

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

---

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
Направление подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность  
Отделение контроля и диагностики

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Математическое моделирование воздействия природных пожаров на здания и сооружения</b> УДК 614.841.45:630:519.876

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ81	Коржова Александра Юрьевна		

Руководитель

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Маланина В.А.	к.э.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП 20.04.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Ю.В.	к.т.н.		

Томск – 2020 г.

## Результаты освоения образовательной программы по направлению 20.04.01 Техносферная безопасность

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р1	<i>Использовать на основе глубоких и принципиальных знаний необходимое оборудование, инструменты, технологии, методы и средства обеспечения безопасности человека и окружающей среды от техногенных и антропогенных воздействий в условиях жестких экономических, экологических, социальных и других ограничений</i>	Требования ФГОС (ПК-3–7; ОПК-1–3, 5; ОК-4–6) <sup>1</sup> , Критерий 5 АИОР <sup>2</sup> (пп.5.2.1, 5.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р2	Проводить <i>инновационные</i> инженерные исследования опасных природных и техногенных процессов и систем защиты от них, включая <i>критический анализ данных из мировых информационных ресурсов, формулировку выводов в условиях неоднозначности</i> с применением <i>глубоких и принципиальных знаний и оригинальных методов</i> в области современных информационных технологий, современной измерительной техники и методов измерения.	Требования ФГОС (ПК-8–13; ОПК-1–3, 5; ОК-4, 9, 10, 11, 12), критерии АИОР Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.2, 5.2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р3	Организовывать и руководить деятельностью подразделений по защите среды обитания и безопасному размещению и применению технических средств в регионах, осуществлять взаимодействие с государственными службами в области экологической, производственной, пожарной безопасности, защиты в чрезвычайных ситуациях, находить и принимать управленческие решения с соблюдением профессиональной этики и норм ведения <i>инновационной инженерной деятельности</i> с учетом юридических аспектов в области техносферной безопасности	Требования ФГОС (ПК-4, 6, 14–18; ОПК-1–5; ОК-1, 7, 8), Критерий 5 АИОР (пп.5.2.5, 5.3.1–2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р4	Организовывать мониторинг в техносфере, составлять краткосрочные и долгосрочные прогнозы развития ситуации на основе его результатов с использованием <i>глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности</i> , анализировать и оценивать	Требования ФГОС (ПК-2, 19, 21, 22; ОПК-1–5; ОК-2), Критерий 5 АИОР (п.5.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов

<sup>1</sup> Указаны коды компетенций по ФГОС ВО (направление 20.04.01 – Техносферная безопасность).

<sup>2</sup> Критерии АИОР (Ассоциации инженерного образования России) согласованы с требованиями международных стандартов *EUR-ACE* и *FEANI*

	потенциальную опасность объектов экономики для человека и среды обитания и разрабатывать рекомендации по повышению уровня безопасности	<i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Проводить экспертизу безопасности и экологичности технических проектов, производств, промышленных предприятий и территориально-производственных комплексов, аудит систем безопасности, осуществлять мероприятия по надзору и контролю на объекте экономики, территории в соответствии с действующей нормативно-правовой базой	Требования ФГОС (ПК-20, 23–25; ОПК-1–3, 5), Критерий 5 АИОР (пп.5.2.5–6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P6	Работать в интернациональной профессиональной среде, включая разработку документации, презентацию и защиту результатов <i>инновационной инженерной деятельности с использованием иностранного языка</i>	Требования ФГОС (ОК-5, 6, 10–12; ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п.5.3.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Эффективно работать индивидуально, а также в качестве <i>руководителя группы</i> с ответственностью за работу коллектива при решении инновационных инженерных задач в области техносферной безопасности, демонстрировать при этом готовность следовать профессиональной этике и нормам, понимать необходимость и уметь <i>самостоятельно учиться</i> и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОК-1-3, 5, 8, 11, 12, ОПК 1-4, ПК-18)  Критерий 5 АИОР (пп.5.3.3–6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
 Направление подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность  
 Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 20.04.01 Техносферная безопасность  
 \_\_\_\_\_ Ю.В. Анищенко  
 10.03.2020 г.

**ЗАДАНИЕ  
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
1EM81	Коржовой Александре Юрьевне

Тема работы:

**Математическое моделирование воздействия природных пожаров на здания и сооружения**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 10396/с от 26.11.2018

Срок сдачи студентом выполненной работы:

10.03.2020 г.

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования в данной работе являются верховые природные пожары. С помощью программного обеспечения MATLAB были построены графики, расчеты производились с помощью программы Wildinte.</p> <p>Предметом исследования является математическое моделирование воздействия верховых природных пожаров на здания и сооружения.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов,</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Обзор существующих теоретических и экспериментальных методов изучения природных пожаров</li> <li>2) Выбор метода математического моделирования</li> <li>3) Применение метода контрольного объема для получения дискретного аналога</li> <li>4) Разработка математической постановки задачи о возникновении и распространении природных пожаров</li> </ol>

<i>подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	5) Задание исходных данных и параметров 6) Разработка численной методики решения поставленной задачи. 7) Численное решение задачи о воздействии природных пожаров на здания и сооружения 9) Анализ результатов решения задачи и анализ воздействия природных пожаров на здания и сооружения
--	--

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кандидат экономических наук Маланина В.А.
Социальная ответственность	Доктор технических наук Федорчук Ю.М.

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

Литературный обзор

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	10.03.2020 г.
---	---------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов Валерий Афанасьевич	Доктор физико-математических наук		10.03.2020 г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1EM81	Коржова Александра Юрьевна		10.03.2020 г.

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
 Направление подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность  
 Уровень образования магистратура  
 Отделение контроля и диагностики  
 Период выполнения весенний семестр 2019/2020 учебного года

Форма представления работы:

магистерская диссертация

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.05.2020 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
23.03.2020 г.	Введение 1. Теоретическая часть 1.1 Обзор литературы по изучению природных пожаров 1.1.1 Общие сведения о лесе 1.1.2 Классификация природных пожаров	20
06.04.2020 г.	1.1.3 Мониторинг природных пожаров 1.1.4 Лесопожарная обстановка 1.1.5 Противопожарная профилактика лесных объектов	10
20.04.2020г.	1.2 Математическое моделирование процессов ЧС 1.2.1 Обзор экспериментальных исследований возникновения и развития природных пожаров	25
04.05.2020 г.	2. Практическая часть 2.1 Постановка задачи и метод решения 2.1.1 Физическая постановка задачи 2.1.2 Математическая постановка задачи 2.1.3 Метод решения 2.2 Результаты и расчеты численных решений	15
11.05.2020 г.	Разработка разделов «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» «Социальная ответственность»	10
25.05.2020 г.	Оформление ВКР	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов В.А	д.ф.-м. н.		10.03.2020

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП 20.04.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Ю.В.	к.т.н.		10.03.2020

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1EM81	Коржова Александра Юрьевна

<b>Инженерная школа</b>	Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности	<b>Отделение</b>	Отделение контроля и диагностики
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление / специальность</b>	Техносферная безопасность

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Литературные источники; 2. Методические указания по разработке раздела; 3. Научные публикации; 4. Нормативно-правовые документы; 5. Статистические бюллетени.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

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

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности проведения поисковых ГРП с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1. Определение потенциального потребителя; 2. SWOT-анализ; 3. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.
2. Планирование и формирование бюджета поисковых ГРП	1. Планирование этапов работы; 2. Определение календарного графика и трудоемкости работы; 3. Расчет бюджета.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности поисковых ГРП	1. Оценка сравнительной эффективности проекта.

**Перечень графического материала:**

1. Сегментирование рынка
2. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений
3. Матрица SWOT
4. Морфологическая матрица
5. График проведения и бюджет работы
6. 7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	10.03.2020
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Маланина В.А.	к.э.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ81	Коржова Александра Юрьевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1EM81	Коржова Александра Юрьевна

<b>Институт</b>	<b>Неразрушающего контроля</b>	<b>Кафедра</b>	<b>Физических методов и приборов контроля качества</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	Техносферная безопасность

**Тема дипломной работы: Математическое моделирование воздействия природных пожаров на здания и сооружения**

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<b>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</b>	<p>Объектом исследования в данной работе являются природные (лесные) пожары, моделируемые с помощью программного обеспечения на персональных компьютерах. Область применения данной программы разработка алгоритмов, анализ данных, исследование и визуализация результатов моделирования.</p> <p>Моделирование осуществлялось на рабочем месте (аудитория 509 корпуса № 18 ТПУ, оборудованная компьютерами).</p> <p>Были разобраны основные разделы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- вредные проявления факторов производственной среды (освещение, шум, микроклимат);</li> <li>- опасные проявления факторов производственной среды (электрической и пожарной природы);</li> <li>- негативное воздействие на окружающую природную среду;</li> <li>- чрезвычайные ситуации.</li> </ul>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>- действие фактора на организм человека;</li> <li>- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>- предлагаемые средства защиты;</li> <li>- (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul>	<p>1.1 Воздействие специалиста-исследователя по моделированию опасных факторов, таких как неблагоприятный микроклимат, недостаточная освещенность рабочей зоны, повышенный уровень шума на рабочем месте, повышенная напряженность электрического поля</p>
<p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>- термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты).</li> </ul>	<p>1.2 Воздействие специалиста-исследователя по моделированию опасных факторов пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения), электробезопасность (в т.ч. статическое электричество);</p>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- негативное влияние токсических веществ от ПК на окружающую среду (воздействие на атмосферу);</li> <li>- загрязнение окружающей среды оргтехникой (бумага-черновики, картриджи и т.д.);</li> <li>- утилизация перегоревших люминесцентных ламп.</li> </ul>
<p><b>3. Пожарная безопасность:</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- план эвакуации из здания;</li> <li>- способы устранения причин пожаров.</li> </ul>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>- выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>Рассмотрены два варианта чрезвычайных ситуаций:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- природная – сильные морозы зимой;</li> <li>- техногенная – несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место, исключение вандализма и диверсии.</li> </ul>
<p><b>5. Перечень используемых нормативно-технических документов</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-ГОСТы;</li> <li>-СанПины;</li> <li>- СНИПы и др.</li> </ul>
<p><b>Перечень графического материала:</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-схема аудитории;</li> <li>-план размещения светильников на потолке рабочего помещения;</li> <li>-пути эвакуации.</li> </ul>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	15.02.2020
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Юрий Митрофанович	д.т.н.		15.02.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ81	Коржова Александра Юрьевна		15.02.2020

## РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация содержит 113 с., 30 рис., 28 табл., 38 источников.

Ключевые слова: математическое моделирование, природные пожары, горение древесины, лесной массив, метод контрольного объема, дискретный аналог.

Объект исследования в данной работе - природные пожары. В работе использовалось программное обеспечение MATLAB, с помощью которого производилось построение графиков.

Основная цель диссертации заключается в построении математической модели и проведении численных расчетов, с помощью которых можно определить безопасные противопожарные расстояния, от лесных массивов до населенных пунктов.

В исследовании создается двумерная математическая модель очага горения в лесном массиве, развивающегося во времени, тем самым подвергая тепловому воздействию рядом находящееся жилое здание. Проводились многочисленные расчеты, на основании которых построены зависимости, по результатам получены безопасные расстояния от леса до постройки.

Степень внедрения: в ходе работы полученная модель численного решения задачи о воздействии верхового пожара на здание опубликована в сборниках научных конференций.

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в получении более точных и быстрых результатов, которые можно использовать на практике.

Научная новизна работы состоит в усовершенствовании программного обеспечения, которое позволяет изучать более реалистичный процесс образования больших природных пожаров и техногенных катастроф.

## **Сокращения и обозначения**

ЛП – лесные пожары

ПП – природные пожары

ВЛП – верховой лесной пожар

НЛП – низовой лесной пожар

МКО – метод контрольного объёма

ЭВМ – электронно-вычислительная машина

ПО – программное обеспечение

# СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	17
1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	20
1.1 Обзор литературы по изучению природных пожаров.....	20
1.1.1 Общие сведения о лесе.....	20
1.1.2 Классификация природных пожаров .....	21
1.1.3 Мониторинг природных пожаров .....	22
1.1.4 Лесопожарная обстановка.....	24
1.1.5 Противопожарная профилактика лесных объектов .....	30
1.2 Математическое моделирование процессов в ЧС .....	31
1.2.1 Обзор экспериментальных исследований возникновения и развития природных пожаров .....	33
2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	38
2.1 Постановка задачи и метод решения.....	38
2.1.1 Физическая постановка задачи .....	38
2.1.2. Математическая постановка задачи .....	39
2.1.3. Метод решения .....	42
2.2 Результаты и анализ численных расчетов .....	45
3. РАЗДЕЛ «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ» .....	54
3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	54
3.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....	54
3.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	56
3.2. SWOT-анализ.....	57
3.3 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований .....	61
3.4. Инициация проекта .....	62
3.4.1 Цели и результат проекта.....	62
3.5 Планирование проекта .....	63

3.5.1 Структура работы в рамках научного исследования.....	63
3.6 Бюджет научного исследования .....	67
3.6.1 Расчет материальных затрат .....	67
3.6.1.1 Затраты на оборудование и электроэнергию .....	68
3.6.2. Основная заработная плата.....	68
3.6.3 Дополнительная заработная плата .....	70
3.6.4 Отчисления на социальные нужды.....	71
3.6.5 Накладные расходы .....	71
3.7 Матрица ответственности.....	73
3.8 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	74
3.8.1 Оценка социальной эффективности исследования .....	74
4. РАЗДЕЛ «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....	76
Введение в раздел .....	76
4.1 Производственная безопасность .....	77
4.1.1 Отклонение показателей микроклимата .....	79
4.1.2 Загрязнение воздушной среды.....	80
4.1.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	81
4.1.3.1 Расчет искусственного освещения .....	82
4.1.4 Повышенный уровень шума на рабочем месте .....	85
4.1.5 Повышенная напряженность электрического поля.....	86
4.2 Электробезопасность .....	87
4.3 Пожарная безопасность .....	90
4.4 Экологическая безопасность .....	92
4.4.1 Утилизация компьютерной техники и макулатуры .....	92
4.4.2. Утилизация люминесцентных ламп .....	93
4.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	93
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	108
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	110

## ВВЕДЕНИЕ

Лес – это экологически сложная система, состоящая из множества взаимосвязанных элементов. К этим элементам относятся живые организмы, тесно связанные между собой, и не живые, абиотическая составляющая-вода, почва, воздух. Каждое животное и растение, является неотъемлемой частью лесной зоны, и входит в пищевую цепь. Лес является источником кислорода на Земле и основой жизни для животного мира, но актуальной проблемой для лесного фонда на текущий период является разрушительная сила огня. На сегодняшний день леса занимают 1/3 часть суши, ранее лесные земли были намного многочисленнее. Причины сокращения лесных массивов связаны с тем, что леса уже давно подвергаются уничтожению, то в экономических целях, то выгорают из-за неосторожности человека, то из-за природных процессов. Ежегодно в России возникают десятки тысяч природных пожаров, которые выбрасывают в атмосферу тонны продуктов сгорания и уничтожению подвергается более 1 млн. га леса. Природные пожары несут разрушительный характер, губят древесину, лишают почву геоботанического покрова, приводят к ухудшению состояния прудов и водоемов, из-за большого выброса вредных паров подрывается человеческое здоровье, гибнут животные и растения, приводят к уничтожению жилищных построек, гаражей, сараев, дачных участков и это только малая часть от негативного воздействия природных пожаров [1].

Проблема распространения природных пожаров в лесных массивах стоит на международном уровне. Так как ежегодно страдают территории лесного фонда не только Российской Федерации, но и других стран, поэтому выбранная тема является актуальной для рассмотрения.

Иногда природный пожар вызывают преднамеренно для борьбы с насекомыми или болезнями деревьев, но такие пожары находятся под контролем человека. Многие ученые считают, что после пожара повышается плодородие почвенного состава, отсюда возрастает разнообразие видов в экосистемах. Однако негативных моментов наблюдается больше, природные

пожары приносят огромный ущерб, представляют собой проблему для ведения лесного хозяйства, задымленность городов, выделение  $CO_2$  и возможный переход пламени на постройки находящиеся недалеко от границы лесного массива [2]. Поэтому необходимо вести постоянный контроль за пожаробезопасностью лесных массивов, а при возникновении пожара незамедлительно реагировать на его устранение. Моделирование природных пожаров и его параметров, играет важную роль в обеспечении безопасности но, к сожалению, ему не уделяют должного физического внимания.

В экономической и экологической сферах, природные пожары занимают важное место. Наносимый ими ущерб трудно оценить. Одно из главных негативных экологических последствий это задымление и загрязнение атмосферы, погибает флора и фауна, углекислые выбросы в воздух усиливают парниковый эффект. После пожара требуется много времени для восстановления земель лесного фонда, на севере страны данный процесс занимает больше времени, чем на юге. Экономические потери тоже довольно большие, ведь тушение пожаров требует огромных финансовых расходов, и восстановление того, что было подвержено огню. Но так же стороной не обходят и социальные потери, в первую очередь это гибель и здоровье людей, как местного населения, так и спасателей и пожарных. Дым может вызвать аллергию и дискомфорт при дыхании, поэтому сложно долгое время находится и проживать в задымленных районах.

Основная цель диссертации – разработка математической модели распространения верховых природных пожаров негативно воздействующих на здания и сооружения, находящихся вблизи лесных массивов и определение безопасных расстояний, от очага горения леса до населенного пункта.

Следует разработать вычислительную методику для расчета модели, чтобы определить безопасные расстояния до построек с учетом различных метеорологических условий, а также при решении задачи учитывается

влияние ветра, размеры здания, высота лесных насаждений, параметры природного пожара, температура, время распространения огня и другие факторы.

Основные задачи исследования:

1. Разработать математическую и физическую постановку задачи о распространении верхового природного пожара и его воздействии на здания и сооружения.
2. Выполнить математическое моделирование процесса с применением численных методов.
3. Провести численные расчеты для изучения воздействия природных пожаров на здания.
4. Визуализировать результаты расчетов.
5. Проанализировать полученные данные.

Модель может найти свое применение в составлении прогнозов поведения реальных природных пожаров, воздействующих на населенные пункты, а также в разработке мероприятий для ликвидации и локализации очага горения. Эта математическая модель предложена известным ученым А.М. Гришиным. Решение данной задачи основано на численном решении системы дифференциальных уравнений [3].

С помощью математического моделирования рассмотрены возможные пути исследования, описывающее положение, в котором находится приземный слой атмосферы и биогеоценоз [4].

# 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

## 1.1 Обзор литературы по изучению природных пожаров

### 1.1.1 Общие сведения о лесе

Лес является составной частью природы, преобладающий деревьями, кустарниками, травами, мхами и лишайниками, он разнообразен по своему составу, структуре и местообитанию. Лес может расти как богатых минералами почвах, так и слабо дренированных участках. Лесная растительность – это отражение леса, которая имеет влияние на окружающую среду, температурные колебания, направление и силу ветряных потоков, освещение и влажность почвенного покрова. Лес – это место обитания животных и микроорганизмов, взаимосвязанных между собой [5].

На территории России существуют следующие виды растительности:

- пустыни и полупустыни;
- тундры и лесотундры;
- тайга;
- смешанные леса;
- степи и лесостепи [6].

По своему составу леса могут быть однопородными или смешанными. Смешанные леса характеризуются большим флористическим богатством и имеют сложную структуру. На территории России в основном преобладают хвойные породы деревьев - это пихта, кедр, ель обыкновенная, лиственница. Повышенная влажность ельников способствует образованию мохового покрова. Появление мхов указывает на избыточное увлажнение и заболоченность территории. Около 25 % хвойного леса занимает сосна. В отличие от ели, это светолюбивая порода деревьев, но очень редко можно найти чистые сосновые леса, они нарушены вырубками. Также в лесах развит густой травяной покров, с большим числом видов растительности.

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 лесные массивы [7].

### **1.1.2 Классификация природных пожаров**

Страны, имеющие большие лесные богатства, очень часто сталкиваются с задачей, связанной с негативным воздействием пожара, особенно в летне-осенний период, это становится национальной проблемой, несущей огромный ущерб, влияющий на состояние лесов. Часто человеческие жизни оказываются под угрозой этих стихийных бедствий, ущерб от которых составляет миллионы долларов [8]. Самыми опасными пожарами в лесах являются те, что находятся вблизи населенных пунктов, это серьезная проблема многих районов в мире. Ожидается, что с глобальным потеплением проблема пожаров в данных районах прилегающих к лесным массивам только усилится. Такие пожары несут огромный материальный и экологический вред. На восстановление небольшого участка леса, нужно время и материальные ресурсы. Если пожар приближается или достигает населенного пункта, в этом случае возможна гибель людей.

Природный (лесной) пожар – это неконтролируемое, стихийное распространение огня, возникающее в природной среде. Природный пожар своего рода химия, ведь это явление выбрасывает в атмосферу кучу негативных химических элементов и газов, которые несут неблагоприятные последствия для всего лесного массива.

Природные пожары, имеют свою классификацию, в первую очередь подразделяются на верховые, низовые и подземные (торфяные). Наиболее опасное воздействие несет верховой природный пожар, так как он может охватить не только деревья, но и всю крону леса включая травяной покров. Около 70 % выгоревшей площади приходится на долю верхового пожара, ему повержены разновозрастные деревья в хвойных многоярусных лесах. Скорость верховых пожаров очень велика, она может достигать от 1500 м/ч и до 5000 м/ ч. Для возникновения верхового пожара может послужить сухая жаркая погода.

При низовом пожаре или другими словами надпочечным, горит нижний слой яруса леса, он распространяется по траве или листовому опадку. Низовой пожар может перейти, как в подземный, так и плавно перетечь в верховой. Такой пожар наносит большой вред деревьям, нанося вред стволу и корням. При подземном пожаре горит подстилка или первый нижний слой яруса леса.

Интенсивность горения может зависеть от силы ветра, содержания ЛГМ, времени суток, уклона местности, исходя из этих условий, различают слабую, среднюю и сильную интенсивность горения.

По скорости распространения природные пожары разделяют на беглые и устойчивые. Беглый пожар охватывает верхнюю часть напочвенного покрова, подрост и подлесок. Он развивается быстро, со скоростью более 0,5 м/мин, обходя места с повышенной влажностью, поэтому часть площади остается незатронутой огнем. Беглые пожары чаще всего приходится на весенний период, как только начинает просыхать самый верхний слой мелких горючих материалов. Устойчивые низовые пожары наоборот развиваются медленнее, имея скорость распространения менее 0,5 м/мин, тем самым захватывает корни и кору деревьев, полностью сгорают подрост и подлесок. Устойчивые пожары приходится на летний период [9].

### **1.1.3 Мониторинг природных пожаров**

Для оценки экологической ситуации в природных массивах особое значение имеет мониторинг лесов, он дает возможность контролировать состояние лесного покрова, деревьев, служит для защиты лесного фонда. Сейчас вопрос мониторинга лесопожарной обстановки широко изучается во всех странах, таким образом разрабатывается более функциональная и усовершенствованная система мониторинга, способная на ранних этапах обнаружить точки возгорания природных пожаров. Существует три вида мониторинга лесных массивов: авиационный, наземный и космический. Мониторинг можно вести исходя из, охвата горимой площади,

метеорологических условий, стоимости и скорости обработки полученных данных.

При наземном мониторинге обнаружение возгорания осуществляется видеонаблюдением, которое производит оператор, такой вид не требует особых затрат и информацию можно получить в короткие сроки. Данные передаются с помощью GPS и Интернет ресурсов.

Авиационный мониторинг, так же как и наземный включает в себя видеонаблюдение, но эффективным для него методом также является использование тепловизионных камер, с помощью которых природный пожар фиксируется даже при условиях сильного задымления в дневное время.

Космический мониторинг лесопожарной обстановки методом дистанционного зондирования Земли ведет контроль за процессами в режиме реального времени, тем самым позволяет переступать метеорологические погодные условия. Преимуществом космического мониторинга является возможность контролировать большие территории, получать оперативно информацию, данные космических снимков находятся в открытом доступе [10].

На территории Российской Федерации мониторинг космической лесопожарной обстановки осуществляется с помощью:

1. Информационной системы дистанционного мониторинга Рослесхоза (ИСДМ-Рослесхоз);
2. Института космических исследований Российской академии наук (г. Москва);
3. Института леса и древесины им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук (г. Красноярск);
4. ГИС-технологий МЧС мониторинг природных пожаров со спутника «Каскад».

Из приведенных выше обладателей космической информации более практично использовать ИСДМ-Рослесхоз, спутниковые сведения в этой системе параллельно дополняются данными наземного мониторинга и авиапатрулированием. Данная система проста в использовании и имеет удобный интерфейс. В ней можно выбирать необходимую подложку, исследуемых процессов [11].

Использование мониторинга обнаружения природных пожаров для Российской Федерации, несмотря на огромную площадь страны, является максимально выгодным способом оперативного получения информации о состоянии лесных систем. Мониторинг лесных пожаров осуществляется на четырех уровнях: локальном, местном, региональном, федеральном.

#### **1.1.4 Лесопожарная обстановка**

На территории Российской Федерации большой лесорастительный ассортимент, который в свою очередь предопределяет охрану и горимость лесов. Большая часть лесного фонда приходится на хвойные породы, такие как: сосны, ели, лиственница, кедр, пихта, которые в свою очередь являются пожароопасными объектами в лесу. Вырубленные лесные районы создают предпосылки для повышения пожарной опасности. Вопрос о горимости лесных фондов стоит на мировом уровне. Самые крупные пожары охватили территории России, Соединенных штатов Америки, Европы (Португалия, Греция, Испания). Для Австралии начало 2020 года осталось запоминающимся, так как огонь охватил огромные территории лесного фонда материка. Ущерб начитывается в миллиардах долларах, гибнут люди и животные, а сколько еще людей осталось без крыши над головой, из-за этого страшного явления – пожар. В таблице 1.1 приведены самые крупные пожары в мире за последнее десятилетие [12].

*Таблица 1.1 – Самые крупные пожары в мире [12]*

Год	Страна	Локация	Смертельные жертвы	Сожженные дома	Сгоревшая площадь (га)
2009	Австралия	Виктория	173	3500	450000

Год	Страна	Локация	Смертельные жертвы	Сожженные дома	Сгоревшая площадь (га)
	США	Южная Калифорния	2	209	64983
2010	Израиль	Хайфский округ	нет данных	250	5000
	Россия	Европейская часть страны	20000	нет данных	2000000
2011	США	Формил-Каньон-Крик, Колорадо	нет данных	161	6181
2012	США	Техас	2	1709	32000
2015	США	Колорадо	6	946	262947
2017 - 2018	США	Таоламн, Калифорния	нет данных	112	257314
2019	Австралия	Новый Южный Уэльс	24	200	20000000
2020	Австралия	Новый Южный Уэльс	25	1300	6000300

Из таблицы 1.1 видно, что данная проблема стоит на мировом уровне и актуальна не только для нашей страны. Масштабы ущерба, нанесенного природными пожарами тяжело определить, но есть ряд факторов влияющих на их увеличение, таких как погодные условия, скорость ветра, протяженность лесного массива, влажность и другие.

Объем статистических данных о лесных пожарах в Российской Федерации расширяется. Самыми пожароопасными регионами страны являются:

- Дальний Восток;
- Сибирь;
- Урал;
- Забайкальский край;
- Иркутская область;
- Красноярский край;
- Поволжье;
- Свердловская область.

Наибольший ущерб лесному фонду наносят пожары в тайге, чаще всего возникшие по вине местного населения. Существует ряд других причин возникновения лесных пожаров, таких как: метеорологические условия

(сухой климат, сильный ветер), природные условия (гроза, молния), антропогенные условия (сельхозпалы, оставленный мусор, окурки, преднамеренный поджог, детская шалость, искры от автомобилей) и др.

В Сибири лесные пожары считаются самыми опасными и приносящими наибольший урон всему лесному хозяйству. Томская область славится своим богатым лесным фондом и большим ассортиментом хвойных пород деревьев. Лесной фонд на территории Томской области достигает площади около 28783 тыс. га. Лесные земли составляют 68,2%, покрытые лесом – 61%, в том числе искусственные насаждения – 1,1%. Хвойные насаждения составляют 53,7% покрытой лесом площади. Мяголиственные породы составляют 46,3 %. Из них сосна – 28,9 %, кедр – 19,1%, ель и пихта – 6,8 %, осинники 9,9 %. Нелесные земли занимают 31,8% площади. Основные задачи, касающиеся лесного хозяйства, охраны и защиты лесов в Томской области лежат на Департаменте лесного хозяйства и Департаменте природных ресурсов Томской области [13].

Среднегодовая горимость лесов области составляет около 100 – 110 дней. Наибольшее число пожаров приходится на период с мая по сентябрь. Лесорастительные условия и метеорологические факторы области способствуют развитию преимущественно низовых пожаров. Сбор всех статистических данных производит Главное управление МЧС России по Томской области (Центр управления в кризисных ситуациях) и база космического мониторинга ИДСМ-Рослесхоз, с использованием ГИС-технологий «Каскад», которые были описаны ранее. Ниже представлены данные по количеству пожаров находящихся на природных территориях Томской области с 2015 по 2020 год и общая сгоревшая площадь, покрытая лесным массивом.

*Таблица 1.2 – Количество природных пожаров по годам [14]*

<b>Год</b>	<b>Количество природных пожаров</b>	<b>Сгоревшая площадь, га</b>	<b>Причина возгорания</b>
2015	136	2 194,48	сельхозпалы

Год	Количество природных пожаров	Сгоревшая площадь, га	Причина возгорания
2016	297	20 681,2	сельхозпалы
2017	113	1 036,4	сельхозпалы
2018	86	691,97	грозы
2019	224	17447	сельхозпалы
2020 (на 20 мая)	60	720	сельхозпалы



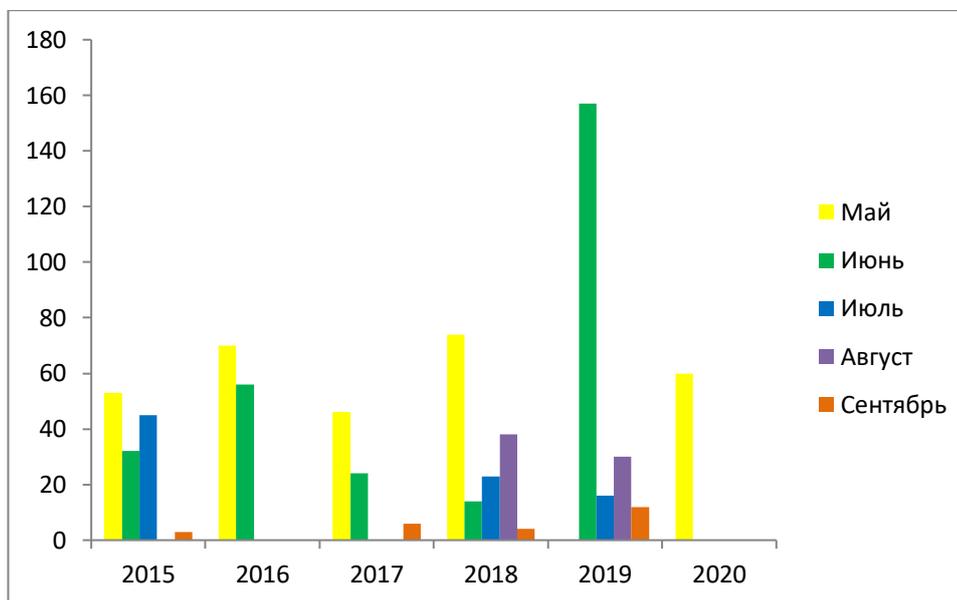
**Рисунок 1.1** Количество лесных пожаров за период 2015-2020 год в Томской области

Из рисунка 1.1 видно, что наиболее пожароопасный период выдался на 2016 и 2019 года, преимущественной причиной которого послужили сельхозпалы. Анализ многолетних наблюдений показывает, что ситуация наиболее высокой пожароопасности в лесных массивах имеет цикл повторяемости порядка 6-8 лет. Таким образом, контролирующие органы проводят профилактические мероприятия и разъяснительные беседы среди местного населения, для уменьшения возникновения риска пожара в лесах.

Еще одной из причин сильной выгораемости территории лесных фондов является труднодоступность. Недостаток дорог, пожарных машин,

отсутствие оперативной передачи информации, всё это приводит к неэффективности борьбы с этим разрушительным природным явлением.

Далее рассмотрим распределение пожара в лесном массиве по месяцам в период 2015-2020 года.



**Рисунок 1.2 Распределение лесных пожаров по месяцам**

На основании гистограммы можно сказать, что наиболее пожароопасными месяцами являются май и июнь. Это устанавливается жаркой погодой и засушливым периодом. В 2020 году первые термоточки были зафиксированы уже в начале апреля, а первый лесной пожар ликвидирован в первой декаде мая, общая площадь которого составила 1,32 га.

В целом для области риск перехода природных пожаров на населенные пункты и объекты экономики оценивается как выше среднего. Исходя из статистических данных за прошедший период и климатических условий, можно спрогнозировать лесопожарную обстановку в области на текущий год, а так же используя разработанную методику. Ниже на рисунке 1.3 приведены районы, которые наиболее подвержены природным пожарам в Томской области в 2020 году, такие как Верхнекететский, Каргасокский, Колпашевский, Парабельский и Томский, населенные пункты в этих районах расположены в лесной зоне и имеют высокий риск возгорания.

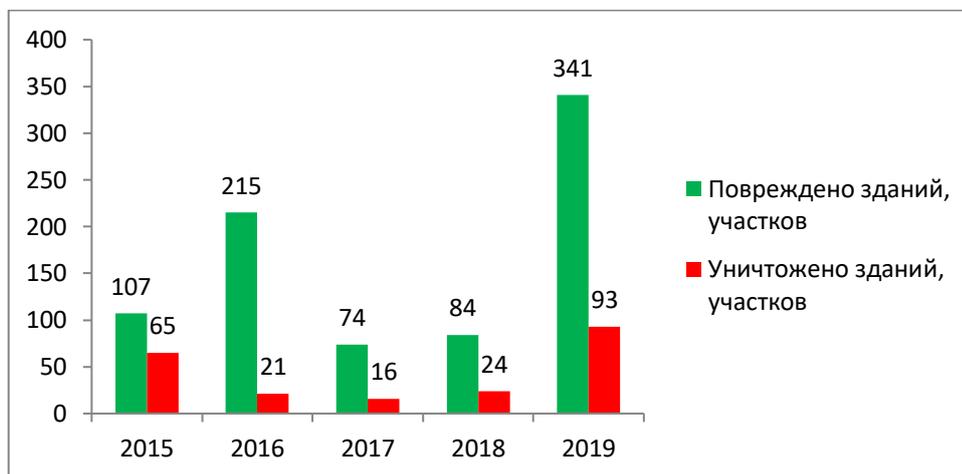


**Рисунок 1.3 Прогноз лесопожарной обстановки в Томской области на 2020 год**

Самое страшное для любого населения остаться без крыши над головой, природные пожары как раз могут привести к возгоранию построек находящихся вблизи лесов. Несмотря на случайный характер распределения пожаров, всегда есть места, где они возникают постоянно, около 85 % возгораний происходят на расстоянии до 10 км от ближайшего населенного пункта. Количество пожаров от гроз, наоборот, быстро увеличивается по мере удаления от жилых поселков, более 90 % пожаров от гроз происходят на расстоянии более 50 км от поселений. В таблице 1.3 приведен материальный ущерб нанесенный пожарами за период 5 лет на территории Томской области.

*Таблица 1.3 – Ущерб от лесных пожаров в населенных пунктах по годам [14]*

Год	Повреждено зданий, участков	Уничтожено зданий, участков
2015	107	65
2016	215	21
2017	74	16
2018	84	24
2019	341	93



**Рисунок 1.4 Воздействие лесных пожаров на здания**

Крупные лесные пожары возникают при определенных погодных условиях, большое значение имеет скорость и распространение ветра, влажность и запас горючих материалов, эти условия ведут к большой стихийной катастрофе [14].

### **1.1.5 Противопожарная профилактика лесных объектов**

Своевременное предупреждение природных пожаров это главная государственная задача лесного хозяйства. Ущерб, причиняемый лесными пожарами, весьма значителен и своевременная профилактика играет важную роль. Возрастающее число пожаров ведет к образованию парникового эффекта, тем самым ведет к экологической и экономической безопасности лесного сектора. Чаще всего лесные пожары происходят в связи с нарушение правил пожарной безопасности местного населения проживающего вблизи лесных массивов. Несмотря на то, что в нашей стране лесным пожарам уделяется значительное внимание на разных уровнях, ведется мониторинг и прогнозирование, их число снизилось всего на 20 %. Профилактические мероприятия предусматривают создание эффективной законодательной базы в области охраны и защиты лесных массивов от природных пожаров [15].

Основополагающим документом в области охраны лесных массивов является Лесной кодекс Российской Федерации, который предусматривает основные противопожарные мероприятия. Контролирующие органы при подготовке к пожароопасному сезону:

- создают противопожарные барьеры, канавы, разрывы и заслоны;
- устанавливают противопожарные водоемы;
- расчищают проезды к водяным источникам;
- ремонтируют и строят дороги пожарного назначения;
- обустраивают наблюдательные пункты, вышки с видеонаблюдением;
- устанавливают предупредительные знаки в местах для отдыха;
- проводят контролируемые выжигания растительности;
- создают резерв и патрулируют пожароопасные участки;
- проводят разъяснительные и воспитательные беседы с местным населением;
- проводят учения и тренировки по тушению лесных пожаров.

К сожалению, как показывается статистика принимаемых мероприятий не достаточно для ликвидации пожаров и защиты лесов, но тенденция увлечения мер по охране лесов дает понять, что данный вопрос не остается без внимания [16].

## **1.2 Математическое моделирование процессов в ЧС**

Для любой чрезвычайной ситуации характерны такие свойства как быстрота и характер развития, внезапность возникновения, неточные и неполные исходные данные. Поэтому для изучения и предсказания развития чрезвычайных ситуаций используют понятие математическая модель, с помощью которой можно описать особо важные физико-химические процессы.

Математическая модель процессов в ЧС – это представление реальности, вариант модели как системы, исследование которой позволяет приобретать информацию о другой системе. А процесс построения и изучения моделей – это математическое моделирование. Математическая модель содержит комплекс взаимосвязанных уравнений и соотношений, которые имитируют особо важные свойства опасных явлений. Вид и количество уравнений зависит от моделируемой чрезвычайной ситуации. Существует несколько методов представления моделей:

- математический;
- аналитический;
- численный;
- графический или схематичный;
- физический;
- аналоговый.

Из всех выше представленных математических методов решения задач является наиболее удобным и совершенным.

Для изучения свойств и развития природных пожаров также используют математические модели. Расчеты различных параметров заменяют моделью, выражающей важные свойства объекта.

Математические модели имеют свою классификацию, в зависимости от разных видов ЧС. В первую очередь модели можно разделить на два вида: вещественные и идеальные. По принципу построения делятся на аналитические, которые записываются в виде функциональных зависимостей и имитационные. Так же бывают линейные и нелинейные, дискретные и непрерывные, динамические и статические модели. Зная основные параметры, такие как скорость, температура, плотность и другие можно смоделировать любой природный пожар.

Математическая модель исследуется с помощью электровычислительных машин или компьютеров. Верховые и низовые природные пожары как раз исследуют экспериментально, используя различные программные обеспечения, но для использования данных программных обеспечений желательно иметь компьютер с мощной оперативной системой, что позволит наиболее быстро производить расчеты. Исследования не являются дорогостоящими и не занимают большого количества времени. Для построения модели тщательно исследуют все данные объекта, выделяют более существенные свойства, определяют параметры, описывают зависимость построения с помощью уравнений, выделяют внутренние связи объекта. Для проверки и корректировки модели результаты сравнивают с

опытным натурным образцом. Поэтому существует определенный алгоритм численного решения задач с помощью математического моделирования. Данный алгоритм представлен на Рисунке 1.5.



**Рисунок 1.5** Алгоритм решения задачи методом математического моделирования

После проверки модели и сравнения данных, полученных с помощью модели и экспериментальных данных, можно использовать модель для анализа и прогнозирования развития природных пожаров или других чрезвычайных ситуаций [17].

Благодаря моделированию можно более точно спланировать стратегию борьбы с пожаром и сосредоточить все силы в зонах повышенного риска. Результаты расчетов также дают возможность оценивать критическое состояние распространения природного пожара.

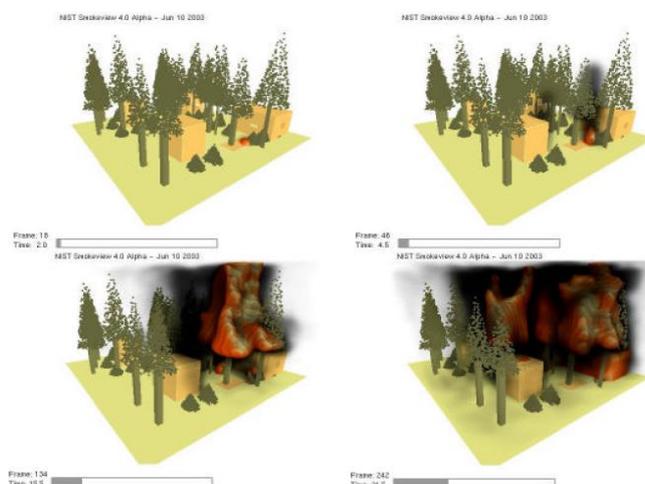
### **1.2.1 Обзор экспериментальных исследований возникновения и развития природных пожаров**

Математические модели появились недавно, но уже успели занять важное место при исследованиях. На сегодняшний день самым известным

ученым в области математического моделирования является А.М. Гришин. Согласно его моделям лес является пористо-дисперсной системой, неоднородной по составу и структуре [23].

Иностранные коллеги уже с XX века в своих работах применяют понятие математического моделирования. Метод математического моделирования природных пожаров удобен в использовании, с его помощью можно оперативно выявить закономерность развития пламени.

В работе [18] как раз используется такая краткая и грамотная физическая модель распространения пожара в городском районе. При разработке данной модели авторы учли наиболее важные элементы, такие как свойства растительности, конструкцию сооружений, это позволило более наглядно увидеть весь процесс распространения огня, и оценить его негативный риск. В модели представлена шкала, которая показывает, за какой промежуток времени развивается скорость распространения пламени. Более удобно брать для моделирования участки, содержащие растительность, такая задача является более реалистичной, что позволяет сразу же подобрать соответствующие профилактические мероприятия для предотвращения чрезвычайной ситуации. Прототип данной модели был продемонстрирован в Тахо, штат Калифорния, он имеет удобный интерфейс. Область моделирования природного пожара в городском районе представлена ниже на Рисунке 1.6.



**Рисунок 1.6 – Имитация пожара в лесном массиве с населенной окрестностью [18]**

Из рисунка видно, что имеется определенный участок воспламенения, и за значительно короткое время как развивается пламя, в течение 300 секунд (5 минут), скорость пламени достигает около 10-12 м/с, а высота горения почти 150-200 метров. Полученные данные были подтверждены реальным случаем, что доказало удобство использования данной модели.

Так как чаще всего горению подвергаются здания и участки жилых секторов, важным фактором в моделировании является их конструкция. Материал, из которого состоит постройка, влияет на интенсивность возникновения пламени. Древесный материал является отличным источником горения, но не менее важно, чем обшито здание, например фанерой, которая легко воспламеняема и хорошо горит. В таблице 1.4 представлены основные характеристики различных стеновых материалов.

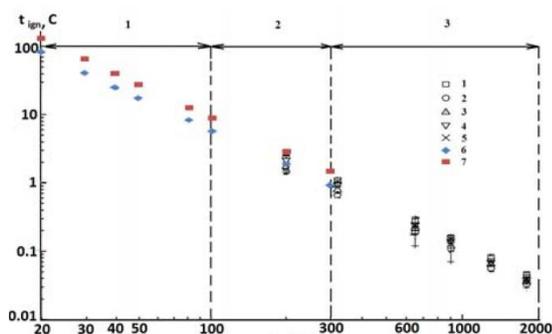
*Таблица 1.4 – Строительные характеристики различных стеновых материалов здания [19]*

	<b>Кирпич</b>	<b>Дерево</b>	<b>Керамзитобетон</b>	<b>Газобетон</b>	<b>Пенобетон</b>
<b>Плотность кг/м<sup>3</sup></b>	1400-1600	500	860-1800	400-700	700-1000
<b>Теплопроводность Вт/м<sup>°C</sup></b>	0,5	0,15	0,5-0,8	0,10-0,15	0,15-0,22
<b>Прочность кгс/см<sup>2</sup></b>	100-200	385-440	35-75	7-45	15-25
<b>Водопоглощение %</b>	12-20	23-35	8-16	25	10-17

Данные приведенные в таблице, представлены на основании исследований, проводимых в работе [19]. В данной работе были протестированы строительные материалы для постройки крупных сооружений. Исходя из полученных результатов, сделаны выводы, какой материал является пожароустойчивым и более практично использовать при строительстве, авторы выделяют 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.

Лес является составной частью природы, в сообществах которой преобладают деревья нескольких видов растущие вблизи друг от друга, в следующей работе [20], рассмотрен процесс зажигание дерева, и все влияющие на него условия. Эксперимент проводился на панельном изделии, которое имеет свойства воспламенения, очень похожие на твердую древесину. Полученные результаты показали, что при косвенном воздействии температура воспламенения составляет около  $250^{\circ}\text{C}$ , данная температура быстро растет по мере увеличения теплового потока. При прямом воспламенении температура воспламенения поверхности достигает около  $300\text{--}365^{\circ}\text{C}$ . Минимальный тепловой поток для зажигания древесины составляет  $4,3\text{кВт}\cdot\text{м}^2$ . Похожие исследования проведены в работе [21], где используется математическая постановка гетерогенного воспламенения различных образцов древесины, таких как береза (1), кедр (2), лиственница (3), осина (4), сосна (5). На Рисунке 1.7 представлена линейная зависимость процесса.

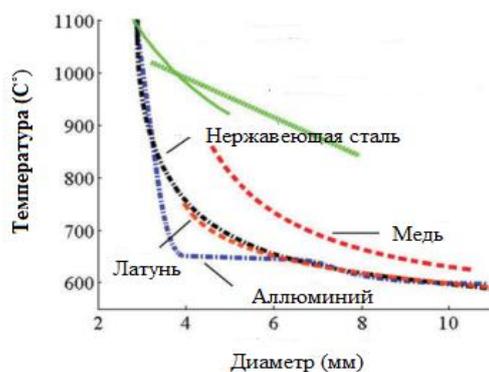


**Рисунок 1.7 – Влияние плотности потока энергии на время воспламенения для разных пород древесины**

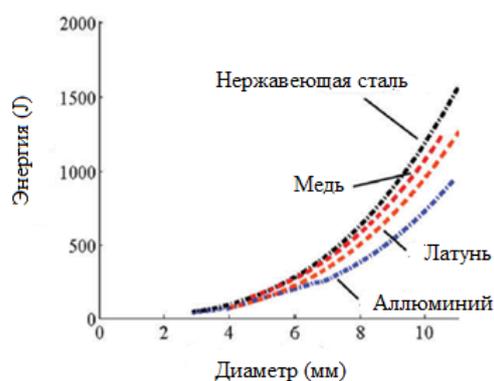
Исходя из полученных результатов, можно прогнозировать опасные зоны воздействия поражающих факторов пожаров вокруг опасного источника нагрева [21].

Природный пожар может возникнуть от тлеющей частицы (уголька, искры), которая может быть от столкновения линий электропередач или от искр, генерируемых машинами или двигателями. При сухой, жаркой и

ветреной погоде, искры вызывают самые разрушительные пожары. Экспериментальное и теоретическое моделирование горячих металлических частиц уже подробно изучается в течение нескольких лет [22]. Основная цель исследования, выявить, какая существует взаимосвязь между диаметром тлеющих частиц температурой и энергией. На рисунках 1.8 и 1.9 результаты представлены в виде гиперболической зависимости.



**Рисунок 1.8 – Зависимость диаметра частиц от температуры воспламенения**



**Рисунок 1.9 – Зависимость диаметра частиц от энергии**

Полученные результаты, показывают, гиперболическую связь, и можно сказать о том что, более крупные частицы, загораются при низкой температуре воспламенения, мелкие частицы при высокой температуре. Энергия пропорциональна объему частиц и играет важную роль в процессе воспламенения.

Таким образом, математическое моделирование позволяет решать широкий спектр задач в зависимости от поставленных целей, главное чтобы модель была проста и удобна для расчетов, позволяла использовать её в оперативных целях.

## 2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

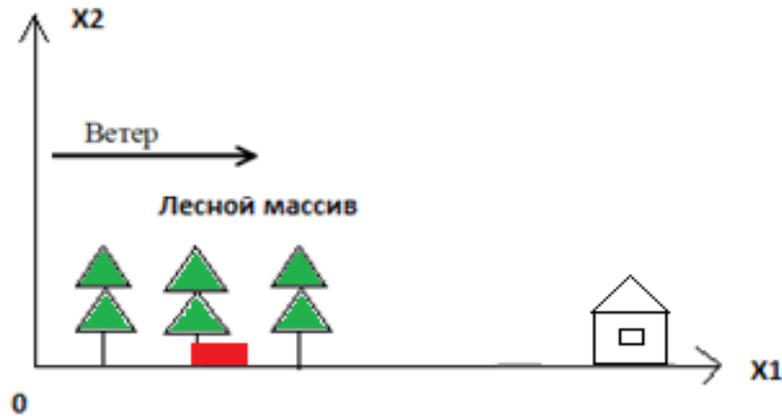
### 2.1 Постановка задачи и метод решения

#### 2.1.1 Физическая постановка задачи

Чаще всего угрожающим видом являются именно верховые природные пожары, при них выгорает большая часть площади. Такой пожар трудно потушить, для этого необходимо большое количество техники, в том числе вертолеты, это требует больших финансовых затрат, иногда тушение таких пожаров занимает продолжительное время или вообще невозможно. Поэтому эта тема является актуальной, не только в изучении свойств и характеристик пламени, но и разработке новых способов тушения верховых пожаров, которые непосредственно в дальнейшем можно смоделировать и предложить спасательным службам, для применения на практике.

В данной работе на основе экспериментальных данных описывается формирование очага горения, который развивается с увеличением скорости ветра и воздействует на стенку постройки. Далее более подробно опишем исследуемый процесс. Предположим, имеется очаг низового пожара с некими размерами, который зажигает ветви, подлесок, надпочечный покров и в дальнейшем перерастает в верховой природный пожар. Задается определенная скорость ветра, происходит развитие очага горения, под его воздействием прогреваются лесные горючие материалы, и испаряется влага, пламя перемещается по пологу леса, выделяются конденсированные и летучие продукты пиролиза. Неподалеку располагается здание, на которое в скором времени от очага горения будет оказано тепловое воздействие, происходящее за счет конвекции и переноса энергии излучением, тем самым происходит воспламенение постройки.

На Рисунке 2.1 рассмотрим схематично вышеописанный процесс, где ось  $Ox_2$  направлена вверх, а ось  $Ox_1$  – направлена параллельно направлению ветра, имеется лесной массив и отдаленная от него деревянная постройка.



**Рисунок 2.1** Процесс распространения природного пожара

Таким образом, считаем что:

1. процесс протекает с турбулентным течением;
2. плотность газовой фазы не зависит от давления, это значит, что скорость течения мала касательно скорости звука;
3. среда находится в локально-термодинамическом равновесии;
4. происходит при определенной скорости ветра, заданной над пологом леса;
5. многофазный, среда состоит из конденсированной фазы (лесные горючие материалы, вода, конденсированные продукты пиролиза и горения).

Далее представлено описание возникновения и развития верхового природного пожара, решение которого осуществляется при помощи уравнения Рейнольдса.

### **2.1.2. Математическая постановка задачи**

Математически данная задача сводится к решению системы уравнений:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho v_i) = m, j = 1, 2, i = 1, 2, k = 1 - 5; \quad (2.1)$$

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

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

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

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

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

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

$$\sum_{\alpha=1}^3 c_\alpha = 1, p_e = \rho RT \sum_{\alpha=1}^3 \frac{c_\alpha}{M_\alpha}, v = (v_1, v_2), g = (0, g) \quad (2.8)$$

$$\dot{m} = (1 - \alpha_c) R_1 + R_2 + \frac{M_c}{M_1} R_3 + R_{53} + R_{54}, \quad (2.9)$$

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

Ниже для решения системы уравнений следует учесть начальные и граничные условия:

$$t = 0: v_i = 0, T = T_e, c_\alpha = c_{\alpha e}, T_s = T_e, \varphi_k = \varphi_{ke}, i = \overline{1,2}; k = \overline{1,2}; \alpha = \overline{1,3}. \quad (2.10)$$

$$x_1 = -x_{1e}: v_1 = V_e(x_2), v_2 = 0, T = T_e, c_\alpha = c_{\alpha e}, -\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_1} + cU_R/2 = 0. \quad (2.11)$$

$$x_1 = x_{1e}: \frac{\partial v_1}{\partial x_1} = 0, \frac{\partial v_2}{\partial x_1} = 0, \frac{\partial T}{\partial x_1} = 0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_1} = 0, -\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_1} + \frac{cU_R}{2} = 0. \quad (2.12)$$

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

С течением времени меняется величина температуры в очаге зажигания:

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

$$-\rho D_t \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_2} + \rho v_2 c_\alpha = h_0 R_{5\alpha}, -\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_3} = \frac{\varepsilon}{2(2-\varepsilon)} (4\sigma T_s^4 - cU_R), \quad (2.13)$$

$$x_2 = x_{2e}: \frac{\partial v_1}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial v_2}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial T}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial U_R}{\partial x_2} + \frac{c}{2} U_R = 0. \quad (2.14)$$

В выше представленных уравнениях приведены следующие обозначения:

$x_1, x_2$  – координаты;  $v_1, v_2$  – проекции вектора скорости на оси  $x_1, x_2$ ;  $R_1 - R_3, R_{5\alpha}$  – массовые скорости реакций горения газообразных продуктов пиролиза (ЛГМ), где  $\alpha$  – компонентов газодисперсной фазы;  $\rho$  – плотность газовой фазы,  $c_p$  – удельная теплоемкость;  $T$  – температура газовой фазы;  $U_R$  – плотность энергии излучения;  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана;  $c_\alpha$  – массовые концентрации, где  $\alpha$  1-концентрация  $O_2$ , 2 –  $CO_2$ , 3 – инертные компоненты воздуха;  $k_g$  – коэффициент поглощения для газодисперсной фазы;  $P$  – давление;  $q_i$  – тепловой эффект,  $E_i$  – энергия активации,  $k_i$  – экспонента реакции горения продуктов пиролиза;  $c$  – скорость света;  $M_\alpha$  – молекулярный вес компонентов фазы,  $M$  – молекулярный вес воздушной смеси;  $\alpha_c$  – коксовое число лесных горючих материалов;  $g$  – гравитационная постоянная. Приведенные индексы «o» и «e» относятся к функциям в области горения и на значительном некотором расстоянии от очага горения. Используемые в задаче термодинамические, теплофизические и структурные величины относятся к лесным горючим материалам соответствующим хвойному лесному массиву:

$$\frac{E_5}{R} = 11500 \text{ K}, k_5 = 3 \cdot 10^{13}, q_5 = 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}, c_p = 1000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}, \alpha_c = 0.06, \nu = 0.7, \rho_e = 1.2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, c_{2e} = 0, p_e = 10 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}, T_e = 300 \text{ K}, c_{1e} = 0.23 [23].$$

Далее вычисляет градиенты среднего течения для компонентов турбулентных напряжения  $\overline{\rho v_i' v_j'}$  и потоков тепла и массы  $\overline{\rho v_j' c_p T'}$ ,  $\overline{\rho v_j' c_\alpha'}$ :

$$-\overline{\rho v_i v_j} = \mu_t \left( \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} K \delta_{ij},$$

$$-\overline{\rho v_j c_p T'} = \lambda_t \frac{\partial T}{\partial x_j}, \quad -\overline{\rho v_j c_\alpha'} = \rho D_t \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_j}, \quad (2.15)$$

$$\lambda_t = \mu_t c_p / \text{Pr}_t, \quad \rho D_t = \mu_t / \text{Sc}_t; \quad \mu_t = c_\mu \rho K^2 / \varepsilon, \quad (2.16)$$

где:  $K$  – это кинетическая энергия турбулентности;  $\chi_i$  – коэффициент турбулентной вязкости;  $\mu_t$  – коэффициент динамической вязкости;  $\lambda_t$  –

турбулентная теплопроводность;  $D_t$  -диффузия;  $Pr_t$ - турбулентное число Прандтля;  $Sc_t$  - число Шмидта;  $\delta_{ij}$  - символы Кронекера;  $\mu_t = c_\mu \rho K^2 / \varepsilon$ , где  $\varepsilon$  - скорость диссипации,  $c_\mu$ -константа.

При определении коэффициента турбулентной динамической вязкости могут возникнуть некие трудности, такие как при выборе начальных и граничных условий.

Турбулентную динамическую вязкость в плоском двумерном случае определяем по формулу:

$$\mu_t = \rho l^2 \left\{ 2 \left[ \left( \frac{\partial v_1}{\partial x_1} \right)^2 + \left( \frac{\partial v_2}{\partial x_2} \right)^2 \right] + \left( \frac{\partial v_1}{\partial x_2} + \frac{\partial v_2}{\partial x_1} \right)^2 - \frac{2}{3} \left[ \frac{\partial v_1}{\partial x_1} + \frac{\partial v_2}{\partial x_2} \right]^2 - \frac{g}{T Pr_t} \frac{\partial \theta}{\partial x_2} \right\}^{1/2}, \quad (2.17)$$

где  $\theta = T - T_e$ .

Для пути смешения используем формулу:

$$l = x_2 k_t / (1 + 2.5 x_2 \sqrt{c_d s / h}), \quad (2.18)$$

где обозначение  $k_t = 0.4$  является постоянной Кармана, а  $h$  -размером полога лесного массива [23].

### 2.1.3. Метод решения

Данная задача решается методом контрольного объема, смысл которого общедоступен и поддается физическому разъяснению. На первом этапе разбиваем расчетную область на некоторое число непересекающихся контрольных объемов так, чтобы каждому контрольному объему соответствовала узловая точка. На втором этапе исходную систему интегрируем с помощью дифференциальных уравнений по каждому контрольному объему, используя профили, описывающие изменение между узловыми точками функции  $\Phi$ . По результатам интегрирования получаем дискретный аналог, выражающий закон сохранения для параметра состояния функции  $\Phi$  [24]. В данном методе контрольного объема учтены точные интегральные величины, такие как масса, энергия, количество движения.

Дифференциальные уравнения, подчиняются обобщенному закону сохранения, описывают процессы гидродинамики и теплообмена, массообмена и принимают вид:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\Phi) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho v_i \Phi) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \Gamma_\Phi \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} \right) + S_\Phi \quad (2.19)$$

где  $\Phi$  – зависимая переменная;  $v_i$  – компонента скорости;  $\Gamma_\Phi$  – коэффициент переноса;  $S_\Phi$  – источниковый член; зависящие от смысловой нагрузки переменной  $\Phi$ ;  $t$  – время;  $\rho$  – плотность.

Далее получаем дискретный аналог, который можно будет использовать в любом подобном случае.

$$a_P \Phi_P = a_E \Phi_E + a_W \Phi_W + a_N \Phi_N + a_S \Phi_S + b \quad (2.20)$$

$$a_E = D_e A(|P_e|) + [|F_e, 0|]; \quad (2.21)$$

$$a_W = D_w A(|P_w|) + [|F_w, 0|]; \quad (2.22)$$

$$a_N = D_n A(|P_n|) + [|F_n, 0|]; \quad (2.23)$$

$$a_S = D_s A(|P_s|) + [|F_s, 0|]; \quad (2.24)$$

$$b = S_C \Delta x \Delta y + a_P^0 \Phi_P^0; \quad (2.25)$$

$$a_P = a_E + a_W + a_N + a_S + a_P^0 - S_P \Delta x \Delta y; \quad (2.26)$$

$$a_P^0 = \frac{\rho_P^0 \Delta x \Delta y}{\Delta t}; \quad (2.27)$$

где  $\Phi_P^0$  и  $\rho_P^0$  – известные значения для времени  $t$ ;  $\Phi_P, \Phi_E, \Phi_W, \Phi_N, \Phi_S$  – неизвестные величины для времени  $t + \Delta t$ ;  $F_e, F_w, F_n$  и  $F_s$  – массовые расходы, для уравнений  $F_e = (\rho u)_e \Delta y$ ;  $F_w = (\rho u)_w \Delta y$ ;  $F_n = (\rho v)_n \Delta x$ ;  $F_s = (\rho v)_s \Delta x$ ; проводимости –  $D_e = \frac{\Gamma_e \Delta y}{(\delta x)_e}$ ;  $D_w = \frac{\Gamma_w \Delta y}{(\delta x)_w}$ ;  $D_n = \frac{\Gamma_e \Delta x}{(\delta y)_n}$ ;  $D_s = \frac{\Gamma_s \Delta x}{(\delta y)_s}$ ; числа Пекле-  $P_e = \frac{F_e}{D_e}$ ;  $P_w = \frac{F_w}{D_w}$ ;  $P_n = \frac{F_n}{D_n}$ ;  $P_s = \frac{F_s}{D_s}$ .

Для заданной схемы представлена функция  $A(|P|)$ , степенная схема которой:

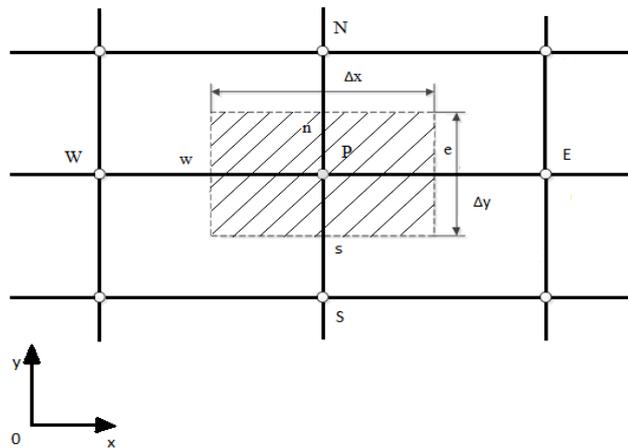
$$A(|P|) = [|0, (1 - 0,1 |P|)^5|]$$

Оставшиеся члены интерпретируются аналогичным образом.

Для расчета поля течения была использована процедура под названием SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations),

метод для связывающих давление уравнений. Данная процедура более подробно описана в литературном источнике Патанкар.

Часть двумерной сетки показана на Рисунке 2.2



**Рисунок 2.2** Контрольный объем (заштрихованная область) для двумерного случая

На Рисунке 2.2 пунктирная линия в точке P - контрольный объем,  $\Delta x$  и  $\Delta y$  – размеры контрольного объема; N, S, W, E – центры соседних контрольных объемов (узлов);  $\delta x_e$ ,  $\delta y_n$  - расстояния до центров соседних контрольных объемов; n, s, w, e - точки на границах контрольного объема (узла). При решении задачи теплопроводности в итоге получили дискретный аналог из общего дифференциального уравнения, который содержит нестационарный, диффузионный и источниковый члены.

Необходимо провести ряд основных операций:

1. В первую очередь нужно задать поле давления  $p^*$ .
2. Определить и решить уравнения движения

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

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

3. Определить уравнение для  $p'$ .
4. Произвести расчет уравнения  $p = p^* + p'$ , для  $p$ .
5. Рассчитать  $u, v$  исходя из формул

$$u_e = u_e^* + d_e (p'_P - p'_E);$$

$$v_n = v_n^* + d_n (p'_P - p'_N).$$

6. Решить дискретные аналоги для других зависимых переменных, которые влияют на поле течения, например для температуры, концентрации, и др.
7. Давление  $p$ , представляем как  $p^*$ , если итогу если решение не получено, проводим всю процедуру заново со второго пункта [24].

Проверка программы расчета сравнивается с аналитическим решением и решением задач численным методом. Достоверность полученных данных проверялась уменьшением шагов по времени и пространству. В серийных расчетах использовался алгоритм автоматического выбора шага по времени.

## 2.2 Результаты и анализ численных расчетов

На основании вышеизложенной модели проведены расчеты параметров в области высотой 50 метров и длиной 200 метров, где задается лесной массив высотой 5 метров и длиной 100 метров и отдаленная от него по правую сторону на разное расстояние деревянная постройка высотой 3 метра. В данной задаче значение температуры находится в диапазоне от начального значения  $T_e = 300$  К до температуры горения  $T_g = 1500$  К.

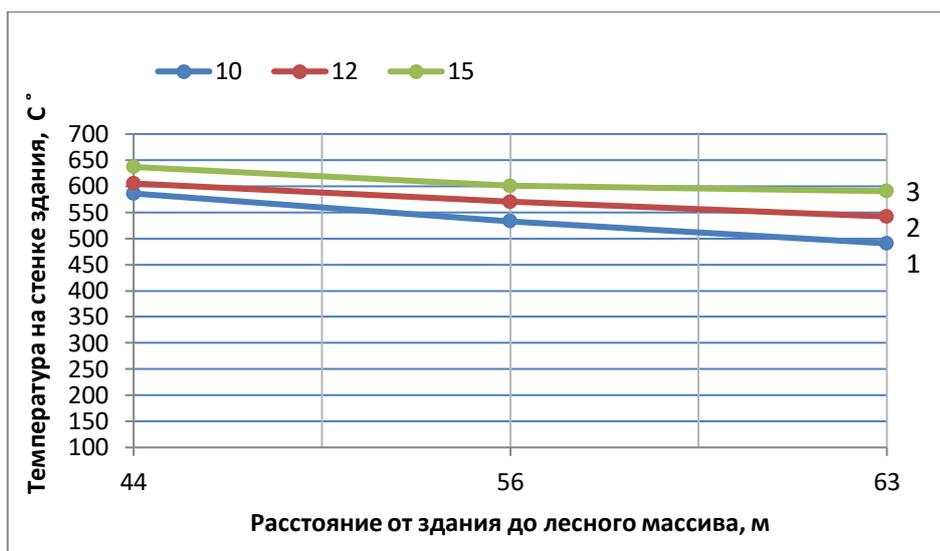
Изменяемыми параметрами являются:

- Запас ЛГМ в лесном массиве;
- Влагосодержание ЛГМ в лесном массиве;
- Скорость ветра;
- Время распространения очага горения по лесному массиву;
- Параметры лесного массива и деревянной постройки.

В результате расчетов были получены распределения полей температуры, скорости, концентрации, времени. Данные были визуализированы с помощью программы Matlab. Исходя из литературных источников, максимальная температура зажигания древесного материала составляет  $300$  °С, зажигание возможно на расстоянии 15 метров [25].

Расчеты проводились со следующими параметрами: запас ЛГМ в лесном массиве  $0,2$  кг/м<sup>3</sup>, влагосодержание ЛГМ в лесном массиве  $0,6$ , скорость ветра  $10$  м/с,  $12$  м/с,  $15$  м/с, в разный момент времени и при разной

высоте лесного массива. Тем самым, исходя из многочисленных расчетов, определены безопасные расстояния, приведенные ниже на Рисунке 2.3.



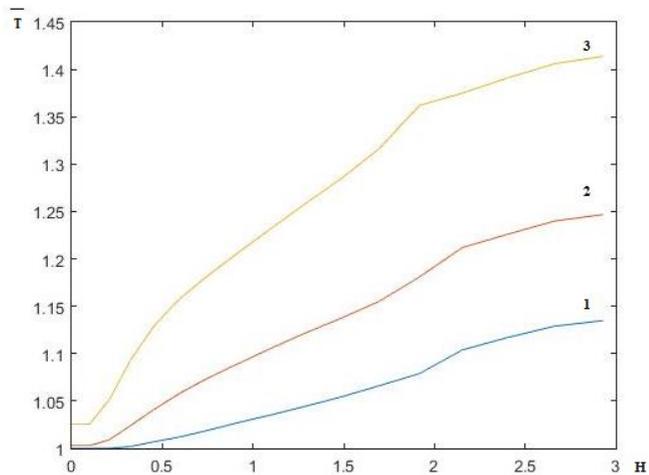
**Рисунок 2.3 Зависимость температуры на стенке здания от расстояния при разной скорости ветра (1-10,2-12 и 3-15 м/с)**

Из Рисунка 2.3 можно сделать вывод, что:

- при скорости ветра 10 м/с зажигание постройки происходит при 44 метрах;
- при скорости ветра в 12 м/с возможно зажигание постройки на расстоянии 44-56 метра;
- при скорости ветра в 15 м/с расстояние, на котором возможно зажигание постройки, достигает 56-63 метра.

Далее рассмотрим распределение температуры на стенке здания в разный момент времени на расстоянии 44 метра от лесного массива.

В первом случае распространение очага горения по лесному массиву, воздействующее на деревянную постройку высотой 3 метра и длиной 4 метра составляет 23 секунды. Результаты распределения приведены ниже на Рисунке 2.4.

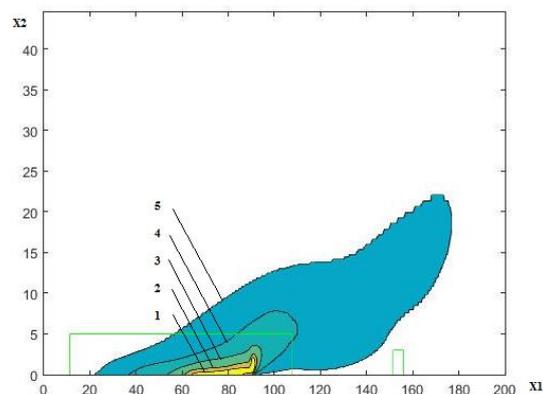


**Рисунок 2.4** Распределение температуры на стенке постройки в момент времени 23 секунды при разных скоростях ветра (1-10, 2-12 и 3-15 м/с)

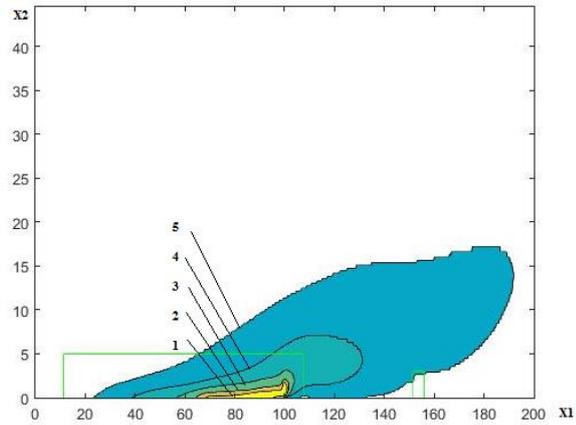
Из Рисунка 2.4 можно сделать следующий анализ:

- при скорости ветра 10 м/с начинается воздействие теплового потока, и начальная температура на стенке достигает 573 °С;
- при увеличении скорости ветра, равной 12 м/с возгорание начинается на крыше деревянной постройки, температура на крыше равна 573,9 °С;
- при скорости ветра 15 м/с тепловой поток охватывает стенку здания. Температура на стенке равна 580,8 °С.

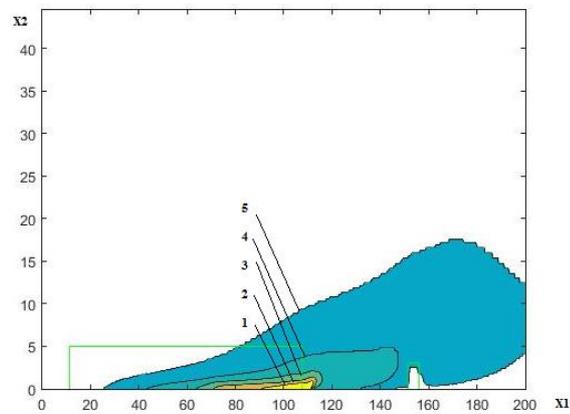
По результатам численного интегрирования на Рисунках 2.5, 2.6, 2.7 представлены распределения данных функций, где числа 1 – 4; 2 – 3; 3 – 2; 4 – 1,5; 5 – 1,2 являются значениями изотерм безразмерной температуры и определяются как:  $\bar{T} = \frac{T}{T_e}$ , где  $T_e = 300K$ .



**Рисунок 2.5** Распределения изотерм воздействия очага пожара на деревянную постройку в момент времени 23 секунды при скорости ветра 10 м/с

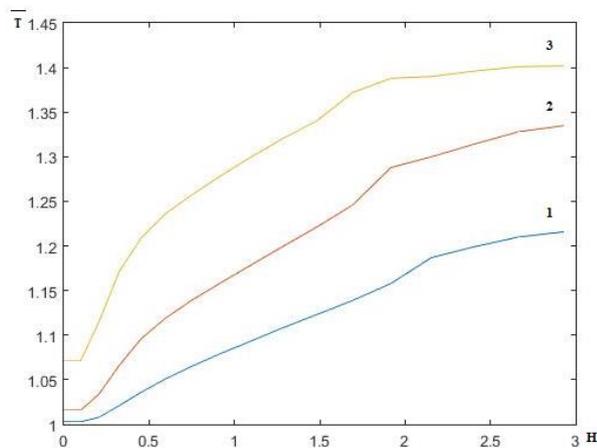


**Рисунок 2.6** Распределения изотерм воздействия очага пожара на деревянную постройку в момент времени 23 секунды при скорости ветра 12 м/с



**Рисунок 2.7** Распределения изотерм воздействия очага пожара на деревянную постройку в момент времени 23 секунды при скорости ветра 15 м/с

Во втором случае распространение очага горения по лесному массиву, воздействующее на деревянную постройку высотой 3 метра и длиной 4 метра составляет 25 секунд. Данные приведены ниже на Рисунке 2.8.

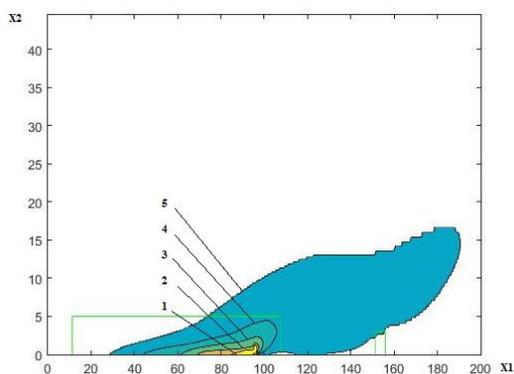


**Рисунок 2.8** Распределение температуры на стенке постройки в момент времени 25 секунд при разных скоростях ветра (1-10, 2-12 и 3-15 м/с)

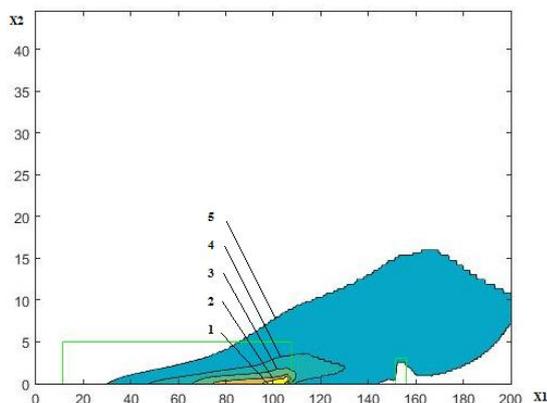
Из Рисунка 2.8 можно сделать следующий анализ:

- при скорости ветра 10 м/с происходит возгорание стенки здания, температура на стенке составляет 573,9 °С;
- при скорости ветра 12 м/с температура возрастает и достигает 577,8 °С;
- при скорости ветра 15 м/с возгорание происходит на всей стенке здания, где температура в данный момент времени равна 594,6 °С.

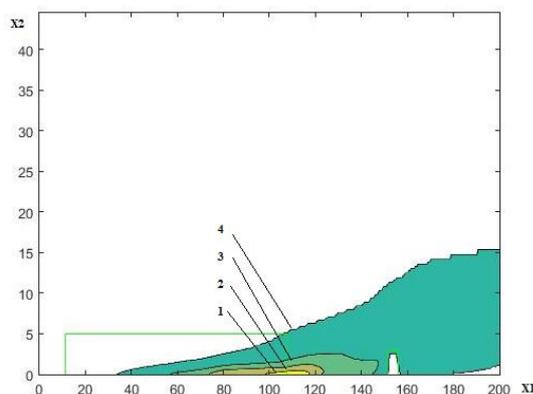
Далее для данного момента времени построим распределение функции на Рисунках 2.9, 2.10, 2.11.



**Рисунок 2.9** Распределения изотерм воздействия очага пожара на деревянную постройку в момент времени 25 секунд при скорости ветра 10 м/с

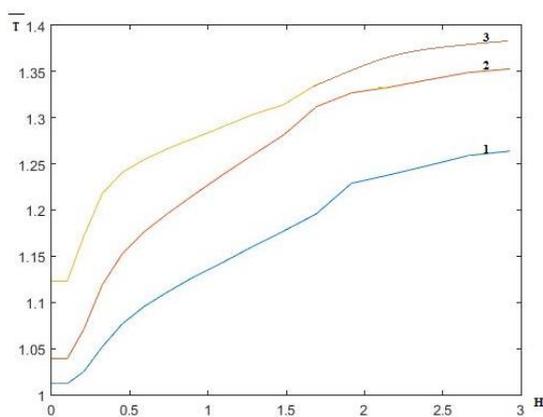


**Рисунок 2.10** Распределения изотерм воздействия очага пожара на деревянную постройку в момент времени 25 секунд при скорости ветра 12 м/с



**Рисунок 2.11** Распределения изотерм воздействия очага пожара на деревянную постройку в момент времени 25 секунд при скорости ветра 15 м/с

В последнем случае распространение очага горения по лесному массиву, воздействующее на деревянную постройку высотой 3 метра и длиной 4 метра составляет 27 секунд. Распределение представлено на Рисунке 2.12.

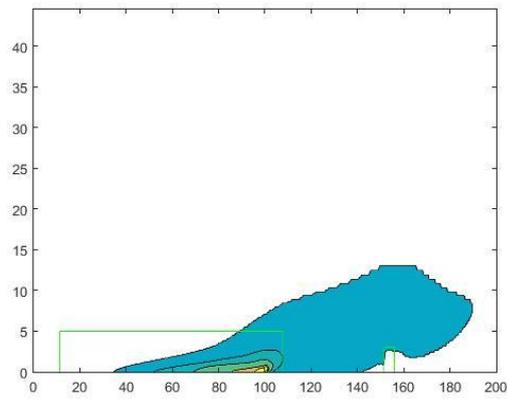


**Рисунок 2.12** Распределение температуры на стенке постройки в момент времени 27 секунд при разных скоростях ветра (10, 12 и 15 м/с)

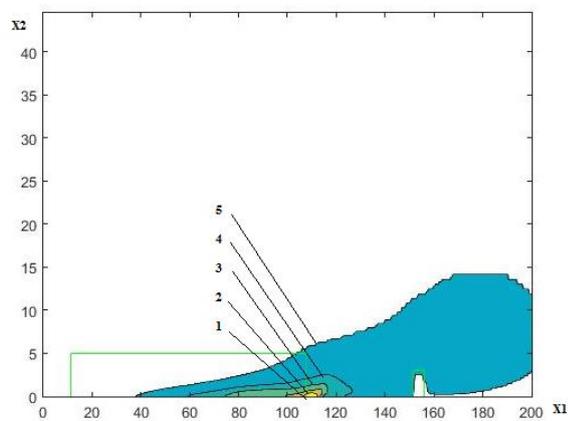
Из Рисунка 2.12 делаем вывод, что:

- при скорости ветра 10 м/с происходит возгорание стенки деревянной постройки, температура на стенке равна 576,6 °С;
- при скорости ветра, равной 12 м/с с возгорание происходит на всей стенке здания. Температура на стенке равна 584,7 °С;
- при скорости ветра 15 м/с происходит температура достигает 609,9 °С.

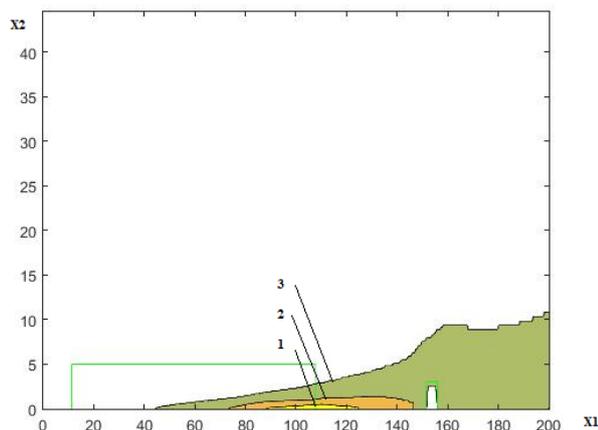
Также приведем ниже распределения функций на Рисунках 2.13, 2.14, 2.15.



**Рисунок 2.13** Распределения изотерм воздействия очага пожара на деревянную постройку в момент времени 27 секунд при скорости ветра 10 м/с



**Рисунок 2.14** Распределения изотерм воздействия очага пожара на деревянную постройку в момент времени 27 секунд при скорости ветра 12 м/с



**Рисунок 2.15** Распределения изотерм воздействия очага пожара на деревянную постройку в момент времени 27 секунд при скорости ветра 15 м/с

На основании изменений распределений изолиний сделаем вывод о перемещении фронта пожара по направлению ветра (ось  $x_1$ ) и его расширении в направлении ветру (ось  $x_2$ ), а также с увеличением времени

распространения очага горения, увеличивается температура на стенке постройки, при продолжительном воздействии теплового потока строение сгорает. Ниже в таблице 2.1 представлено распределение температуры от скорости ветра и времени воздействия.

Таблица 2.1 Начальное значение температуры на стенке здания в определенный момент времени при разной скорости ветра

		Скорость ветра, м/с		
		10	12	15
Время распространения очага горения по лесному массиву, сек	23	573 °С	573,9 °С	580,8 °С
	25	573,9 °С	577,8 °С	594,6 °С
	27	576,6 °С	584,7 °С	609,9 °С
	30	590,4 °С	600,2 °С	621,5 °С

Из таблицы 2.1 можно сделать вывод, что при увеличении времени теплового воздействия на стенку деревянной постройки, происходит увеличение температуры.

Далее при разных параметрах лесного массива рассмотрели зависимость размеров опасных зон от скорости ветра. Данные приведены на Рисунках 2.17 и 2.18, где в первом случае молодой лес высотой 3 метра, во втором средний лесной массив высотой 6 метров.

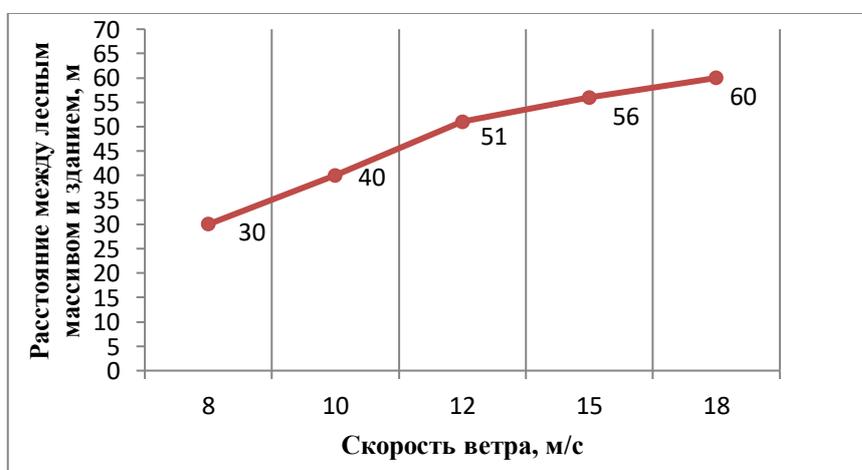
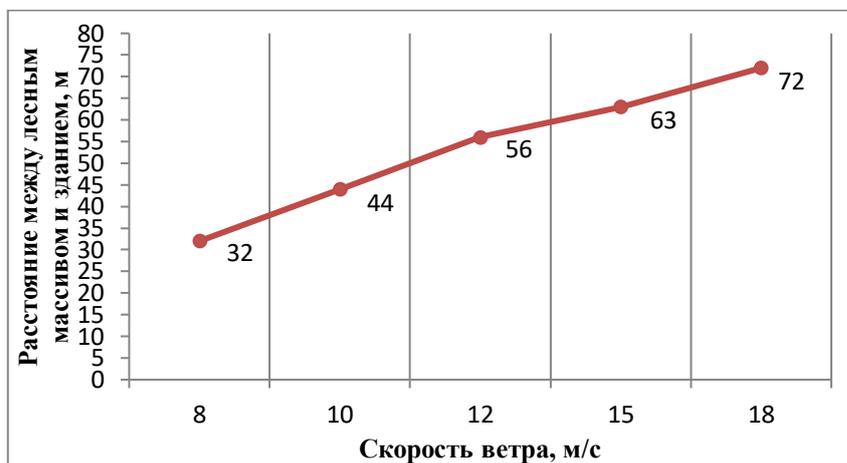


Рисунок 2.17 – Зависимость опасных зон зажигания, при различных скоростях ветра при высоте лесного массива 3 метра



**Рисунок 2.18 – Зависимость опасных зон зажигания, при различных скоростях ветра при высоте лесного массива 5 метров**

По результатам представленных графиков видно, как параметры высоты лесного массива влияют на безопасные расстояния, и при увеличении скорости ветра увеличиваются и безопасные расстояния от лесного массива до деревянной постройки, в первом случае рекомендуемое безопасное расстояние достигает не менее 60 метров, во втором 72 метра. Эти значения справедливы для тех параметров, которые были использованы в модели.

### **3. РАЗДЕЛ «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ»**

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

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

Магистерская диссертация направлена на изучение негативных воздействий от лесных пожаров и создание безопасных условий для жизни людей и окружающей среды. Суть работы заключается в создании математической модели воздействия верховых лесных пожаров на населенные пункты, 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-интерпретируемый язык программирования, предназначенный для решения вычислительных задач. Особенности языка являются ориентация на работу, готовые реализации ряда полезных алгоритмов, богатые возможности визуализации данных и взаимодействия с другими языками. Данная программа использовалась для построения графиков, а Wildinte недавно разработанное программное обеспечение, для расчета математических моделей. В расчетной области задается лесной массив и 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 в MATLAB визуализированы графические изображения возможного зажигания строения 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.

Результаты полученных расчётов являются более точными, так как в ходе моделирования учтены все параметры здания и лесного массива, а также и метеорологические условия, в отличие от данных имеющихся в нормативной документации.

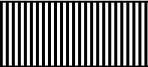
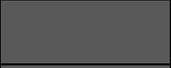
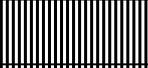
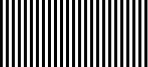
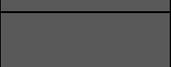
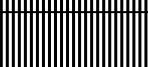
На рынке представлено большое количество программных обеспечений, позволяющих решить различные задачи в области моделирования, каждая из которых имеет свою стоимость, значимость, простоту пользования и т.д.

Для анализа потребителей результатов проведенного исследования был проанализирован целевой рынок и проведено его сегментирование.

Учитывая область наших исследований, можно выделить следующие сегменты рынка:

- высшие учебные заведения;
- научно-исследовательские институты;
- специалисты лесной охраны;
- управления МЧС России.

*Таблица 3.1 - Карта сегментирования рынка*

	Доступность	Оперативность	Расчет безопасных расстояний
ВУЗы			
НИИ			
Авиалесохрана			
ГУ МЧС России			



Matlab



Phoenics



Wind

Исходя из карты сегментирования рынка, можно сказать, что основными конкурентными преимуществами программы Matlab становится наличие доступности, оперативность и возможность расчета безопасных расстояний.

### 3.1.2 Анализ конкурентных технических решений

С помощью анализа конкурентных технических решений можно выявить сильные и слабые стороны разработок конкурентов. Проведем данный анализ с помощью оценочной карты, которая представлена в таблице 3.2. Для анализа альтернативных методов оценки рисков была выбрана оценочная карта. Для оценки конкурентных методов была выбрана шкала от 1 до 5, где: 1 – наиболее слабая позиция; 2 – ниже среднего, слабая позиция; 3 – средняя позиция; 4 – выше среднего, сильная позиция; 5 – наиболее сильная позиция.

Таблица 3.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$B_{\phi}$	$B_{\kappa 1}$	$B_{\kappa 2}$	$K_{\phi}$	$K_{\kappa 1}$	$K_{\kappa 2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
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
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							

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
<b>Итого</b>	<b>1</b>	35	27	23	4.35	3.45	2.95

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i B_i \quad (3.1)$$

где К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

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

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

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

1. наглядное представление результата;
2. автоматический расчет уравнений;
3. простота в использовании;
4. доступная цена.

### 3.2. 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 представлен в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Матрица SWOT

Матрица SWOT		
	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</b>	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</b>
	С1. Более низкая стоимость,	Сл1. Отсутствие у

<b>Матрица SWOT</b>		
	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</b>	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</b>
	<p>по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С2. Использование современного оборудования и ИТ-технологий.</p> <p>С3. Наличие опытного руководителя.</p> <p>С4. Представление полученной информации наглядно (графики, формулы, таблицы).</p> <p>С5. Актуальность программы</p>	<p>потенциальных потребителей</p> <p>квалифицированных кадров для работы с программой.</p> <p>Сл2. Время, затрачиваемое на расчет в программе и построение графиков (30-40 минут).</p> <p>Сл3. Отсутствие необходимого оборудования и программного обеспечения для работы с программой.</p> <p>Сл4. Ограниченная область применения.</p> <p>Сл5. Медленный процесс вывода на рынок новой технологии.</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Повышение уровня локализации пожаров</p> <p>В2. Возможность создания партнерских отношений с рядом ведущих вузов.</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок</p> <p>В4. Возможность создания эффективного метода ликвидации пожара.</p>	<p>- В результате низкой стоимости продукт могут позволить себе многие организации</p> <p>- В результате использования современных технологий повысится скорость локализации экологической очистки</p> <p>- При грамотном подходе руководителей улучшится</p>	<p>-В дальнейшем снижение цены на математическую программу,</p> <p>рассчитывающую безопасные расстояния;</p>

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

Описание сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта, его возможностей и угроз происходит на основе результатов анализа, проведенного в предыдущих и последующих разделах.

Вторым этапом проводится выявление соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта. Интерактивные матрицы проекта представлены в таблицах 3.4, 3.5, 3.6, 3.7.

*Таблица 3.4 – Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта*

<b>Сильные стороны проекта</b>						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	-	0	-	+
	B2	+	-	-	+	0
	B3	-	+	+	+	+
	B4	-	+	+	+	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные сторон и возможности: B1C1C5, B2C1C4, B3C3C4C5, B4C2C3C4C5.

*Таблица 3.5 – Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта*

<b>Слабые стороны проекта</b>						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	+	+	0
	B2	-	-	-	-	0
	B3	0	-	-	0	-
	B4	0	-	-	0	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможности: B1C1C2C4.

Таблица 3.6 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	+	+	0	-
	У2	-	+	+	-	0
	У3	0	+	+	0	-
	У4	-	+	+	-	0

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

Таблица 3.7 – Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	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.

### 3.3 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

В рамках данного раздела проведены альтернативные научные исследования в разделе 2.

Таблица 3.8 - Морфологическая матрица

	1	2	3
А. Визуализация объектов	График	Формулы	Таблица
Б. Описание процесса	Формулы	Таблицы	Графики
В. Описание поражающих	2	3	>3

	1	2	3
факторов, количество			
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.

### 3.4. Инициация проекта

#### 3.4.1 Цели и результат проекта

Таблица 3.9 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
ВУЗЫ, НИИ	Проведение исследований в области пожарной безопасности в лесных массивах.
Организации, осуществляющие контроль за моделированием чрезвычайных ситуаций	Моделирования лесных пожаров.
Авиалесоохрана, Главное управление МЧС России, Департамент лесного хозяйства	Использование результатов исследований с целью проведения профилактических мероприятий при лесопожарной обстановке. Возможность проведения оценки, анализа и прогноза лесных пожаров.

Таблица 3.10. Цели проекта и критерии их достижения

<b>Цели проекта:</b>	Создание модели верхового лесного пожара, и определение безопасного расстояния от зданий и сооружений в населенных пунктах находящихся в лесном массиве.
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	Получение модели распространения верхового лесного пожара, негативно воздействующего на населенные пункты.
<b>Критерии приемки результата проекта:</b>	Практическая значимость результата проекта реализуется в области пожарной безопасности, а именно: моделирование оценки воздействия верхового лесного пожара на лесной массив в присутствии разрывов и заслонов.
<b>Требования к результату проекта:</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Использование программных обеспечений для моделирования очага горения в лесном массиве;</li> <li>2. Численное решение задачи с помощью дифференциальных уравнений;</li> <li>3. Применение полученных данных при мониторинге и прогнозировании лесопожарной обстановки.</li> </ol>

### 3.5 Планирование проекта

#### 3.5.1 Структура работы в рамках научного исследования

Таблица 3.11 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

<b>Перечень этапов, работ и распределение исполнителей</b>				
Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Трудозатраты, час	Должность исполнителя

Перечень этапов, работ и распределение исполнителей				
Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Трудозатраты, час	Должность исполнителя
Создание темы проекта	1	Составление и утверждение темы проекта	2	Научный руководитель
	2	Выдача задания для проекта	1	
Выбор направления исследования	3	Поиск материалов по теме	10	Студент
	4	Выбор направления исследования	10	Научный руководитель, студент
Теоретические исследования	5	Изучение литературы по теме	30	Студент
	6	Подбор нормативных документов	5	
	7	Изучение программы «Wildinte» и «MatLab»	40	
Практическое исследование	8	Моделирование зон зажигания растительного покрова под действием теплового излучения огненного шара	30	Студент
	9	Изучение результатов	40	
	10	Проведение расчетов по теме	55	

Перечень этапов, работ и распределение исполнителей				
Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Трудозатраты, час	Должность исполнителя
Оценка полученных результатов	11	Анализ результатов	20	Студент
	12	Вывод исследования	5	Студент
Итого:			235+13=248 ч./ 70 дн.	

Далее построим диаграмму Ганта.

*Диаграмма Ганта* – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \times K_{kal} \quad (3.2)$$

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

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

$K_{kal}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$K_{kal} = \frac{T_{kal}}{T_{kal} - (T_{вых} + T_{пр})} \quad (3.3)$$

где:  $T_{kal}$  (366) – количество календарных дней в году;

$T_{вых}$  (104) – количество выходных дней в году;

$T_{пр}$  (14) – количество праздничных дней в году.

$$K_{kal} = \frac{366}{366 - 118} = 1,47 \quad (3.4)$$

Диаграмма представлена ниже в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Календарный план-график

Код работы	Вид работы	Исполнители	$T_{kal}$	Продолжительность выполненных работ													
				Февраль			Март			Апрель			Май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1.1	Выбор темы. Введение. Обзор литературы по изучению лесных пожаров.	Ст.-рук.	7														
1.2	Лесные пожары и их классификация	Ст.	10														
1.3	Мониторинг лесных пожаров	Ст.	15														
1.4	Лесопожарная обстановка. Противопожарная профилактика лесных объектов	Ст.	25														
2.1	Экспериментальные исследования возникновения и развития лесных пожаров и их воздействие	Ст.	40														
2.2	Физическая постановка задачи	Ст.-рук.	30														
2.3	Математическая постановка задачи	Ст.-рук.	30														
3.1	Построение математической модели	Ст.-рук.	40														
3.2	Оценка и анализ полученных результатов	Ст.	10														
3.3	Оформление проекта	Ст.-рук.	21														



Студент



Руководитель + студент

### 3.6 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

#### 3.6.1 Расчет материальных затрат

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \times \sum_{i=1}^m C_i \times N_{расх} \quad (3.5)$$

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

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

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

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов).

Таблица 3.13 – Затраты на материалы

№ п/п	Наименование	Ед. измерения	Кол-во	Цена за единицу, руб	Сумма, руб.
1.	Бумага	лист	120	0,5	60
2.	Распечатка материалов	лист	200	2	400
3.	Канцелярские принадлежности	набор	1	400	400
Всего за материалы, руб					860
Транспортно-заготовительные расходы (5%), руб					44
Итого, руб					904

### 3.6.1.1 Затраты на оборудование и электроэнергию

Определение стоимости оборудования происходит по ценам из открытых источников. Стоимость электроэнергии рассчитывается по формуле 4.6

$$C_{\text{эл}} = W_y \cdot T_g \cdot S_{\text{эл}}, \quad (3.6)$$

где  $W_y$  – установленная мощность, кВт (0,5 кВт);

$T_g$  – время работы оборудования, час;

$S_{\text{эл}}$  – тариф на электроэнергию (3,17 руб/кВт · ч).

Затраты на потребляемую электроэнергию составляют:

$$C_{\text{эл}} = 0,5 \cdot 438 \cdot 3,17 = 694,23 \text{ руб}, \quad (3.7)$$

Таким образом, статьи по расходам на оборудование и электроэнергию сведены в таблицу 4.14

Таблица 3.14 – Затраты на оборудование и электроэнергию

№ п/п	Наименование	Ед. измерения	Кол-во	Цена за единицу, руб	Сумма, руб.
1	Компьютер	шт	1	30 000	30 000
2	Интернет, 5 мб/с	пакет	5	500	2500
3	Flash-накопитель	шт	1	400	400
Всего за материалы, руб			32900		
$Z_m, \text{руб.}$			34498		

### 3.6.2 Основная заработная плата

В данном разделе рассчитывается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работы по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя

из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (3.8)$$

где:

$Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (специалиста, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} + T_{раб}, \quad (3.9)$$

где:

$T_{раб}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{м} \times M}{F_{д}} \quad (3.10)$$

где:

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

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

при отпуске в 24 раб. дн.  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дн.  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_{д}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 3.15 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистрант
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	104	104
- праздничные дни	14	14

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистрант
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48 –	24 –
Действительный годовой фонд рабочего времени	200	224

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_b + k_p, \quad (3.11)$$

где:

$Z_b$  – базовый оклад, руб.;

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Гомска).

Учитывая, что магистрант получает 100 руб/час, исходя из оплачиваемой преддипломной практики, расчет заработной платы проводится для срока, в течение которого работали магистрант и руководитель соответственно. Расчет основной заработной платы приведён в таблице 3.16.

Таблица 3.16 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_b$ , руб.	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	36800	1,3	47840	2392	29	69368
Магистрант	12900	1,3	16770	810	84	68040

### 3.6.3 Дополнительная заработная плата

Размер дополнительной заработной платы рассчитывается:

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

тогда, суммарные выплаты руководителю и магистранту представлены в таблице 3.17.

Таблица 3.17 – Зарплата исполнителей проекта

Зарплата	Руководитель	Магистрант
Основная зарплата, руб.	69368	68040
Дополнительная зарплата, руб.	8324	8165

Заработная плата	Руководитель	Магистрант
Зарплата исполнителя, руб.	77692	76205
Итого по статье, руб.	153897	

### 3.6.4 Отчисления на социальные нужды

Отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \times (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (3.13)$$

В 2020 году размер тарифов страховых взносов равен:

В ПФР = 22%;

В ФСС = 2,9%;

В ФФОМС = 5,1%.

Подобные процентные ставки используются потому, что исполнение проекта осуществляется без заключения договора подряда, таким образом, сниженная ставка для ТПУ не может использоваться.

Дополнительно следует учесть взносы на страхование от несчастных случаев, которое для учреждений высшего образования составляет 0,2%

Тогда, общая сумма отчислений во внебюджетные фонды равна:

$$C_{\text{внеб}} = 0,302 \times 153897 = 46477 \text{ рублей}$$

### 3.6.5 Накладные расходы

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \times (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (3.14)$$

В связи со спецификой разрабатываемой тематики, коэффициент накладных расходов можно принять равным 0,2.

Тогда  $C_{\text{накл}} = 0,2 \times 153897 = 30779,4$  руб.

### 3.6.6 Расчет амортизации

Амортизация – процесс постепенного переноса стоимости основных фондов на себестоимость готовой продукции в течение срока полезного использования объекта по мере его износа.

В настоящее время амортизация объектов основных средств в России производится одним из следующих способов:

- линейным способом;
- способом уменьшаемого остатка;
- способом списания стоимости по сумме чисел лет срока полезного использования;
- способом списания стоимости пропорционально объему продукции (работ);
- ускоренным методом амортизации (увеличение размера отчислений по линейному способу).

*Линейный способ* относится к самым распространенным. Его используют примерно 70 % всех предприятий. Популярность линейного способа обусловлена простотой применения. Суть его в том, что каждый год амортизируется равная часть стоимости данного вида основных средств.

Ежегодную сумму амортизации рассчитывают следующим образом:

$$A = \frac{C_{\text{перв}} \times H_a}{100},$$

где  $C_{\text{перв}}$  – первоначальная стоимость объекта;  $H_a$  – норма амортизации для данного объекта, %:

$$H_a = \frac{1}{T} \times 100,$$

где  $T$  – срок службы основных средств, год.

$$A = \frac{C_{\text{перв}} \times k \times H_a}{100},$$

где  $k$  – коэффициент ускорения.

$$H_a = \frac{1}{3} \times 100 \% = 33,33 \%$$

$$A = \frac{30000 \times 33,33}{100} = 9999 \text{ руб.}$$

Плановая себестоимость проекта представлена в таблице 3.18

Таблица 3.18 – Группировка затрат по статьям

Наименование статей затрат	Сумма, руб
Материалы	904
Оборудование и элетроэнергия	34498
Оплата труда работников, непосредственно занятых созданием НИР	153897
Страховые взносы	46477
Накладные расходы	46169
<b>Итого:</b>	<b>281945</b>

На основании вышеописанных расчетов по отдельным статьям, плановая себестоимость проекта составляет 281945 рублей.

### 3.7 Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта формируется матрица ответственности, которая представлена ниже, где степень участия в проекте характеризуется следующим образом:

Ответственный (О)– лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход.

Исполнитель (И) – лицо, выполняющее работы в рамках этапа проекта.

Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение).

Согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

Таблица 3.19 – Матрица ответственности

Этапы проекта	Руководитель	Магистрант
Подготовительный этап	О	И

Этапы проекта	Руководитель	Магистрант
Основной этап	О	И
Заключительный этап	С У О	И

### 3.8 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

#### 3.8.1 Оценка социальной эффективности исследования

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты. В таблице 3.20 приводится оценка социальной эффективности программы Matlab для построения модели тепломассопереноса верхового лесного пожара передвигающегося по направлению ветра над пологом леса.

Таблица 3.20 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Дорогостоящий эксперимент по моделированию лесных пожаров.	Низкая стоимость ПО Matlab по сравнению с затратами на эксперимент.
Невозможность проведения эксперимента в силу большого риска и невозможности получения модели на практике, особенно актуально для верховых лесных пожаров.	Получение модели без риска и опасности для здоровья людей и окружающей среды.
Большие затраты времени на постановку эксперимента.  Сложная, а порой и невозможная постановка эксперимента.	Существенная экономия времени, наглядность и визуализация результатов моделирования.

### **Выводы по разделу:**

1. Произведено сегментирование рынка. Основными потребителями продукта являются МЧС и организации лесной охраны. Анализ конкурентных технических решений показал, что программа конкурентоспособна, обладает рядом преимуществ.
2. Проведен SWOT-анализ. Выявлена и описана корреляция между сильными и слабыми сторонами, возможностями и угрозами. Определены направления дальнейшего развития.
3. Оценка готовности проекта к коммерциализации показала перспективность ниже среднего. Это связано с коротким сроком работы с программным обеспечением и начальной стадии завершения исследования.
4. Организационная структура проекта состоит из двух человек руководителя и студента - магистранта.
5. Построен линейный график проекта, с учетом длительности, начала и окончания, состава участников. На основании этих данных составлен календарный план-график.
6. Произведена оценка бюджета проекта. Основными статьями расходов являются затраты на материалы, оборудование и электроэнергию, заработная плата, отчисления во внебюджетные фонды и накладные расходы. Общая сумма затрат составляет 281945 рублей.

Таким образом, в рамках данного раздела были выполнены все поставленные задачи.

## **4. РАЗДЕЛ «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

### **Введение в раздел**

На сегодняшний день пожары в лесном массиве являются одной из актуальных и самых главных проблем для человечества и всего живого. Они несут огромный материальный и экологический вред для населения, проживающего в лесных массивах. Именно поэтому необходимо вести контроль и наблюдение за этим стихийным бедствием. Специалисты мониторинга и прогнозирования, осуществляют данный контроль с помощью специализированных программных обеспечений и продуктов. Любой пожар можно представить в качестве модели. Для математического моделирования лесных пожаров, на сегодняшний день достаточно оборудованного рабочего места современными технологиями, в том числе компьютерным устройством.

Данный раздел направлен на рассмотрение вопросов, связанных с вредными и опасными производственными факторами, а так же оценкой тяжести и напряженности трудового процесса специалиста, который моделирует или прогнозирует лесные пожары и ведет наблюдение за лесопожарной обстановкой, 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 специалиста, повышения его производительности, сохранения работоспособности в процессе деятельности, а также охраны окружающей среды. Производственная среда и организация рабочего места должны соответствовать общепринятым и специальным требованиям техники безопасности, нормам санитарии, экологической и пожарной безопасности.

## 4.1 Производственная безопасность

Математическое моделирование лесного пожара осуществляется с помощью персонального компьютера (ПК или ПЭВМ), при использовании различных программных обеспечений, например ПО MATLAB в аудитории № 509 18 корпуса ТПУ (ул. Савиных 7).



Рисунок – 4.1 Схема аудитории № 509 18 корпуса ТПУ

В аудитории 13 рабочих мест, оборудованных компьютерами (ПЭВМ или ПК), для них разработаны государственные Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.4-548-96 [26].

Таблица 4.1 – Опасные и вредные факторы, которые постоянно или периодически действуют на рабочее место специалиста – исследователя на персональном компьютере

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 должностных обязанностей.	1. отклонение показателей микроклимата; 2. повышенный уровень шума на рабочем месте; 3. недостаточная освещенность рабочей зоны; 4.	1. электрический ток; 2. механические опасности; 3. вероятность возникновения пожара	1. Параметры микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.4-548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [26]. 2. Параметры освещенности рабочей

<b>Опасные и вредные факторы</b>		
	<p>повышенная напряженность электрического поля;</p> <p>5. напряженность трудового процесса;</p> <p>6. рабочая поза сидя;</p> <p>7. пониженная цветовая и световая контрастность;</p> <p>8. отраженная блесккость.</p>	<p>зоны устанавливаются</p> <p>а. СанПин 2.2.1/2.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий» [27] ;</p> <p>б. СанПин 52.13330.2016 « Свод правил Естественное и искусственное освещение» [28].</p> <p>3. 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» [29].</p> <p>4. Параметры напряженности электромагнитных полей устанавливаются в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [30].</p> <p>5. «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» ГОСТ 12.2.033-78 [31]</p>

#### 4.1.1 Отклонение показателей микроклимата

Хорошее самочувствие и состояние здоровья человека, его работоспособность в значительной степени напрямую зависят от микроклимата на рабочем месте. Нахождение в неблагоприятных условиях приводит к таким заболеваниям, как различные формы простуды, радикулит, бронхит (в том числе, хронический) и иным, снижает работоспособность, ухудшает самочувствие.

Под микроклиматом производственных помещений понимаются метеорологические условия внутренней среды помещений, которые определяются действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового излучения.

Условия микроклимата в производственных помещениях зависят от ряда факторов:

1. климатического пояса и сезона года;
2. характера технологического процесса и вида используемого оборудования;
3. условий воздухообмена;
4. размеров помещения;
5. числа работающих людей и т.п.

Микроклимат в помещении может меняться на протяжении всего рабочего дня. Оптимальные и допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах должны соответствовать значениям, приведенным в таблицах 4.2 и 4.3 применительно к выполнению работ [27].

Таблица 4.2 – Оптимальные нормы микроклимата для категории работ Ia

Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Ia	19-22	60-40	0,2

Таблица 4.3 – Допустимые нормы микроклимата для категории работ Ia

Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Ia (до 139)	15-28	20-80	0,5

В целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата на организм человека в случаях возможного выхода фактических параметров за границы допустимых, необходимо применять меры защиты – системы местного кондиционирования воздуха, обогреватели, использование СИЗ - спецодежды, спецобуви, головных уборов, средств защиты рук, а также введение регламента работы. В производственных помещениях, где невозможно приведение фактических параметров к допустимым, рабочие места следует рассматривать как вредные. Для вентилирования помещений обычно используют приточно-вытяжные установки. В качестве нагревательных приборов применяют радиаторы, конвекторы, отопительные панели, ребристые трубы. Для повышения влажности воздуха в помещении следует применять увлажнители воздуха.

#### 4.1.2 Загрязнение воздушной среды

Наличие в воздухе рабочей зоны вредных веществ и недостаток аэроионов обуславливается как факторами, возникающими в процессе работы за компьютером и оргтехникой, так и факторами, не относящимися непосредственно к данной производственной деятельности. В процессе работы основной причиной недостатка аэроионов является компьютер – генерируемое электростатическое поле деионизирует воздух. Естественным решением является либо установка ионизаторов, либо проветривание. Вредные вещества, а также пыль появляются ввиду многих причин – нагрева пластиковых элементов компьютера, работы оргтехники.

Нормативы содержания веществ содержатся в ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны [28], допустимое содержание ионов в воздухе – СанПиН

2.2.4.1294-03 «Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений» [29].

При работе с оргтехникой в воздух рабочей зоны происходит выделение озона. При определенном скоплении, озон способен вызывать раздражение дыхательных органов. В данный момент производители оргтехники выпускают аппараты, которые выделяют минимальное количество озона. Однако, в помещении, где работает несколько аппаратов, нужна хорошая вентиляция.

По параметрам острой токсичности озон относится к 1 классу опасности. Согласно ГОСТ 12.1.007-76 предельно допустимая концентрация (ПДК) озона в воздухе рабочей зоны - 0,1 мг/м [30].

#### **4.1.3 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.

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, 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% [31]. Для исключения бликов отражений в экране светильников общего освещения рабочий стол с компьютером 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. Нормирование параметров освещенности необходимо осуществлять при помощи двух документов - СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий» [32], который определяет наименьшую освещенность рабочих поверхностей в зависимости от вида производимой деятельности и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [33], который нормирует параметры при работе за компьютером.

#### 4.1.3.1 Расчет искусственного освещения

С точки зрения экологичности, безопасности и эргономичности, следует использовать люминесцентные лампы для организации общего освещения, а для местного – светодиодные или люминесцентные.

Произведем расчет освещения для аудитории 509 18 корпуса ТПУ. Размеры помещения: А (длина) – 6500 мм, В (ширина) – 6000 мм, h (высота) – 4000 мм. Высота рабочей поверхности над полом  $h_p = 800$  мм. Расстояние светильников от перекрытия (свес)  $h_c = 500$  мм. Расположение светильников отражено на рисунке 4.2.

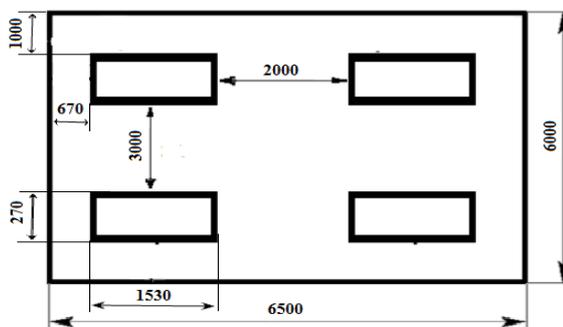


Рисунок 4.2. Расположение светильников в помещении

Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен  $K_3 = 1,5$ . Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп  $Z = 1,1$ .

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОД-2-80. Этот светильник имеет две лампы мощностью 80 Вт каждая, длина светильника равна 1530 мм, ширина – 270 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина  $\lambda$ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой равная 1,4.

Расчет светового потока лампы определяется по формуле:

$$\Phi = E_n \times S \times K_3 \times Z / N \times \eta \quad (4.1)$$

$\Phi$  – световой поток, Лм

$E_n$  – нормированная минимальная освещенность, Лк;

$S$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>

$K_3$  - коэффициент запаса;

$Z$  – коэффициент неравномерности (для люминесцентных ламп = 1,1);

$N$  – число ламп в помещении

$\eta$  – коэффициент использования светового потока.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 4 - 0,8 - 0,5 = 2,7 \text{ м.}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,7 = 3,8 \text{ м}$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Nb = \frac{B}{L} = \frac{6}{3,8} \approx 2 \text{ шт.}$$

Число светильников в ряду:

$$Na = \frac{A}{L} = \frac{6,5}{3,8} \approx 2 \text{ шт.}$$

Общее число светильников:

$$N = Na \cdot Nb = 2 \cdot 2 \approx 4 \text{ шт.}$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$6,5 = 2 \cdot 1,53 + L1 + \frac{2}{3}L1$$

$$L1 = 2,02$$

$$l1 = \frac{L1}{3} = \frac{2,02}{3} \approx 0,67 \text{ м}$$

$$6 = 2 \cdot 0,27 + L2 + \frac{2}{3}L2$$

$$L2 = 3$$

$$l2 = \frac{L2}{3} = \frac{3}{3} \approx 1 \text{ м}$$

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{6,5 \cdot 6}{2,7 \cdot (6,5 + 6)} = 1,8$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при  $\rho_{\text{п}} = 70 \%$ ,  $\rho_{\text{с}} = 50\%$  и индексе помещения  $i = 1,08$  равен  $\eta = 0,5$ . Количество ламп в 4 светильниках – 8.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{п}} = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 6,5 \cdot 6 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{8 \cdot 0,5} = 4826,25 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% \leq 20\%;$$

$$\frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% = \frac{5200 - 4826,25}{5200} \cdot 100\% = 7,1\%.$$

Таким образом:  $-10\% \leq 7,1\% \leq 20\%$ , необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

#### **4.1.4 Повышенный уровень шума на рабочем месте**

Шум является общебиологическим раздражителем и в определенных условиях может влиять на органы и системы организма человека. 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. Различные виды шумов нормируются разными величинами. Для постоянного шума нормируются уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц, для прерывистого и импульсного, а также для непостоянного шума – эквивалентные уровни звукового давления для тех же октавных полос. Нормативными документами являются ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ Шум [9]. Общие требования безопасности», СНиП П-12-77. «Защита от шума»[34] Мероприятиями по шумоглушению могут быть звукоизолирующие отделки, шумоглушители для вентиляций, отопления, кондиционирования воздуха, а также применение шумозащитных экранов, которые создают препятствие на пути волн звука, не давая им распространяться. Материалы, из которых делают шумозащитные экраны: акрил, разные виды композитных материалов, монолитный поликарбонат. Если шум от компьютера, то нужно

провести своевременную чистку системного блока от пыли и стараться не перегружать компьютер. При возникновении недопустимого уровня шума необходимо выполнить меры либо по ограничению распространения шума, либо по ограничению воздействия его на людей. Согласно Санитарным нормам СН 2.2.4/2.1.8.562-96 "Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки" [35] ПДУ для шума составляет 82 дБ.

Мероприятия по шумоглушению можно еще разделить на несколько групп. К первой группе мероприятий относятся различные короба, щиты, кожухи, установленные на оборудовании, изменение технологии или конструкции. Необходимо своевременно проверять и смазывать механизмы. Ко второй группе относятся, в первую очередь, коллективные средства защиты – устройство звукоизоляции, защита расстоянием, архитектурно-планировочные изменения. Если иными средствами уменьшить воздействие шума не удастся, необходимо использовать индивидуальные средства защиты – наушники, беруши, шлемы.

#### **4.1.5 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:

Компьютер имеет сразу два источника электромагнитного излучения (монитор и системный блок);

Пользователь ПК чаще всего лишен возможности работать на безопасном расстоянии;

Длительное время влияния компьютера (для современных пользователей может составлять более 12 часов, при официальных нормах, запрещающих работать на компьютере более 3 часов в день);

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 [36].

В зависимости от условий облучения, характера и места нахождения источников ЭМИ могут быть применены различные средства и методы защиты, такие как:

1. защита временем;
2. защита расстоянием;
3. экранирование источника излучения;
4. уменьшение излучения непосредственно в самом источнике излучения;
5. экранирование рабочих мест;
6. средства индивидуальной защиты;
7. выделение зон излучения;
8. лечебно-профилактический отпуск, и соблюдение мер безопасности при работе с ПК.

ПДУ в соответствии с СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 [36]:

Напряженность	Время контакта
10 мкРВт/см <sup>2</sup>	8 часов
10-100 мкРВт/см <sup>2</sup>	ее более 2-х часов
100-1000 мкРВт/см <sup>2</sup>	не более 20 минут

#### **4.2 Электробезопасность**

Электрические установки, к которым относится практически все оборудование ЭВМ, представляют для человека большую потенциальную опасность, так как в процессе эксплуатации или проведении профилактических работ человек может коснуться частей, находящихся под напряжением.

Любое воздействие тока может привести к электрической травме, то есть к повреждению организма, вызванному действием электрического тока или электрической дуги.

При рассмотрении вопроса обеспечения электробезопасности разработчика необходимо выделить три основных фактора:

1. электроустановки рабочего места специалиста;
2. вспомогательное электрооборудование;
3. окружающая среда помещения.

К электроустройствам рабочего места относятся: компьютер, видеомонитор, принтер. К вспомогательному оборудованию относятся лампы местного освещения, вентиляторы и другие электрические приборы. Электрооборудование, перечисленное выше, относится к установкам напряжением до 1000 В, исключение составляют лишь дисплей, электронно-лучевые трубки, которых имеют напряжение в несколько киловольт. Окружающая среда помещений, в которых работает специалист, воздействует на электрическую изоляцию приборов и устройств, электрическое сопротивление тела человека и может создавать условия для поражения электрическим током.

Помещения, оборудованные вычислительной техникой, как правило, относятся к категории помещений без повышенной опасности так как:

1. относительная влажность воздуха не превышает 75%;
2. нет токопроводящей пыли;
3. температура не превышает длительное время 30 °С;
4. отсутствует возможность одновременного прикосновения человека с имеющими соединение с землей металлическими конструкциями;
5. отсутствие доступа к токоведущим частям оборудования;
6. нет токопроводящих полов.

Таким образом, для предотвращения электротравматизма пользователя, необходимо соблюдать требования безопасности, как при

работе с обычной бытовой техникой. 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. Недоступность токоведущих частей достигается путем их надежной изоляции, применения защитных ограждений, расположения токоведущих частей на недоступной высоте. Опасность поражения электричеством является главной опасностью при работе за компьютером. Существует не только вероятность поражения самого человека, возможно возникновение пожара вследствие замыкания электрической цепи, возможна порча ценного оборудования. К СКЗ относятся заземление и разделение электрической сети с помощью трансформаторов – в результате изолированные участки сети обладают большим сопротивлением изоляции и малой емкостью проводов относительно земли, за счет чего значительно улучшаются условия безопасности. Основными электрозащитными средствами в электроустановках напряжением до 1000В являются изолирующие штанги, указатели напряжения, а также изолирующие устройства и приспособления для ремонтных работ. Также безопасными номиналами являются  $U=12\div36\text{В}$ ,  $I=0,1\text{А}$ ,  $R_{\text{заземления}}=4\text{Ом}$ . К дополнительным изолирующим электрозащитным средствам относятся диэлектрические перчатки, резиновые коврики и дорожки, изолирующие подставки на фарфоровых изоляторах и переносные заземления. Освобождение пострадавшего от действия тока напряжением свыше 1000В может быть произведено только одним способом. Это отключение соответствующей части электрической установки специально обученными людьми.

### 4.3 Пожарная безопасность

Наиболее распространенными источниками возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера являются пожары.

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

Персональные компьютеры являются наиболее защищенными от возгорания устройствами: им не страшны перепады в сети и внезапные отключения электроэнергии. Однако при нарушении определенных правил использования, даже они могут вспыхнуть пламенем и нанести колоссальный ущерб имуществу и здоровью людей. Пожарная безопасность при работе с компьютером предусматривает осторожность при обслуживающих, ремонтных и профилактических работах, так как во время таких работ использование различных смазочных материалов, легко воспламеняющихся 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.

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<sup>2</sup>.

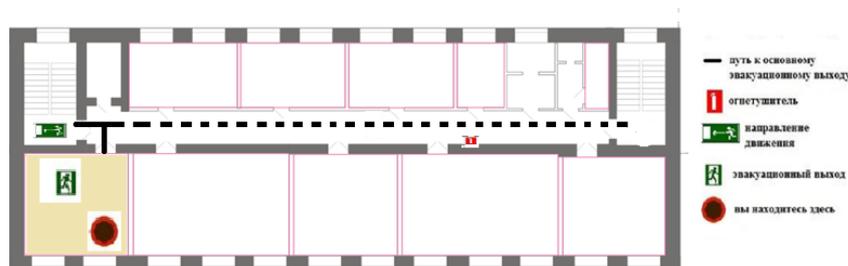


Рисунок 4.3 – План эвакуации из аудитории №509 18 корпуса ТПУ

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. Согласно ФЗ №123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» 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. Компьютерные классы относятся к В2 категории помещений по пожарной безопасности.

Способы устранения причин пожаров могут быть следующие:

Предупредительные (организационные):

- правильный выбор электрооборудования и способов его монтажа, систематический ремонт и контроль неисправности;
- изоляция отопительных приборов от сгораемых конструкций и материалов;
- запрещение хранения, транспортирования и содержания на рабочих местах огнеопасных жидкостей и растворов;
- предупреждение появления искровых разрядов статического электричества;
- правильная организация заземления;
- обучение персонала правилам пожарной безопасности;
- размещение планов эвакуации.

Технические:

- обеспечение первичными средствами пожаротушения.

В помещениях с возможными пожарами класса А и Е (горение твердых материалов и электроустановок) необходимо иметь 2 порошковых огнетушителя с массой заряда 4 кг (ОП-4).

А также обеспечение сигнализации и оповещения. Для этого можно использовать охранно-пожарную сигнализацию, которая обеспечит своевременное обнаружение возгорания, включит оповещение и передаст сигнал на пункт управления.

#### **4.4 Экологическая безопасность**

##### **4.4.1 Утилизация компьютерной техники и макулатуры**

Переработка компьютерной техники - особенно актуальная проблема для бюджетных учреждений. Вышедшие из строя компьютеры и оргтехнику нельзя просто вывезти за пределы предприятия, поскольку они находятся на балансе и относятся к основным средствам. Кроме того, материнские платы и другие компоненты содержат драгоценные металлы, которые по закону обязательно должны быть учтены и проведены через бухгалтерию. Лучшее решение в данном случае — утилизация оборудования.

Для передачи оргтехники специализированной организации, которая отправит ее на переработку, необходимо оформить акт списания. Опытные специалисты в составе комиссии выполняют оценку морального и технического состояния компьютеров, принимают решение о непригодности для дальнейшей эксплуатации и оформляют необходимую документацию. После этого осуществляется вывоз и утилизация мониторов, принтеров, источников бесперебойного питания и др. Ценные металлы и сырье, пригодное для повторного использования, отправляют на переплавку на специальные заводы. Переработка неисправной компьютерной техники позволяет избежать загрязнения окружающей среды токсичными отходами и вернуть в оборот некоторое количество серебра, золота, платины, палладия и других ценных элементов.

Также существуют определенные стандарты, которые нужно соблюдать при сортировке и утилизации офисной макулатуры и черновиков. Это многоэтапный процесс, целью которого является восстановление бумажного волокна и некоторых других компонентов материала, необходимых для повторного использования. Поскольку разные виды бумаги в разной степени поддаются утилизации, использованная бумажная продукция собирается и отсортировывается, доставляется в соответствующие перерабатывающие предприятия.

#### **4.4.2. Утилизация люминесцентных ламп**

Люминесцентные лампы считаются экономичными и энергосберегающими, что, несомненно, является плюсом, поскольку массовое использование энергосберегающих ламп несколько снизит потребность в электроэнергии, но с другой стороны, в люминесцентных лампах используется ртуть, что переводит отработанные лампы из обычных отходов в опасные, требующие специальной утилизации. Не работающие лампы немедленно после удаления из светильника должны быть упакованы в картонную коробку, бумагу или тонкий мягкий картон, предохраняющий лампы от взаимного соприкосновения и случайного механического повреждения. Недопустимо выбрасывать отработанные энергосберегающие лампы вместе с обычным мусором, превращая его в ртутьсодержащие отходы, которые загрязняют ртутными парами [37].

#### **4.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Для кабинета, находящейся в здании промышленного корпуса, наиболее вероятными и опасными являются следующие ЧС:

- Природные чрезвычайные ситуации;
- Техногенные чрезвычайные ситуации (несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место);

Из природных чрезвычайных ситуаций можно выделить метеорологические условия-сильные морозы, которые своего рода могут

привести к авариям электроснабжения, теплоснабжения, размораживание труб и другие. Для предотвращения аварий необходимо осуществлять постоянные проверки, подготовить к использованию резервные источники питания на объектах энергоснабжения, проводить обследование аварийно-опасных участков электросетей и теплосетей, а также проводить инструктаж среди работников, о рисках возникновения ЧС данного характера и реагирования на него.

Из техногенных чрезвычайных ситуаций для рабочего места можно выделить терроризм или несанкционированное проникновение посторонних. Для этого необходимо организовать антитеррористическую безопасность, которая включает в себя:

- охрану объектов института и доступ к ним,
- круглосуточный контроль за ввозом (вносом) и вывозом (выносом) материальных и других ценностей,
- обеспечение общественного порядка на территории института,
- проведение комплекса предупредительно-профилактических мероприятий по повышению бдительности, направленной на обеспечение безопасности обучающихся и работников,
- оборудование турникетов и шлагбаумов,
- установку охранной сигнализации и ее техническое обслуживание
- приобретение системы видео наблюдения его монтаж и пуск,
- установка наружного освещения [38].

#### **Вывод по разделу:**

В данном разделе были определены опасные и вредные факторы, которые присущи работе за компьютером специалиста, проанализированы их воздействия на организм человека и возможные способы уменьшения этого воздействия. Также были определены пожарная и экологическая безопасность при работе с компьютером.

# Приложение А

## Раздел 1 Theoretical part

Студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1EM81	Коржова Александра Юрьевна		

Консультант ОКД:

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

Консультант ОИЯ ШБИП:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Понамарёва Анна Николаевна	к.ф.н		

## Introduction

A forest is an ecologically complex system which consists of many interconnected elements. These elements include living organisms, closely related to each other, and not living, abiotic component - water, soil, air. Every animal and plant is an integral part of the forest zone, which are included in the food chain. The forest is a source of oxygen on Earth and the basis of life for the animal world, but the destructive power of fire is an urgent problem for the forest fund for the current period. Today, forests occupy 1/3 of the land area, although previously forest land was much larger. Unfortunately, this is due to the fact that forests have long been destroyed, whether for economic purposes or because of human negligence, or because of natural processes. Every year, tens of thousands of wild (forest) fires occur in Russia, emitting tons of combustion products and destroying more than 1 million tons hecta of forest. Natural fires are destructive in nature, destroy wood, deprive the soil of geobotanical cover, degrade ponds and pools, endanger human health and kill animals and plants due to the large emission of harmful vapours, are causing destruction of housing buildings, garages, barns of cottage areas and this is only a small part of the negative impact of wildfires.

The problem of the spread of natural fires in forests stands at the international level. Since every year the forests of the Russian Federation and other countries are affected.

Sometimes a natural fire is purposely caused to control insects or diseases of trees, but such fires are under human control. Many scientists believe that soil fertility increases after a fire, thus increasing the diversity of species in ecosystems. However, more aspects are negative. Wildfires causing enormous damage, forest management problems, urban haze, the separation of  $CO_2$  and possible conversion of fire to buildings close to the forest boundary. Therefore, it is necessary to control the fire hazard in forest areas and to react immediately when a fire breaks out. The modeling of wildfires and their parameters plays an important role in ensuring safety but unfortunately, it is not given the necessary physical attention.

In the economic and ecological sphere, forest fires are on an important place. The damage they cause is difficult to assess. One of the main negative environmental effects is haze and air pollution, as well as the death of flora and fauna, the emissions enhance the greenhouse effect. After the fire, reforestation takes time and takes longer in the north than in the south. Economic losses are also high, because huge sums are spent on extinguishing fires, and restoring what has been exposed to fire. But there are also social costs, especially the death and health of the local population, as well as of rescue workers and firefighters. Smoke can also cause allergy and discomfort during respiration.

The main objective of the thesis is to develop a mathematical model of the spread of crown fires which adversely affect buildings and structures located near wooded areas and to determine safe distances from the forest fire to human settlements.

A computational methodology should be developed to calculate the model in order to determine safe distances for buildings taking into account different meteorological conditions. The influence of wind, the size of the building, the height of the forest, the parameters of the natural fire, temperature, time and other factors are taken into account.

The main objectives of the study are:

1. To develop a mathematical and physical problem statement of the wildfire spread and its impact on buildings and structures.
2. To perform mathematical modeling of the process using numerical methods.
3. Carry out numerical calculations to study the effects of forest fires on buildings.
4. Visualize calculations using MATLAB software.
5. Analyse the data obtained.

The model can find its application in making forecasts of the behavior of real natural fires affecting settlements, as well as in developing measures for eliminating and localizing a fire. This mathematical model was proposed by the

famous scientist A.M. Grishin. The solution to this problem consists of a system of differential equations in private derivatives with corresponding boundary and initial conditions.

The experimental study of natural fire does not provide a complete physical simulation of this phenomenon, hence other possible research paths are being considered, as theoretical research methods, so we consider mathematical modeling, describing the position of the ground-level atmosphere and biogeopricing.

## **1.1 Literature review on wildfire studies**

### **1.1.1 General information on the forest**

A forest is an integral part of nature, dominated by trees, shrubs, grasses, mosses and lichens, and is diverse in its composition, structure and habitat. Forests can grow in mineral-rich soils as well as in poorly drained areas. Forest vegetation is the reflection of the forest, which has an impact on the environment, temperature fluctuations, direction and strength of wind flows, lighting and soil moisture. A forest is a habitat for animals and micro-organisms that are interconnected.

The following vegetation types exist in Russia:

- deserts and semi-deserts,
- tundra and forest tundra,
- taiga,
- mixed forests,
- steppe and forest steppe.

The composition of the forest may be single-breed or mixed. Mixed forests have a large floristic wealth and complex structure. In the territory of Russia, conifers are mainly predominant - fir, cedar, Norway spruce, larch. The high humidity of the spruce contributes to the formation of moss. The appearance of mosses indicates excessive wetting and wetland. About 25% of the coniferous forest is made up of pine. Unlike spruce, it is a light-loving species of trees, but very rarely is it possible to find pure pine forests, they are disturbed by cutting.

There is also a dense grass cover in forests, with a large number of vegetation species.

From an environmental point of view, forests enrich air with oxygen and play an important role in its purification. They also play a huge role in the conservation of land resources. A large number of different aromatic compounds are emitted by the forests.

### **1.1.2 Classification of wildfires**

Countries with large forest endowments very often face the challenge of the adverse effects of fire, especially during the summer-autumn period, becoming a national problem with enormous damage affecting forests. Often, human lives are threatened by these natural disasters, which cost millions of dollars. The most dangerous fires in forests are those near to human settlements, this is a serious problem in many parts of the world. Global warming is expected to exacerbate the fire problem in these areas adjacent to the forest. Such fires cause enormous material and environmental damage. It takes time and material resources to restore a small piece of forest. If a fire approaches or reaches a human settlement, there may be loss of life.

A natural (forest) fire is the uncontrolled, spontaneous spread of fire occurring in the natural environment. A forest fire is a kind of chemistry, because it emits a big amount of negative chemical elements and gases into the atmosphere, which have adverse effects on the whole forest area.

Wildfires, which have their own classification, are primarily divided into crown, surface and ground. Crown fire caused the most dangerous effect, as it can cover not only trees but the whole crown including grass cover. The crown fire accounts for about 70% of the burnt area, and it is hit by different-age trees in coniferous multi-storey forests. The velocity of the crown fires is very high, ranging from 1,500 m/h to 5,000 m/h. Such wildfires can be caused by dry hot weather.

In the case of a surface fire, or creeping fire, the lower layer of the forest burns, and it spreads through the grass or the leaf litter. Surface fire can go both

ground and smoothly flow into crown fire. Such fire causes great damage to the trees, damaging the trunk and the roots. A ground fire destroys the forest litter or the first lower layer of the forest.

The intensity of wildfires depends on the content of the fuel reserve, the period, the wind speed and the ground line gradient.

The speed of propagation distinguishes between running and persistent wildfires. The running fire spreads rapidly (at a rate of more than 0.5 m/min), bypassing areas of high humidity, so that part of the area remains untouched by fire, burning the upper part of the adrenal cover. They most often occur during the spring when the top layer of small combustible materials dries up. In contrast to running fires, persistent fires tend to spread slowly (0.5 m/min), burning ground, underwood, bark and tree roots. Summer is the hottest period for the spread of persistent wildfires.

### **1.1.3 Monitoring of wildfires**

In order to assess the ecological situation in natural areas, forest monitoring is of particular importance, it allows to control the state of forest cover, trees, serves to protect the forest stock. The issue of forest fire monitoring is now being widely studied in all countries, thus developing a more functional and improved monitoring system capable of early detection of fire at the incipient stage. There are three types of forest monitoring: aviation, ground and space. Monitoring can be carried out on the basis of the coverage of ignition area, meteorological conditions, cost and speed of data processing.

In the case of ground-based monitoring, fire detection is carried out by video surveillance by the operator, this type is not very expensive and information can be obtained in a short time. Data are transmitted via GPS and Internet resources.

Aerial monitoring, as well as ground monitoring, includes video surveillance, but it is also effective for the use of thermal cameras, with which a natural fire is detected even under conditions of high haze in the daytime.

Space-based monitoring of forest fires controls processes by remote sensing of the Earth in real time, thus allowing gauging meteorological weather conditions. The advantage of space monitoring is the ability to control large areas, to obtain information and data from space images are publicly available.

In the territory of the Russian Federation, the monitoring of the space forest fire situation is carried out through:

1. Rosleshoz Remote Monitoring Information System (ISDM Rosselshoz);
2. The Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences (Moscow);
3. The V. N. Sukachev Forest and Timber Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Mr. Krasnoyarsk);
4. GIS-technologies MES monitoring of natural fires from the satellite «Cascade».

Of all the space-based information-holders presented above, the Rosleshoz Remote Monitoring Information System is a preferred solution. The main advantage of which is that all the information received by the satellite is supplemented in parallel by information from ground and aerial monitoring. However, if the ground fire is extinguished by natural or man-made precipitation, after a few days the burning area begins to green, and the edge of the ground fire from the patrol plane through the forest canopy is virtually impossible to view. Thus, the reliability of satellite data from aerial observations cannot be confirmed.

The use of monitoring the detection of natural fires for the Russian Federation, despite the huge area of the country, is the most profitable and expeditious way to obtain information on the state of the forests. Natural fires are monitored at four levels: place-based, local, regional and federal.

### **1.2.1 Forest fire condition**

On the territory of the Russian Federation, there is a large variety of forest vegetation, of which most are conifers (spruce, larch, fir and cedar). Deforested areas create conditions for fire hazard escalation in forest areas. The issue of wildfires is at the global level. The largest fires covered Russia, the United States

of America and Europe (Portugal, Greece, Spain). For Australia, the beginning of 2020 remains memorable, as fire engulfed vast areas of the mainland forest. The damage is in the billions of dollars, people and animals are being killed, and so many more people are being left homeless because of this terrible phenomenon - a fire. Table 1.1 shows the largest fires in the world in the last decade.

*Table 1.1 - World's largest fires [12]*

<b>Year</b>	<b>Country</b>	<b>Localization</b>	<b>Mortal victims</b>	<b>Burned houses</b>	<b>Burned area (ha)</b>
2009	Australia	Victoria	173	3500	450000
	U.S.A.	Southern California	2	209	64983
2010	Israel	Haifa district	without data	250	5000
	Russia	European part of the country	20000	without data	2000000
2011	U.S.A.	Fourmile Canyon, Colorado	without data	161	6181
2012	U.S.A.	Texas	2	1709	32000
2015	U.S.A.	Colorado	6	946	262947
2017 - 2018	U.S.A.	Toulumne, California	without data	112	257314
2019	Australia	New South Wales	24	200	20000000
2020	Australia	New South Wales	25	1300	6000300

Table 1.1 shows that the problem is at the forefront of many countries. The extent of damage caused by forest fires may depend on external conditions such as wind, temperature, humidity, soil and wood composition.

Statistics on forest fires in the Russian Federation are increasing. The most fire hazardous regions in the country are:

- Far East;
- Siberia;
- Ural;
- Trans-Baikal Territory;
- Irkutsk Region;
- Krasnoyarsk Territory;
- The Volga Territory;

- Sverdlovsk Region.

The forests are most affected by fires in the taiga, most often caused by local people. There are a number of other causes of forest fires, such as meteorological conditions (dry climate, strong wind), natural conditions (thunderstorms, lightnings), anthropogenic conditions (agricultural burning, abandoned garbage, cigarette butts, arson, children's pranks, car sparks) etc.

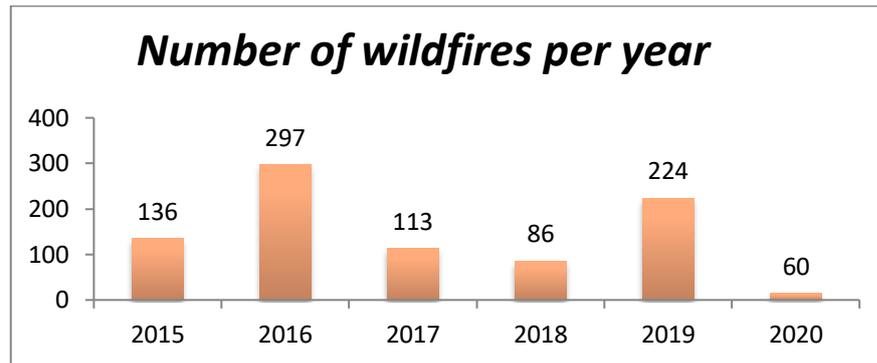
In Siberia, forest fires are considered the most dangerous and most damaging to forestry. Tomsk Region is famous for its rich forest resources. In the territory of the Tomsk Region, the forest area is about 28,772,000 hectares. Wooded lands of the region are 68.2%, forest cover - 61%, including standing forest - 1.1%. Conifers make up about 54% of the area covered by forest, of which pine breeds - about 29%, cedar - 19.1%, spruce and fir - 6.8%. Forestry and forest protection are implemented by The Forestry Department and the Department of Natural Resources of the Tomsk Region.

The average annual fire duration of the region's forests is about 100-110 days. The largest number of fires occurs between May and September. Vegetation conditions and meteorological factors of the region contribute to mainly surface fires. All statistical data are collected by the Main Office of the Russian Ministry of Emergency Situations of the Tomsk Region and the Space Monitoring Base of the IDSМ-Rosselshoz, as well as using GIS-technologies «Cascade». Table 1.2 presented the data on the number of fires in the natural areas of Tomsk oblast from 2015 to 2020 and the total burned area covered by the forest.

*Table 1.2 - Number of wildfires per year*

<b>Year</b>	<b>Number of wildfire</b>	<b>Burned area (ha)</b>	<b>Reason of ignition</b>
2015	136	2 194,48	agricultural burning
2016	297	20 681,2	agricultural burning
2017	113	1 036,4	agricultural burning
2018	86	691,97	thunderstorms

Year	Number of wildfire	Burned area (ha)	Reason of ignition
2019	224	17447	agricultural burning
2020	60	720	agricultural burning

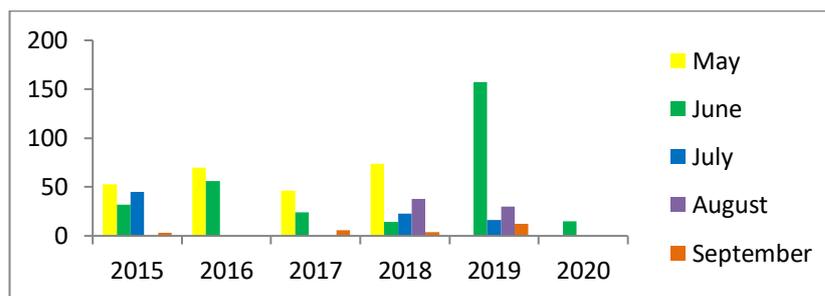


**Figure 1.1 Number of forest fires for the period 2015 - 2020**

Figure 1.1 shows that the most dangerous period occurred in 2016 and 2019 are mainly caused by agricultural products. As analysis of long-term observation has shown, the cycle of fire-hazardous repeatability in forests is about 6-8 years. In this way, the supervisory authorities carry out preventive measures and awareness-raising sessions with the local population in order to reduce the risk of wildfires.

Accessibility is another reason for the high level of wildfires. Lack of roads, fire engines, lack of rapid communication of information, all these lead to inefficiencies in combating this destructive natural phenomenon.

Then consider the monthly extension of fire in the forest between 2015 and 2020.



**Figure 1.2 Monthly extension of forest fires**

Based on the histogram, May and June are the most fire hazardous months. This resulted from by hot weather and dry periods.

In general, for the region, the risk of wildfires spilling over to human settlements and economic facilities is estimated to be above average.

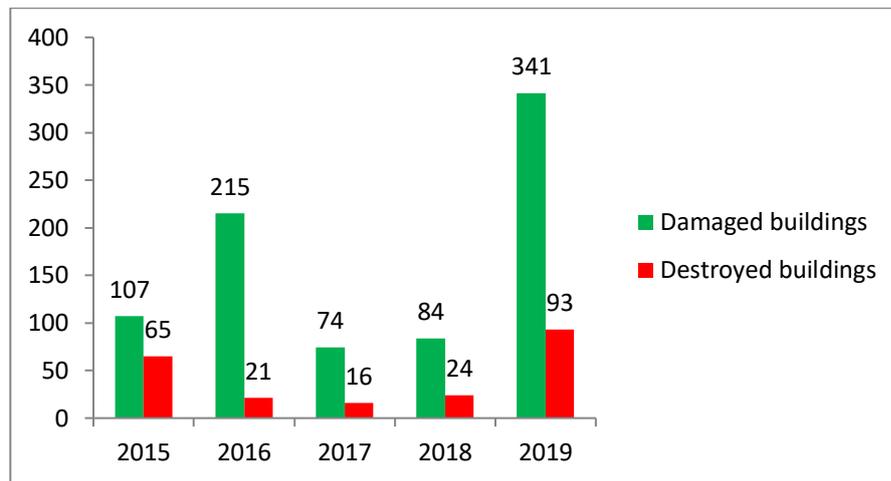
The areas most affected by wildfires in the Tomsk Region are listed below:

- Verkhneketsky;
- Kargasoksky;
- Kolpashevsky;
- Parabelsky;
- and Tomsk districts.

The most frightening thing for any population is to be left homeless, and forest fires are precisely the ones that can ignite buildings nearby forest. There is a distribution of wildfires where they occur continuously, most of the fires occur up to 10 km from the nearest settlement. By contrast, the number of fires from thunderstorms increases rapidly as the villages are further away, and more than 90% of the fires from the thunderstorms occur at a distance of up to 50 km from the settlements. Table 1.3 shows the material damage caused by fires over a period of 5 years in the Tomsk Region.

*Table 1.3 - The damage from forest fires in the settlements for years*

<b>Year</b>	<b>Damaged buildings</b>	<b>Destroyed buildings</b>
2015	107	65
2016	215	21
2017	74	16
2018	84	24
2019	341	93



**Figure 1.3 Effects of forest fires on buildings**

Large forest fires occur under certain weather conditions, speed and propagation of wind flow, humidity and fuel supply are important, all of which lead to a major natural disaster.

#### **1.4 Forest fire prevention**

The timely prevention of wildfires is the main State task for forestry. The damage caused by forest fires is significant and timely prevention is important. The increasing number of fires creates a greenhouse effect, thus leading to environmental and economic security for the forest sector. Forest fires are most often caused by fire safety violations among the local population living in nearby forests. Despite the considerable attention given to forest fires in our country at various levels, monitoring and forecasting, the number of fires has been reduced by only 20%. Preventive measures provides for the establishment of an effective legislative framework for the protection and defense of forest areas against wildfires.

The basic document in the field of forest protection is the Forest Code of the Russian Federation, which includes the main fire-fighting measures. Control authorities in preparation for the fire season:

- create fire barriers, ditches, gaps and barriers;
- install fire-fighting ponds;
- clear routes to water sources;
- repair and build fire roads;

- set up observation posts and observation towers;
- put warning signs in rest areas;
- control burning of vegetation;
- reserve and patrol fire hazard areas;
- hold awareness-raising activities with the local population;
- conduct drills and exercises to fight forest fires.

Unfortunately, as the statistics shows, these measures are not enough for fire suppression and forest protection, but the tendency to increase forest protection measures makes it clear that this issue is not neglected.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе была разработана математическая модель возникновения и распространения лесного пожара воздействующего на здание. Проведены многочисленные расчеты, с помощью программы Wildinte, где полученные результаты визуализированы в программе Matlab.

По результатам расчетов получены распределения полей температуры, концентрации и скорости. Распределение температуры на стенке здания было рассмотрено в разный момент времени и при разной скорости ветра. Таким образом, можно сделать вывод о зажигании рассматриваемого объекта, а также о том, как разные изменяемые величины влияют на характер распространения пламени по лесному массиву. При увеличении скорости ветра и высоты лесного массива увеличиваются зоны зажигания. В заключении можно сказать, что все выше поставленные задачи были выполнены.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

Дата	Название мероприятия. Место прохождения. Степень участия и вид получаемого документа.
октябрь, 2018	1. Участие в 7ой Международной конференции школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых «Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее» г. Томск. Статья на тему: «Математическое моделирование распространения верхового пожара на здание».
27-28 ноября, 2018	2. Участие во «Всероссийской научно-практической конференции магистрантов, аспирантов, молодых ученых Техносферная безопасность в XXI веке», г. Иркутск. В рамках участия была написана статья на тему «Математическая модель воздействия лесных пожаров на здания и сооружения».
22-24 ноября, 2018	3. ВНИПК молодых ученых, аспирантов и студентов «Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения», г. Юрга. В рамках участия была написана статья на тему «Математическое моделирование воздействия лесных пожаров на здания».
март, 2019	4. Участие во Всероссийской молодежной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Все грани математики и механики», г. Томск, ТГУ. Публикация статьи «Численное решение задачи о распространении верхового лесного пожара» (Диплом III степени).
май, 2019	5. Участие в Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР – 2019» г. Томск, ТУСУР. Публикация статьи «Математическое моделирование распространения фронта лесного пожара» (Диплом III степени).
октябрь, 2019	6. Участие в 8-ой Международной конференции школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых «Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее» г. Томск. Статья на тему: «Математическое моделирование распространения верхового лесного пожара».
Октябрь, 2019	7. Участие во Всероссийской научно-практической конференции г. Махачкала. Статья на тему: «Численное решение задачи о воздействии верхового лесного пожара на здание» (Сертификат участника)

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перминов В. А. Математическое моделирование возникновения верховых и массовых лесных пожаров // Вестник Томского Государственного Университета – 2010. – 283 с.
2. Шарагин, А. М. Влияние лесных пожаров на экологическую ситуацию // Успехи современного естествознания. – 2011. – №7. – стр. 236-236.
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. Гришин А.М., Зятнин В.И., Перминов В.А. Экспериментальное исследование перехода низового лесного пожара в верховой [Текст] // ВИНТИ – 1991. – № 982-91 – С.22.
5. Академия леса [Электронный ресурс] / URL: [http://unattver.narod.ru/Akademia\\_Lesa/metod\\_material/monitoring\\_lesa.pdf](http://unattver.narod.ru/Akademia_Lesa/metod_material/monitoring_lesa.pdf), свободный. – Загл. с экрана. – яз. рус., англ. Дата обращения: 20.02.2020 г.
6. Научно-информационный сайт [Электронный ресурс]/ URL: <http://biofile.ru/bio/8805.htm> ,свободный. – Загл. с экрана. – яз. рус., англ. Дата обращения: 25.02.2020 г.
7. Халдина Е.А. Математическое моделирование распространения лесных пожаров с учетом противопожарных преград // Вестник науки Сибири. – 2013. – №4(10). – С. 98-103.
8. Авиалесоохрана Уральской области [Электронный ресурс]/ URL: <http://uralaviales.ru/> свободный. – Загл. с экрана. – яз. рус., англ. Дата обращения: 27.02.2020 г.
9. 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: 27.02.2020 г.

10. Сравнительный анализ видов и методов мониторинга лесных пожаров на территории России / Е. А. Григорец. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). с. 379-381.
11. ИДСМ-Рослесхоз-Авиалесоохрана [Электронный ресурс] / URL: <https://aviales.ru/>, свободный. — Загл. с экрана. — яз. рус., англ. Дата обращения: 10.03.2020 г.
12. 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
13. Лесной дозор [Электронный ресурс] / URL: <https://tomsk.sm-news.ru/lesnoy-dozor-tomskoy-oblasti/>, свободный. — Загл. с экрана. — яз. рус. Дата обращения: 23.03.2020.
14. ИДСМ-Рослесхоз-Авиалесоохрана [Электронный ресурс] / URL: <https://aviales.ru/>, свободный. — Загл. с экрана. — яз. рус., англ. Дата обращения: 25.03.2020 г.
15. Противопожарная профилактика лесных объектов [Электронный ресурс] / URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/protivopozharnaya-profilaktika-lesnyh-obektoy>, свободный. — Загл. с экрана, яз. рус. Дата обращения: 25.03.2020 г.
16. Перечень противопожарных мероприятий в лесах [Электронный ресурс] / URL: <https://rg.ru/2005/10/05/otpojara-dok.html> свободный. — Загл. с экрана. — яз. рус. Дата обращения: 25.03.2020 г.
17. Математическое моделирование процессов в ЧС [Электронный ресурс] / URL: <http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/p/PERMINOV/academic/Tab2/matmod.pdf> Дата обращения: 25.03.2020 г.
18. D.D. Evans, R.G. Rehm, E.G. McPherson, Physics-Based Modelling of Wildland-Urban Intermix Fires // Numerical Heat Transfer– 2014
19. Р. Ш. Еналеев, Ф. М. Гимранов, А. В. Каргин, В. С. Гасилов Моделирование зажигания древесины // Вестник Казанского технологического университета. — 2014. — № 5. — 131 с.

20. V. BABRAUSKAS, Ignition of Wood: A Review of the State of the Art//Fire Science and Technology–2016
21. Зажигание древесины в лесах [Электронный ресурс] / URL: [https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-zazhiganiya\\_drevesiny/viewer](https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-zazhiganiya_drevesiny/viewer), свободный. – Загл. с экрана. – яз. рус. Дата обращения: 30.03.2020 г.
22. A. C. Fernandez-Pello, C. Lautenberger, D. Rich, C. Zak, J. Urban, R. Hadden, S. Scott & S. Fereres (2015) Spot Fire Ignition of Natural Fuel Beds by Hot Metal Particles, Embers, and Sparks, Combustion Science and Technology, 187:1-2, 269-295
23. Гришин А.М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые методы борьбы с ними//А.М. Гришин – г. Новосибирск: Наука. Сиб отд-ние, 1992 – 408с.
24. Патанкар С.В. Численные метода решения задач теплообмена и динамики жидкости // Энергоатомиздат, – 1984. – с.46– 89 .
25. Валендик Э.Н., Матвеев П.М., Софронов М.А. Крупные лесные пожары и борьба с ними. М.: Наука, 2012. 198 с.
26. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы
27. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав России, 1997. – 15 с.
28. СанПиН 2.2.4.1294-03 «Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений».
29. Гигиенические нормативы ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
30. 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.
31. ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ Шум. Общие требования безопасности»
32. СНиП П-12-77. «Защита от шума».

33. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».
34. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
35. 2.2.4.1191-03 "Электромагнитные поля в производственных условиях".
36. Методика проведения работ по комплексной утилизации вторичных драгоценных металлов из отработанных средств вычислительной техники / Государственный Комитет РФ по телекоммуникациям / 1999 г.
37. Федеральный закон №123 от 4 июля 2008 г. «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
38. Безопасность жизнедеятельности: практикум / Ю.В. Бородин, М.В. Василевский, А.Г. Дашковский, О.Б. Назаренко, Ю.Ф. Свиридов, Н.А. Чулков, Ю.М. Федорчук. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. — 101 с.