение расчетов по теме	
Оценка полученных результатов	11	Анализ результатов	Студент
	12	Вывод	Студент

По результатам таблицы 4.8 можно сделать вывод, что основная структура научного исследования выполнена студентом. В заключении можно сказать, что все поставленные выше задачи выполнены, после каждой таблице подведены итоги. Финансовых затрат на данное исследование не потребовалось.

5. РАЗДЕЛ «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

5.1 Введение в раздел

На сегодняшний день одной из актуальных проблем является возникновение лесных пожаров и их негативное воздействие на населенные пункты. Пожары, воздействующие на населенные пункты, сопровождаются нанесением ущерба окружающей среде, материальными потерями, а иногда и человеческими жертвами. Данные пожары являются наиболее сложными и предоставляют опасность для жителей населенной местности, участников ликвидации ЧС, зданий и сооружений, а так же для экологии.

В данном разделе выпускной квалификационной работы будут рассмотрены вопросы, связанные с вредными и опасными производственными факторами, а так же оценка тяжести и напряженности трудового процесса, организация режимов труда и отдыха, экологическая безопасность и правовые, организационные вопросы обеспечения безопасности.

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 населенные пункты, 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, нормам санитарии, экологической и пожарной безопасности.

5.2 Производственная безопасность

Математическое моделирование воздействия лесного пожара на населенные пункты – это работа связана, в основном, с работой за

персональным компьютером (ПК). Математическое моделирование с помощью программного обеспечения MATLAB осуществлялось в аудитории № 256 8 корпуса ТПУ (Усова 7).

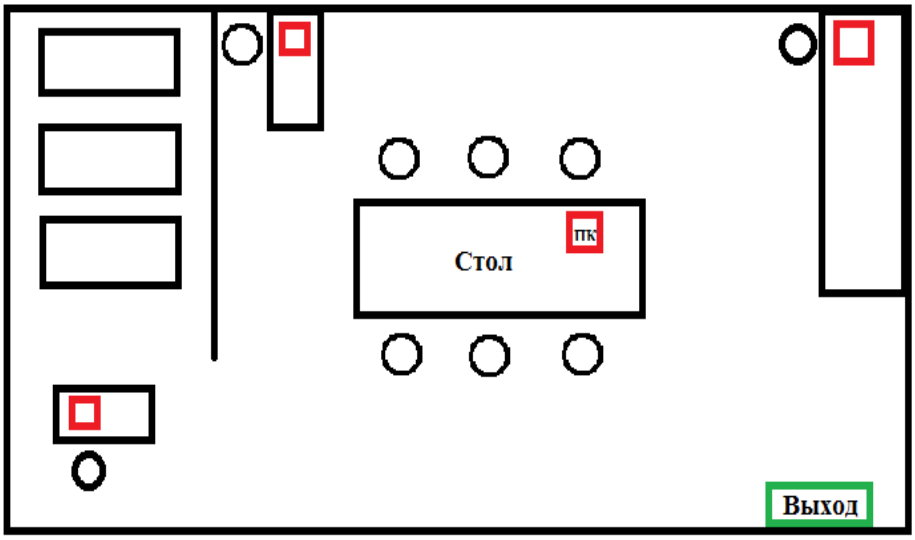


Рисунок – 5.1 Схема аудитории № 256 8 корпуса ТПУ

Для рабочих мест, оборудованных компьютерами (ПЭВМ или ПК), разработаны государственные Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Точное название этого документа - СанПиН 2.2.4-548-96 [33].

Таблица 5.1 – Опасные и вредные факторы, которые постоянно или периодически действуют на рабочее место инженера – исследователя на ПЭВМ

Опасные и вредные факторы			
Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа за ПЭВМ: 1. рабочее место; 2. кондиционеры и различные печатающие устройства; 3. искусственное освещение; 4. выполнение	1. отклонение показателей микроклимата; 2. повышенный уровень шума на рабочем месте, 3. недостаточная освещенность рабочей зоны, 4. повышенная	1. электрический ток; 2. механические опасности	Параметры микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.4-548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [34]. Параметры освещенности рабочей зоны устанавливаются 1) СанПин 2.2.1/2.1.1278-03 «Гигиенические

Опасные и вредные факторы			
должностных обязанностей.	напряженность электрического поля 5. напряженность трудового процесса.		требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий» [35] 2) СП 52.13330.2016 « Свод правил. Естественное и искусственное освещение» [36]. Параметры шума устанавливаются СанПиН –2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы» [37]. Параметры напряженности электромагнитных полей устанавливаются в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [33].

5.1.1 Отклонение показателей микроклимата

Состояние здоровья человека, его работоспособность в значительной степени зависят от микроклимата на рабочем месте. Не имея возможности эффективно влиять на протекающие в атмосфере климатообразующие процессы, люди располагают качественными системами управления факторами воздушной среды внутри производственных помещений.

Микроклимат производственных помещений — это климат внутренней

среды данных помещений, который определяется совместно действующими на организм человека температурой, относительной влажностью и скоростью движения воздуха, а также температурой окружающих поверхностей.

На работах, производимых сидя и не требующих физического напряжения, температура воздуха должна быть в холодный период года от 22 до 24 С°, теплый период года — от 23 до 25 С°. Относительная влажность воздуха на постоянных рабочих местах должна составлять 40-60%, скорость движения воздуха должна быть 0,1 м/с. Работа за компьютером относится к Iа категории. Оптимальные и допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах должны соответствовать значениям, приведенным в таблицах 2 и 3 применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года [34].

Таблица 5.2 – Оптимальные нормы микроклимата для категории работ Iа

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Темпе-ратура воздуха, °С	Относительная влажность воз-духа, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Iа (до 139)	22-24	60-40	0,1
Теплый	Iа (до 139)	23-25	60-40	0,1

Таблица 5.3 – Допустимые нормы микроклимата для категории работ Iа

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Темпе-ратура воздуха, °С		Относительная влажность воз-духа, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Iа (до 139)	20-21,9	24,1-25,0	15-75	0,1
Теплый	Iа (до 139)	21-22,9	25,1-28	15-75	0,2

Провели измерения и определили параметры микроклимата на рабочем месте, данные занесли в таблицу 4

Таблица 5.4 – Параметры микроклимата на рабочем месте для Iа категории работы

Категория работы	Результаты измерений			Оценка соответствия
	t C°	W%	V м/с	
Iа холодный	24	27	0.01	Соответствует нормативным документам
Iа теплый	24,6	27	0	Соответствует нормативным документам

В итоге работы выяснили, что параметры микроклимата соответствуют нормативным документам. Следовательно, в таком помещении нет ограничений по времени. Для повышения влажности воздуха в помещении следует применять увлажнители воздуха с дистиллированной или кипяченой питьевой водой.

5.1.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Недостаточное освещение рабочего места затрудняет выполнение работы, вызывает утомление, увеличивает риск производственного травматизма. Длительное пребывание в условиях недостаточного освещения сопровождается снижением интенсивности обмена веществ в организме, ослаблением его реактивности, способствует развитию близорукости. К таким же последствиям приводит работа при ограниченном спектральном составе света и монотонном режиме освещения. Излишне яркий свет слепит, снижает зрительные функции, приводит к перевозбуждению нервной системы, уменьшает работоспособность, а при чрезмерной яркости может вызвать фотоожоги глаз и кожи, катаракты; и другие нарушения зрения [35].

Освещенность при работе с персональным компьютером должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Следует ограничивать неравномерность распределения яркости в поле зрения

пользователя ПК при этом соотношение яркости между рабочими поверхностями не должно превышать 3:1-5:1, а между рабочими поверхностями и поверхностями стен и оборудования — 10:1. Коэффициент пульсации не должен превышать 5% [35]. Для исключения бликов отражений в экране светильников общего освещения рабочий стол с ПК следует размещать между рядами светильников. При этом светильники должны быть расположены параллельно горизонтальной линии взгляда работающего. При рядном размещении рабочих столов не допускается расположение экранов дисплеев навстречу друг другу из-за их взаимного отражения, в противном случае между столами следует устанавливать перегородки [36].

Для измерения освещенности мы использовали специальный прибор – люксметр [37]. Значения люксметра составили 400 Лк – соответствует нормам. Для дальнейшего 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.

5.1.3 Повышенный уровень шума на рабочем месте

Шум является общебиологическим раздражителем и в определенных условиях может влиять на органы и системы организма человека [38]. Основными источниками шума могут быть как сами компьютеры, так и другие источники. Например, кондиционер, принтер, светильники, а так же шум, проникающий через открытые окна и двери. В результате неблагоприятного воздействия шума на работающего человека происходит снижение производительности труда, увеличивается брак при работе с программным обеспечением, создаются предпосылки к возникновению несчастных случаев [39]. Проверенные нами измерения показали уровень шума 58 дБ, норма 60 дБ. Дополнительными мероприятиями по шумоглушению могут быть звукоизолирующие отделки, шумоглушители для вентиляций, отопления, кондиционирования воздуха.

5.1.4 Повышенная напряженность электрического поля

Источники электромагнитного излучения, с которыми мы взаимодействуем длительное время, являются самыми опасными. Проблема электромагнитного излучения ПК, то есть воздействие компьютера на организм человека, встает достаточно остро ввиду нескольких причин:

1. Компьютер имеет сразу два источника электромагнитного излучения (монитор и системный блок)
2. Пользователь ПК чаще всего лишен возможности работать на безопасном расстоянии
3. Длительное время влияния компьютера (для современных пользователей может составлять более 12 часов, при официальных нормах, запрещающих работать на компьютере более 6 часов в день).

Кроме этого существуют несколько вторичных факторов, которые усугубляют ситуацию, к ним можно отнести работу в тесном непроветриваемом помещении и концентрацию множества ПК в одном месте. Повышенный электромагнитный фон в значительной степени обеспечивает воздействие компьютера на здоровье людей.

В результате продолжительной работы за компьютером в течение нескольких дней человек чувствует себя уставшим, становится крайне раздражительным, часто отвечает на вопросы однозначными ответами, ему хочется прилечь [33]. Поэтому при работе с ПК через каждый час следует делать перерыв на 10-15 минут. 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 [40].

К средствам защиты от ЭМП можно отнести специальные приборы, которые позволяют нейтрализовать данное излучение, максимальное сокращение времени пребывания в зоне действия электромагнитного

излучения, а также лечебно-профилактический отпуск, и соблюдение мер безопасности при работе с ПК [41].

5.1.5 Электрический ток

Электрический ток относиться к опасным факторам. На рабочем месте инженера-исследователя имеются системный блок клавиатура и монитор. При включении монитора на электронно-лучевой трубке формируется большое напряжение в несколько киловольт. Поэтому запрещается работать на компьютере во влажной одежде и влажными руками, прикасаться к тыльной стороне дисплея, вытирать пыль с компьютера при его включенном состоянии. Перед началом работы необходимо убедиться в отсутствии висящих под столом или свешивающихся со стола проводов электропитания, в целостности провода электропитания и вилки, в отсутствии видимых повреждений рабочей мебели и аппаратуры. Токи статического электричества, наведенные в процессе работы ПК на корпусах клавиатур, монитора и системного, могут приводить к разрядам при прикосновении к этим элементам. Эти разряды неопасны для человека, но могут привести к нарушению работы компьютера. Для снижения величин токов статического электричества используются нейтрализаторы, общее и местное увлажнение воздуха, использование покрытия полов с антистатической пропиткой [33].

5.1.6 Механические опасности

Под воздействием высоких температур происходит разрушение конструкций и установок. При этом инженер может получить значительные механические травмы, оказаться под обломками завалившихся конструкций.

5.2 Экологическая безопасность

Большинство людей уже не представляет свою жизнь без персонального компьютера, планшета, телефона, мы перестали учитывать тот вред, который сами добровольно причиняем вред своему организму и состоянию окружающей среды. Ученые и исследователи уверенны, что пора предпринять меры по уменьшению объемов ущерба, который ежедневно

наносится окружающей среде и негативно воздействует на экологию. По некоторым данным исследователей, чтобы создать один среднестатистический персональный компьютер, требуется в 10 раз больше химических веществ и топлива, чем вес конечного изобретения. Многое сырье, используемое в сборке компьютеров, является токсичным. Это органические составляющие – такие, как пластик различных видов, материалы на основе поливинилхлорида, фенолформальдегида, как и почти полный набор металлов, среди которых свинец, сурьма, ртуть, кадмий, мышьяк. Компоненты компьютера после попадания в почву начинают гнить, при этом выделяют ядовитые газы, которые усугубляют общий объем загрязнения окружающей среды, поэтому компьютеры надо утилизировать. Ископаемое топливо лишь усугубляет нерешенную проблему глобального потепления. Отходы производства также не исчезают, превращаясь в свалки, или перерабатываются, оказывая плохое влияние на экологию.

Многие пользователи и производители ошибаются, полагая, что с уменьшением и усовершенствованием компьютеров, их негативное влияние на экологию уменьшается. Поэтому ученые подчеркивают важность вторичного использования. Прежде чем выбросить гаджет в мусор, лучше окончательно убедиться, что он не подлежит восстановлению и только потом обращаться в конфигуратор компьютера. Возможно, он будет частично полезен в другой сборке. Остается лишь надеяться, что настанет время, когда технологии будут помогать человеку, не причиняя необратимый ущерб здоровью окружающей среды [41].

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее распространенными источниками возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера являются пожары.

Пожарная безопасность - это состояние защищённости человека, общества, материального имущества и государства от пожаров [42].

Персональные компьютеры являются наиболее защищенными от

возгорания устройствами: им не страшны перепады в сети и внезапные отключения электроэнергии. Однако при нарушении определенных правил использования, даже они могут вспыхнуть пламенем и нанести колоссальный ущерб имуществу и здоровью людей [43].

Пожарная безопасность при работе с компьютером предусматривает осторожность при обслуживающих, ремонтных и профилактических работах, так как во время таких работ использование различных смазочных материалов, легковоспламеняющихся жидкостей, прокладок, временных электропроводок крайне опасно, как и проведение пайки и чистки отдельных узлов и деталей. Избежать дополнительной пожарной опасности поможет соблюдение соответствующих мер пожарной профилактики. Прокладка всех видов кабелей в металлических газонаполненных трубах – отличный вариант для предотвращения возгорания [44].

В вычислительных центрах установка пожарных кранов в коридорах, на площадках лестничных клеток и у входов способствует защите помещений от нежелательного возгорания. Потушить пожар можно также с помощью ручных углекислотных огнетушителей, установленных в помещениях из расчета один огнетушитель на 40-50 м^2[44].

Рисунок 5.2 – План эвакуации из аудитории №256 8 корпуса ТПУ

В современных ПК достаточно высокая плотность размещения

элементов электронных схем. Близко друг к другу располагаются соединительные кабели и провода. При протекании по ним электрического тока выделяется достаточное количество теплоты. При этом возможно оплавление изоляции. Для отвода избыточной теплоты от ПК служат системы кондиционирования воздуха и вентиляции. Для большинства зданий с компьютерным классом установлена категория пожарной опасности В. По степени огнестойкости кабинеты с ПК можно отнести к I или II категории. Для изготовления строительных конструкций используются, чаще всего, металл, кирпич, стекло, железобетон и другие, негорючие материалы. Применение дерева должно быть ограничено, а в случае использования необходимо пропитывать его огнезащитными составами [45].

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно ТК РФ N 197 -ФЗ каждый работник имеет право на:

1. рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
2. обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
3. отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
4. обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
5. обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;
6. внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и

среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

7. гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным актом, трудовым договором, если он занят на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.
8. повышенные или дополнительные гарантии и компенсации за работу на работах с вредными и (или) опасными условиями труда могут устанавливаться коллективным договором, локальным нормативным актом с учетом финансово-экономического положения работодателя.

Основным объектом в производственных условиях является рабочее место, представляющее собой в общем случае пространство, в котором может находиться человек при выполнении производственного процесса.

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

Выполняя планировку рабочего места необходимо учитывать следующее:

1. Рекомендуемый проход слева, справа и спереди от стола 500 мм. Слева от стола допускается проход 300 мм;

2. Рабочие места с ПЭВМ при выполнении творческой работы, требующей значительного умственного напряжения или высокой концентрации внимания, рекомендуется изолировать друг от друга перегородками высотой 1,5-2,0 м. Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов. Корпус ПЭВМ, клавиатура и другие блоки и

устройства ПЭВМ должны иметь матовую поверхность с коэффициентом отражения 0,4-0,6 и не иметь блестящих деталей, способных создавать блики. Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы;

3. Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ;

4. Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию;

5. Стул не может располагаться непосредственно на границе площади рабочего места. Рекомендуемое расстояние от спинки стула до границы должно быть не менее 300 мм. [46].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной исследовательской работе была разработана математическая модель распространения верхового лесного пожара и его воздействия на здания в населенных пунктах. Были проведены многочисленные расчеты по описанию воздействия лесных пожаров на населенные пункты. Получен анализ данных и были визуализированы результаты расчетов с помощью ПО MATLAB.

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 ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Лесные пожары в Российской Федерации (состояние и последствия) // Технологии гражданской безопасности. – 2006. – №630(9). – С. 12-21.
2. Халдина Е.А. Математическое моделирование распространения лесных пожаров с учетом противопожарных преград // Вестник науки Сибири. – 2013. – №4(10). – С. 98-103.
3. Гришин А.М. Анализ действия лесных и степных пожаров на города и поселки и новая детерминированно-вероятностная модель прогноза пожарной опасности в населенных пунктах // Вестник Томского Государственного Университета. – 2009. – №1(6). – С. 41-48.
4. Лесной дозор [Электронный ресурс] / URL: http://www.lesdozor.ru, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. Дата обращения: 10.02.2018 г.
5. Шарагин, А. М. Влияние лесных пожаров на экологическую ситуацию //Успехи современного естествознания. – 2011. – №7. – стр. 236-236.
6. Проблема лесных пожаров в России [Электронный ресурс] / URL: http://lesdozor.ru/ru/problemy-obnaruzheniya-lesnyh-pozharov/analitika/problema-lesnykh-pozharov-v-rossii, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. Дата обращения: 14.02.2018 г.
7. Перминов В. А. Математическое моделирование возникновения верховых и массовых лесных пожаров // Вестник Томского Государственного Университета – 2010. – 283 с.
8. Кудрин А.Ю., Запорожец А.И., Подрезов Ю.В. Современные методы обнаружения и мониторинга лесных пожаров // Технологии гражданской безопасности. – 2006. – №630(9). – С. 66-67
9. Ходаков В.Е., Жарикова М.В. Лесные пожары: методы исследования –2007 – С. 216.

10. Научно-информационный сайт [Электронный ресурс]/ URL: http://biofile.ru/bio/8805.htm ,свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. Дата обращения: 17.04.2018 г
11. Седнев В.А, Тетерина Н.В. Оценка мероприятий по обеспечению безопасности населенных пунктов от воздействия лесных пожаров // Технологии гражданской безопасности. – 2006. – №630(9). – С. 102-103
12. Лесные пожары: классификация, прогнозирование, организация тушения [Электронный ресурс] / URL: http://www.wood.ru/ru/lofire.html, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. Дата обращения: 22.02.2018 г.
13. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров и новые способы борьбы с ними // Москва: Наука – 1992. – С.408 .
14. Конев Э.В. Физические основы горения растительных материалов. //Наука – 1977. – С.239.
15. Гришин А.М., Голованов А.Н., Смирнов В.Г. О методике экспериментального определения параметров в зоне лесного пожара // Физика горения и взрыва//Москва: Наука – 1995. – Т.31, № 3.
16. Статистика лесных пожаров [Электронный ресурс] / URL: http://vawilon.ru/statistika-lesnyh-pozharov/, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. Дата обращения: 08.03.2018 г.
17. Сводная статистика лесных пожаров [Электронный ресурс] / URL: http://wiki-fire.org/Сводная-статистика-лесных-пожаров-в-РФ.ashx, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. Дата обращения: 10.03.2018 г.
18. Изменение климата и природные пожары [Электронный ресурс] / URL: http://bellona.ru/2017/12/25/climate-fires/, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. Дата обращения: 10.03.2018 г. [2]
19. Федеральное агентство лесного хозяйства [Электронный ресурс] / URL:

http://rosleshoz.gov.ru/activity/forest_security_and_protection/fires/docs, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. Дата обращения: 11.03.2018 г.

20. Официальный сайт ФБУ "Авиалесоохрана". [Электронный ресурс/ URL: https://aviales.ru/ ,свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. Дата обращения: 11.03.2018 г.
21. B. Porterie , S. Nicolas , J. L. Consalvi , J. C. Loraud , F. Giroud , C. Picard , Numerical Heat Transfer – 2005.
22. D.G.Anderson, E.A. Catchpole, N.J. de Mestre, T. Parkes. Modeling the spread of grass fires // Journal of Australian Mathematical Society (series B) . – 1982. – № 23.
23. Гришин А.М., Зятнин В.И., Перминов В.А. Экспериментальное исследование перехода низового лесного пожара в верховой // ВИНИТИ – 1991. – № 982-91 – С.22.
24. Гришин А.М., Алексеев Н.А., Грузин А.Д. и др. Физическое моделирование распространения лесных пожаров и взаимодействия ударных волн с фронтом пожара //ВИНИТИ – 1989. – № 2883-в89 – С.59.
25. Raquel S.P Hakes, Sara E. Caton, Daniel J. Gorham , Michael J. Gollner, A. Review of Pathways for Building Fire Spread in the Wildland Urban // Fire Technology Journal –2016.
26. Волокитина А.В.. Защита населенных пунктов от чрезвычайных ситуаций, связанных с природными пожарами // Российская академия наук. – Красноярск, 2002. – С. 7–8.
27. Rossi JL, Simeoni A Moretti B, Leroy-Cancellieri. An analytical model based on radiative heating for the determination of safety distances for wildland fires //Fire Safety Journal –2011.
28. Гришин А.М., Грузин А.Д., Зверев В.Г. Математическая теория верховых лесных пожаров // Теплофизика лесных пожаров. – Новосибирск: ИТФ СО АН СССР, 1984. – С. 38–75.

29. Патанкар С.В. Численные метода решения задач теплообмена и динамики жидкости // Энергоатомиздат, – 1984. – С.46– 89 .
30. ФЗ-№123 Технический регламент о требованиях пожарной безопасности – Москва: 2008 – п. 15 ст. 69 .
31. Валендик Э.Н., Матвеев П.М., Софронов М.А. Крупные лесные пожары и борьба с ними // Москва: Наука – 1979. – С. 198.
32. Фрянова К.О., Перминов В.А. Воздействие лесных пожаров на здания и сооружения // Инженерно-технических журнал №7 – 2017. –С.15–22.
33. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы [Электронный ресурс] / URL: http://docs.cntd.ru/document/901865498, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 08.03.2018 г.
34. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав России, 1997. – 15 с.
35. Естественное и искусственное освещение [Электронный ресурс] / URL: http://www.vashdom.ru/snip/2305-95/, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 08.03.2018 г.
36. 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.
37. Люксметры и измерение освещенности [Электронный ресурс] / URL: http://ecounit.com.ua/artikle_103.html Дата обращения: 08.03.2018
38. СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96 [Электронный ресурс] / URL: http://base.garant.ru/4174553/. Дата обращения: 08.03.2018
39. Влияние шума на организм человека [Электронный ресурс/ URL : https://www.natural-sciences.ru/ru/article/view?id=14048 . Дата обращения 09.03.2018

40. Защита от электромагнитного излучения [Электронный ресурс] / URL: https://gamma7.m-l-m.info/zashhita-ot-elektromagnitnogo-izlucheniya/vliyanie-elektromagnitnogo-izlucheniya-na-cheloveka/vrednoe-vozdejstvie-kompjutera/. Дата обращения 09.03.2018
41. Влияние компьютера на человека и окружающую среду [Электронный ресурс] / URL: http://ecovoice.ru/blog/eco/5336.html . Дата обращения 09.03.2018
42. Пожарная безопасность [Электронный ресурс] / URL: https://www.fire-service.ru/informaciya/informaciya-po-pozharnoj-bezopasnosti/pozharnaya-bezopasnost.html . Дата обращения 09.03.2018
43. Возгорание персональных компьютеров [Электронный ресурс] / URL: http://tinyhack.ru/vozgoranie-personalnyh-kompyuterov/. Дата обращения 10.03.2018
44. Пожарная безопасность при работе с компьютером [Электронный ресурс] / URL: http://rtp01.ru/node/276. Дата обращения 10.03.2018
45. Фетисов, П.А. Справочник по пожарной безопасности. / – М.: Энергоиздат, 1984. – 262 с
46. Правовые и организационные вопросы безопасности [Электронный ресурс] / URL: http://studbooks.net/1358777/menedzhment/pravovye_organizatsionnye_voprosy_obespecheniya_bezopasnosti. Дата обращения 10.03.2018