

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

---

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

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Математическое моделирование возникновения и распространения природных пожаров при наличии противопожарных барьеров</b>

УДК 614.841.42.02:630\*182.41-047.58:519.19.876

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1E41	Баймаков Иззатилла Улугбек угли		

Руководитель

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора И.В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

Томск – 2019 г.

## Результаты освоения образовательной программы по направлению 20.03.01 Техносферная безопасность

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

		«Специалист по противопожарной профилактике»
P8	Уметь оценивать механизм, характер и риск воздействия техносферных опасностей на человека и природную среду	Требования ФГОС ВО (ПК-12, ПК-16, ПК-17).CDIO Syllabus (1.3, 2.1–2.5). Критерий 5 АИОР (п. 2.2–2.8), требованиями проф.стандартов40.056 «Специалист по противопожарной профилактике», 40.054 «Специалист в области охраны труда»
P9	Применять методы и средства мониторинга техносферных опасностей с составлением прогноза возможного развития ситуации	Требования ФГОС ВО (ПК-12, ПК-14, ПК-15, ПК-17, ПК-18).CDIO Syllabus (1.3, 2.1–2.5). Критерий 5 АИОР (п. 2.2–2.8)

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

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

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП  
\_\_\_\_\_ Е.В. Ларионова  
01.04.2019 г.

**ЗАДАНИЕ  
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
З-1Е41	Баймаков Иззатилла Улугбек угли

Тема работы:

Математическое моделирование возникновения и распространения природных пожаров при наличии противопожарных барьеров

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№6/од от 10.02.2014г

Срок сдачи студентом выполненной работы:

30.05.2019 г.

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объектом исследования является возникновение и распространение природных пожаров при наличии противопожарных барьеров (заслоны). Предмет исследования – математическая модель лесных пожаров, описывающая данные процессы.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <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,</i>	Обзор литературы по разделам: Лесных пожары (ЛП), их типы и классификация; влияние пожаров на население, проживающие в населенных пунктах прилегающих к лесам; обзор статей, описывающих пожары на территориях леса Томской области; способы описания контуров пожара; физическая и математическая постановка задачи. Главной задачей работы является получение модели

<p>конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<p>распространения лесных пожаров на определённой местности. (разработка модели распространения ЛП)  В результате работы должно быть дано представление:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>О влиянии скорости ветра, влагосодержания лесного массива на распространение пожара. Определение критических размеров зазора при котором распространение лесного пожара прекращается.</li> </ul>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**  
*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент, Подопригра Игнат Валерьевич
Социальная ответственность	Старший преподаватель, Гуляев Милий Всеволодович

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

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	01.04.2019 г.
---	---------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов Валерий Афанасьевич	Доктор физико-математических наук		01.04.2019 г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1E41	Баймаков Иззатилла Улугбек угли		01.04.2019 г.

**Министерство высшего образования и науки Российской Федерации**

федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность  
Уровень образования бакалавриат  
Отделение контроля и диагностики  
Период выполнения весенний семестр 2018/2019 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2019 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.04.2019 г.	Введение	20
15.04.2019 г.	1.Раздел «Обзор литературы»	10
29.04.2019 г.	2.Раздел «Математические методы, описывающие модель распространения лесных пожаров» Общая математическая модель и математическое моделирование лесных пожаров	25
06.05.2019 г.	3. Результаты проведённого исследования.	15
13.05.2019 г.	Разработка разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
20.05.2019 г.	Оформление и представление ВКР	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов Валерий Афанасьевич	Доктор физико-математических наук		01.04.2019

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
20.03.01 Техносферная безопасность				
Доцент	Ларионова Е.В.	к.х.н.		01.04.2019

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-1E41	Баймакову Иззатилле Улугбек угли

<b>Школа</b>	<b>ИШНКБ</b>	<b>Отделение</b>	<b>ОКД</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	20.03.01 Техносферная безопасность

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; наблюдение.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

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

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

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

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

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>УченаяУченая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	<b>Подопригора Игнат Валерьевич</b>	к.э.н.–		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-1E41	Баймаков Иззатилла Улугбек угли		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-1E41	Баймаков Иззатилла Улугбек угли

<b>Школа</b>	<b>ИШНКБ</b>	<b>Отделение</b>	<b>ОКД</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	20.03.01 Техносферная безопасность

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Математическое моделирование возникновения и распространения природных пожаров при наличии противопожарных барьеров. (аудитория 310 корпуса №18 ТПУ, оборудованная компьютерами)
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
<b>2. Производственная безопасность</b>	<p>2.1. Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды.</p> <p>2.2. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– повышенный уровень шума на рабочем месте;</li> <li>– недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> <li>– повышенный уровень электромагнитных полей (ЭМП);</li> <li>– неудовлетворительный микроклимат</li> <li>– повышенный уровень напряженности электростатического поля</li> </ul> <p>Электроопасность</p>
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы).
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ 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>Пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</p>
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	

**Задание выдал консультант:**



Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев Милий Всеволодович			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1E41	Баймаков Иззатилла Улугек угли		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 86 страниц, 12 рис., 28 табл., 43 источников..

Ключевые слова: природные пожары, противопожарный заслон, математическое моделирование, метод контрольного объема.

Объектом исследования является лесные пожары, распространяющиеся в лесах при наличии противопожарных барьеров.

Предмет исследования – математическая модель, описывающая процесс распространения лесных пожаров.

Цель работы – исследование процессов распространения лесных пожаров и определение размеров противопожарных заслонов, при которых не будет дальнейшего распространения фронта пожара.

В процессе исследования проводилось моделирование лесного пожара. Результаты, полученные в ходе вычислений, представлены в виде графиков построенных в программе Matlab. По полученным изолиниям можно судить о распространении огня при лесном пожаре, при различных скоростях ветра и влагосодержаниях лесного массива.

В результате исследования была разработана математическая модель прогноза распространения фронта лесного пожара при наличии противопожарных заслонов, состоящих из лиственных пород деревьев. Дана оценка влияния скорости ветра и влагосодержания лесных горючих материалов на распространение огня при лесном пожаре. Определены размеры противопожарных барьеров, при которых прекращается процесс распространения фронта верхового лесного пожара в зависимости от скорости ветра и влагосодержания лесных горючих материалов.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: В этой работе является математическая модулирование лесного пожара также расчет по нему при разных размерах заслонов.

Степень внедрения: По полученной работе можно судить о распространении огня при лесном пожаре, при различных скоростях ветра и влагосодержаниях лесного массива

Область применения: полученная математическая модель в данной работе может быть использована на практике для определения динамики развития верхового лесного пожара. Определения, как контуров лесных пожаров, так и размеров противопожарных барьеров (заслонов).

В будущем планируется: Рассчитать все параметры заслона от минимального размера на более широкие метры. Также буду при этом учитывать параметры ветра и влагосодержание заслона при разных коэффициентов

## **Оглавление**

Введение .....	13
Обзор литературы .....	14
1.1 Лесные пожары, их типы и классификация .....	14
1.2.Противопожарная профилактика в лесах .....	17
1.3Мероприятия по предупреждению возникновения лесных пожаров .....	17
1.4Мероприятия по предупреждению и ограничению распространения лесных пожаров.....	20
2.Математические методы, описывающие ПРОЦЕСС распространения лесных пожаров .....	22
2.1Концепция распространения эллиптических волн .....	26
2.1Способы описания контуров пожара.....	30
2.2Физическая и математическая постановка задачи .....	33
2.3Результаты численных расчетов и их анализ.....	38
3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	45
3.1. Предпроектный анализ.....	45
3.2. Инициация проекта .....	52
3.3. Иерархическая структура работ проекта.....	53
3.4 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	62
Глава 4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....	66
4.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	67
4.2 Производственная безопасность .....	69
4.3. Экологическая безопасность .....	77
4.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	79
Вывод.....	81
Список используемых источников .....	82

## **ВВЕДЕНИЕ**

Математическое моделирование распространения огня в лесном массиве является одной из наиболее значимых составляющих в предупреждении распространения лесных пожаров. Данные о зависимости размеров противопожарных заслонов от скорости ветра и состояния лесных горючих материалов (влагосодержании, запасе лесных горючих материалов и т.д.) могут быть использованы для проведения профилактических мероприятий предотвращающих дальнейшее распространение лесных пожаров. Например, вблизи населенных пунктов.

Цель работы – разработка математической модели распространения лесного пожара в лесном массиве и определение размеров противопожарных барьеров (заслонов), состоящих из лиственных пород деревьев, при которых не будет дальнейшего распространения лесного пожара.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- изучение основных сведений о лесных пожарах и методах их профилактики;
- разработка физико-математической модели лесных пожаров;
- применение метода математического моделирования физических процессов;
- проведение численных расчетов и анализ полученных результатов.

## ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

### 1.1 ЛЕСНЫЕ ПОЖАРЫ, ИХ ТИПЫ И КЛАССИФИКАЦИЯ

Пожары в зависимости от их характера возгорания, а также состава лесополосы, и от того где распространяется возгорание могут подразделяться на низовые, верховые и подземные. При низовом пожаре сгорает нижний слой – так называемая лесная подстилка, т.е. ветки, сухие листья, мхи, травы и т. п. [1]. По ветру пожар движется со скоростью 0,25—5 км/ч. Высота пламени при этом достигает до 2,5 м. Температура горения около 700°С и выше. Верховой лесной пожар выжигает листья, хвою, ветви, и всю крону деревьев. Скорость распространения от 5—70 км/ч. Температура от 900°С до 1200°С [1]. Подземные пожары в лесу чаще всего возникают из-за возгорания торфа, которое происходит в результате осушения болот. Скорость пожара может составлять 1 км в сутки. Подобные пожары незаметны, могут распространяться вглубь до нескольких метров, вследствие чего возникает дополнительная опасность в виду их крайней сложности для тушения, т.к. торф имеет возможность гореть без доступа кислорода и даже под водой [2].

Низовые и верховые пожары по скорости распространения огня могут разделяться на устойчивые и беглые.

Скорость характерная для определённых пожаров:

– для слабого низового пожара не превышает 1 м/мин;

- (Высота самого слабого низового пожара до 0,6 м)

– среднего от 1 м/мин до 3 м/мин;

- (Высота среднего доходит — до 1,6 м)

– сильного свыше 3 м/мин.

- (Высота более сильного — свыше 1,6 м)

1) Скорость распространения верхового пожара:

– слабый до 3 м/мин;

– средний до 100 м/мин;

– сильный свыше 100 м/мин.

2) От определения глубины выгорания зависит сила почвенного пожара:

- к слабым почвенным пожарам относятся те, глубина прогорания которых не превышает 25 см;
- средним — 25-50 см;
- сильным — более 50 см.

3) Пожары можно оценить по площади:

- загорание — огнём охвачено 0,1-2 гектара;
- малый — 2-20 га;
- средний — 20-200 га;
- крупный — 200-2000 га;
- катастрофический — более 2000 га;

4) При средней продолжительности лесных крупных пожаров около 10-15 суток, объём выгорающей площади может достигнуть 400-600 гектаров леса. [1]

### **Источники возгорания и причины пожаров**



Рисунок 1.1 – Горящие палы сухой травы

В большинстве случаев возникновение лесных пожаров обусловливается деятельностью человека.

Основная причина пожаров в 2010 году – прямое нарушение правил пожарной безопасности в лесах и на территориях, прилегающих к лесу. Причиной возникновения лесных пожаров, как правило, становятся палы сухой травы на прилегающих землях сельских хозяйств и нарушение людьми

простейших правил пожарной безопасности, как в лесах, так и на торфяниках [2].

Причиной колоссального масштаба лесных и торфяных пожаров стало прекращение профилактической деятельности по предупреждению пожаров, а также разрушение механизмов выявления и тушения пожаров на ранних стадиях. По сути, ликвидация государственной лесной охраны. Ситуацию усугубляет неопределенность статуса многих территорий, неясность зон ответственности подчинённых ведомств и организаций, отвечающих за тушение пожаров тех или иных территориях. Существуют неофициальные свидетельства, в которых говорится об умышленных поджогах леса, с целью последующего присвоения древесины при затрате небольших средств, к примеру, случай в Кораблинском районе Рязанской области [2].

Обострение ситуации с лесными пожарами в Европейской части России в 2010 г. началось ещё в апреле-мае, но органы государственной власти Московской, Ивановской, Нижегородских и Рязанских областей, факты скрывали или искажали данные о действительном положении дел. Так, массовые возгорания произошли в мае-июне, но только когда в июле огонь подступил к Дубровлагу и Федеральному ядерному центру в Сарове, власти, наконец, признали существование проблемы.[2]

С началом пожарного сезона, МЧС предоставляло заведомо недостоверную информацию о ситуациях с лесными пожарами, попросту из-за того что, источников информации о ситуации с лесными пожарами на некоторых участках просто не существовало. Официальная информация, получаемая от служб МЧС, порой, не соответствовала действительности. Заявления МЧС и ряда глав других регионов о готовности к любой сложности лесных пожаров, весной 2010 года, а также многочисленные утверждения сообщали населению и руководству страны недостоверные сведения о ситуации в целом. Роспотребнадзор и МЧС давали ложные сведения о пожарах на территориях загрязнённых радионуклидами.



## **1.2.ПРОТИВОПОЖАРНАЯ ПРОФИЛАКТИКА В ЛЕСАХ**

Под противопожарной профилактикой в лесах предусматривается проведение комплекса мероприятий, направленных на предупреждение возникновения лесных пожаров, ограничение их распространение и создание условий для обеспечения успешной борьбы с ними. Мероприятия проводятся на основе планов противопожарного устройства, составленных при лесоустройстве, или по специальному плану противопожарного устройства лесной территории региона. При составлении планов противопожарных мероприятий и объемы выполняемых работ по каждому лесхозу должны основываться на данных об уровне развития экономики района, степень хозяйственного освоения лесов, интенсивности ведения лесного хозяйства, фактической горимости лесов. На основе этих материалов лесхозы разрабатывают годовые планы текущих противопожарных мероприятий. При этом надо учитывать происходящие изменения в лесном фонде, причины возникновения лесных пожаров, социально-демографический состав виновников их возникновения, а также динамика погодных условий для соответствующего корректирования работы.

На участках лесного фонда и не входящих в лесной фонд лесов, загрязненных радионуклидами, мероприятия по противопожарной профилактике планируются и проводятся в соответствии рекомендациями с учетом требований нормативных и правовых актов, регламентирующих ведение лесного хозяйства на территориях России, подвергшихся радиоактивному загрязнению. Наибольший эффект от профилактических мероприятий может быть достигнут тогда, когда они проводятся по определенной системе противопожарной профилактики комплексно, целенаправленно и последовательно во времени.

## **1.3 МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ**

Учитывая, что в большинстве случаях лесные пожары возникают из-за неосторожного обращения огнем со стороны людей во время отдыха в лесах,

федеральный орган управления лесным хозяйством и его территориальные органы обязаны обеспечить:

- широкое проведение лесопожарной пропаганды среди населения в населенных пунктах, на местах массового отдыха людей по соблюдению правил пожарной безопасности;
- организацию лесной рекреации в целях сокращения неорганизованного притока людей, обеспечения пожарной безопасности в местах отдыха;
- организацию государственного пожарного надзора в целях контроля за соблюдением требований пожарной безопасности в лесах, установление причин возникновения лесных пожаров, выявление нарушителей и виновников возникновения лесных пожаров.

Влияние пожаров на население близлежащих городов;

В связи с тем, что пожары, в особенности продолжительные, загрязняют атмосферный воздух, что приводит к прямому вреду для здоровья населения, проживающего на территориях, примыкающих к лесам. В особенности подвержены риску органы дыхания и кровеносная система.

Анализируя исследования в Читинской области за последние несколько лет, чётко видно, что обращаемость населения за медицинской помощью в пожароопасный период в этой области увеличилась в 2-5 раз, при этом смертность выросла - в 8-15 раз.

В 2010-ом году стал, заметен рост заболеваемости сердечно-сосудистыми и заболеваниями верхних дыхательных путей, в особенности бронхиальной астмой. В период сильного задымления в г. Тольятти, резко выросло количество вызовов в медицинские учреждения до 2,5 раз, от 700-750 до 1160 в сутки [3].



Рисунок 1.2 - Задымление горящего леса

Даже при непродолжительном нахождении в задымленной зоне лесного пожара мелкодисперсные частицы, диаметром до 2,5 мкм, которые проникают в лёгкие, наносят серьёзный урон здоровью человека, приводят к обострению предшествующих заболеваний, уменьшают продолжительность жизни.

При лесных пожарах в 2010-ом году в атмосферный воздух было выброшено большое количество загрязняющих веществ, в их числе продукты горения, химически активные вещества, органические соединения и т.п. Оксид углерода, поступивший в лёгкие, ограничивает доступ кислорода к кровеносной системе человека. В группу риска при нахождении в задымленной области попадают, прежде всего, пожилые люди, беременные женщины, дети и лица, непосредственно страдающие заболеваниями дыхательных путей.

Сильная засуха в средней полосе России стала настоящим бичом, став причиной гибели растений, и к тому же, вызвало немало пожаров по стране. По данным, предоставленным, Министерством здравоохранения и социального развития в областях, попавших в зону аномальной жары и лесных пожаров, возросла смертность населения. Увеличение смертности населения в июле 2010 года, по сравнению с прошлым годом и месяцем, составило во Владимирской области 17,4 %, в Ивановской области — 17,3 %, в Московской и Тульской областях — по 16,3 %, в Татарстане — 15,6 %, в

Рязанской области — 13,4 %, в Ульяновской области — 12 %, в Тамбовской области — 11,2 % [2].

Пиковое значение наступило Москву, рост смертности там составил колоссальные 50,8 % [6]. По словам, главы Департамента здравоохранения Москвы Сельцовского, во время аномальной жары число смертей в Москве увеличилось 2.1%: «В обычные дни умирает 355—385 человек в день, а сейчас, это число выросло в 2 раза и достигло 700 человек». Ущерб экономике страны от аномальной жары на август 2010 года составил около 15 миллиардов долларов.

## **1.4 МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ И ОГРАНИЧЕНИЮ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ**

Предупреждение и ограничение распространения пожаров в лесах достигается проведением мероприятий по повышению пожароустойчивости лесов: регулирование их состава; санитарные рубки; очистка от захламленности; создание на территории лесного фонда системы противопожарных барьеров, ограничивающих распространение возможных пожаров; устройство сети дорог и водоемов, позволяющих быстрее обеспечить локализацию пожаров.

Для предотвращения природных пожаров и минимизации их воздействий на окружающую среду необходимо произвести:

- восстановление федерального лесного ведомства, при котором охрана и рекультивация лесов, стали бы приоритетными задачами;
- резко увеличить расходы на охрану и восстановление лесов;
- восстановить централизованную систему авиационной охраны лесов.

*О преимуществах авиационных технологий можно сказать отдельно следующее:*

- наиболее высокая скорость доставки огнетушащих средств до источников лесного пожара;

- наибольшая эффективность одномоментной атаки с воздуха на очаг возгорания;
- мобильность и отсутствие проблем наземных способов доставки, к примеру, возможность доехать до места возгорания;
- повышенная безопасность тушения лесных пожаров для людей.

*К основным недостаткам авиационного способа тушения пожаров можно отнести:*

- стоимость подобных работ, намного выше, нежели с наземными средствами тушения;
- необходимость постоянных дозаправок;
- невозможность полной ликвидации лесных пожаров без участия наземных сил, средств пожаротушения.

*Основные цели применения авиационных методов тушения:*

- снижение интенсивности горения на кромке пожара и создание благоприятных условий для последующего тушения лесного пожара наземными силами;
- замедление распространения лесного пожара до непосредственного подхода наземных сил, а также средств пожаротушения.

## **2. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, ОПИСЫВАЮЩИЕ ПРОЦЕСС РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ**

Анализ характеристик верховых и низовых лесных пожаров показывает их зависимость от конкретных условий проведения экспериментов и недостаточно высокую точность, обусловленную тем, что в реальных условиях невозможно контролировать метеорологическую обстановку и однородность слоя ЛГМ. Поэтому физическое моделирование лесных пожаров необходимо сочетать с математическими экспериментами. Объектом исследования в этом случае является не натура, а математическая модель лесного пожара, которая представляет собой систему дифференциальных уравнений в частных производных с соответствующими начальными и граничными условиями. Вместо дифференциальных могут использоваться интегральные или функциональные уравнения. Вывод системы уравнений, граничных и начальных условий и последующее базу данных можно учесть влияние сезонных изменений ЛГМ в заданных районах на скорость распространения лесных пожаров и их энергетику [8].

Общая математическая модель лесных природных пожаров – своеобразный эталон точности физико-математического описания разных типовых лесных пожаров, который позволяет оценивать полноту и точность более простых и удобных для практических целей моделей. С её помощью можно получить критерии подобия и понять влияние различных физико-химических факторов на характеристики и энергетику лесных пожаров. Используя современные численные методы удастся определить поля скорости, температур, концентраций компонентов, плотности, тепловых потоков и дать прогноз развития лесного пожара в заданном районе с учетом сезонных изменений свойств ЛГМ. Поскольку из-за требований экологической безопасности крупномасштабные эксперименты в натуральных условиях недопустимы, математическое моделирование лесных пожаров с использованием представленной выше модели является единственным

способом изучения природы, предельных условий распространения, структуры фронта пожара и его энергетики.

### *Классификация математических моделей распространения лесных пожаров*

Объектом моделирования на фундаментальном уровне является горение. Такие модели основываются на законах тепломассопереноса и газовой динамики, физико-химических характеристиках горючих материалов (теплотворная способность, элементарный состав, зольность, плотность, влагосодержание и др.), характеристиках состояния среды (температура, относительная влажность воздуха, направление и скорость ветра, показатели турбулентности атмосферы и др.). Моделирование на этом уровне необходимо в качестве основы для создания моделей тактического уровня.

Объектом тактического моделирования является пожар в целом. Такая модель должна прогнозировать контур пожара и площадь, охваченную огнем, а также рассчитывать ожидаемый периметр пожара. Важнейшие характеристики пожара в данном случае: его вид и интенсивность, скорость продвижения кромки, высота пламени и др. Тактическое моделирование необходимо для разработки плана ликвидации пожара. Основные потребители результатов расчетов по таким моделям – руководители служб тушения предприятий лесного хозяйства и подразделений авиационной охраны лесов.

Объект стратегического моделирования – вспышки пожаров, то есть одновременное массовое их возникновение. Модель вспышки позволяет прогнозировать охват территории и время прохождения надвигающегося циклона, а также распределение по территории пожаров, которые могут возобновляться. Потребителями прогнозов по этим моделям будут руководители масштаба области, страны.

В каждой пространственной модели лесного пожара в дополнение к уравнениям распространения пожара используется метод отображения геометрической информации, которая описывает геометрическую структуру

местности, на которой распространяется пожар, и форму пожара. Под геометрической структурой местности будем понимать геометрические формы, размеры и расположение однородных ее участков, а также рельеф.

Типичными формами представления геометрической информации о местности являются:

- нерегулярная сеть точек;
- регулярная сеть точек;
- множество полигонов;
- изолинии.

Нерегулярная сеть точек представляет собой множество произвольно расположенных точечных объектов, атрибутами которых являются значения характеристик местности в данной точке. Обработка данных в таком представлении во многих случаях довольно сложна.

Регулярная сеть задаётся равномерно расположенными в пространстве точками достаточной густоты. Особенно ценно, когда они получены не интерполяцией из нерегулярных, а путём проведения измерений по регулярной сети. От них легко перейти к любой другой форме представления.

При представлении геометрической информации множеством полигонов каждый однородный участок местности моделируется полигоном, граница которого задается либо ломаной, либо плавной кривой линией.

Хотелось бы отметить, что способ представления геометрической информации о местности с помощью полигонов, границы которых задаются ломаными линиями, является наиболее удобным по следующим причинам:

1) таксационное описание лесничества содержит информацию по каждому выделу, который можно представить в виде полигона;

2) современные программные средства работы с картографическими объектами позволяют автоматически представить полигон в виде ломаной линии путем задания координат ее вершин. Способ представления изолиниями применяется, в основном для моделирования рельефа. Его



недостатком является то, что такая модель рельефа не содержит никакой информации о поведении поля между изолиниями.

Недостатком этого способа представления геометрической информации является также то, что по одним и тем же исходным данным (обычно это точки нерегулярной сети) интерполяция и последующее проведение линий, являющихся изолиниями, могут быть реализованы не единственным способом.

Представить местность в виде сети точек позволяет ячеечная технология. Ячеечная технология – это наиболее используемый в моделях распространения пожара метод [2]. При этом каждая из ячеек имеет набор характеристик (таких, как уклон местности, тип топлива и других).

Кроме моделирования геометрической структуры местности ячеечная технология используется для представления геометрической формы пожара. В этом случае решетка из ячеек используется как для создания слоев входных данных, так и в качестве шаблона для визуализации процесса распространения пожара. Для каждой ячейки в решетке можно задать правила распространения огня. На основе этих правил, исходя из текущего состояния ячейки, определяется ее будущее состояние, а также скорость распространения пожара по решетке. Если ячейка определена как «горящая», то пожар из этой ячейки на следующей итерации может распространяться на любую из соседних ячеек. Правила, согласно которым определяется скорость распространения пожара, обычно основаны на физических процессах. Поэтому ячеечная технология может применяться для широкого набора условий.

Преимущество использования ячеечной технологии для моделирования распространения пожаров состоит в простоте ее компонентов, используемых для моделирования поведения пожара. Однако существует два основных недостатка, связанных с использованием ячеечной технологии при моделировании геометрической формы пожара. Первый недостаток состоит в том, что пожар в реальности не распространяется по

ячейкам. В связи с регулярной сеткой ячеек и ограничениями в направлении скорости распространения, прогнозируемые размер и форма пожара могут отличаться от реальности [3]. Вторым недостатком является в случае, когда соседние ячейки не однородны, то есть содержат ЛГМ различной природы. При большом количестве ячеек и большом разнообразии типов лесных горючих материалов точность модели существенно снижается [3]. Попыткой избежать этих недостатков стала технология распространения эллиптических волн.

## **2.1 КОНЦЕПЦИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ВОЛН**

Концепция распространения эллиптических волн была впервые предложена Христианом Гюйгенсом в 1678 году для объяснения движения световых волн [3]. В 1975 году, Ричардс применил эту концепцию к описанию распространения пожара [4]. Он аналитически вывел дифференциальное уравнение распространения пожара от точечного источника. Его теория применима при моделировании пожара, когда определена точка возгорания или периметр в виде набора регулярных точек, которые можно рассматривать как локальные источники. Предполагается, что из этих точек пожар распространяется эллиптически. При этом размер и форма каждого эллипса определяются локальными условиями. В каждый момент модельного времени форма пожара строится на основе объединения всех элементарных эллипсов. Местность чаще представляется в виде множества полигонов, чем в виде решетки.

Технология распространения эллиптических волн помогает избежать некоторых проблем, возникающих при использовании ячеечной технологии: уменьшить неточности при моделировании размера и формы пожара [3], ускорить процесс вычислений [4].

Однако технология эллиптических волн имеет некоторые недостатки. Одним из недостатков является сложность ее применения в результате того, что требуется некоторая искусственная регулировка. Она должна обеспечить

такие условия, при которых локальные пожары от элементарных источников не перекрываются, а источники воспламенения на периметре остаются равноудаленными друг от друга. В качестве недостатка можно также выделить то, что технология эллиптических волн использует параметры, вычисленные с использованием набора тестовых пожаров. Поэтому при ее использовании необходимо допущение о том, что топливо, погода и топография подобны тем, при которых вычислены параметры.

Одна из проблем, затрудняющая использование физических моделей пожаров самостоятельно, связана с тем, что для применения таких моделей требуется большое количество разнородных исходных данных, характеризующих область местности, на которой развивается пожар, а также метеоусловия. Факел пламени распространяется в трехмерном пространстве. Таким образом, для повышения точности модели необходимо рассматривать физико-химические процессы, развивающиеся в объеме. Зона пожара, в которой протекают эти процессы, многофазна, то есть состоит из набора относительно однородных пространственных элементов (газово-воздушная фаза, ствол дерева, крона дерева). Это затрудняет ее представление в виде непрерывной среды. Исходные данные, характеризующие форму, размеры и расположение пространственных элементов зоны пожара, слабо структурированы. Физическая модель не позволяет формализовать эти данные. Что касается данных, характеризующих метеоусловия, то они не точны.

Для создания эффективных методов пожаротушения, а также для определения потенциального ущерба, который может принести пожар, важно уметь прогнозировать глобальные характеристики пожара, связанные с его геометрической формой, такие, как площадь, периметр, конфигурация кромки. Эту цель преследовали авторы уже самых ранних работ по моделированию пожаров.

Геометрическая форма пожара задается с помощью описания его контура. Контур пожара задается либо аналитически, либо с помощью численных методов.

Теоретические основы оперативного прогнозирования контуров лесных пожаров с помощью аналитических выражений заложены в аналитической теории контуров лесных пожаров [5], которая, однако, еще не поставлена на достаточно строгую математическую основу.

Аналитическая теория контуров лесных пожаров основывается на исходящем из опыта специалистов-лесопирологов и работников авиалесоохраны заключении о том, что наружная граница кромки пожара в каждый момент времени представляет собой одну или несколько непрерывных линий. Аналитическое описание этих линий и есть главная задача аналитической теории контуров.

Существующие модели движения контуров, как правило, основываются на ряде упрощающих предположений. Основные гипотезы:

- гипотеза нормальной скорости;
- гипотеза Маркштейна;
- гипотеза точечного источника. [5]

Гипотеза нормальной скорости состоит в том, что каждая точка контура перемещается в пространстве независимо от соседних точек в направлении внешней нормали к контуру.

При этом скорость ее движения (нормальная скорость) зависит от свойств горючего, скорости ветра, наклона местности, от углов, образованных нормалью к линии контура и направлением ветра. Недостаток гипотезы состоит в том, что она хорошо работает только при описании выпуклых контуров. На вогнутых участках контура предположение о независимости перемещения каждой точки контура может привести к образованию изломов и петель.

В результате отказа от предположения о независимом перемещении каждой точки контура горения гипотеза Маркштейна [5] лишена основного

недостатка, присущего предыдущей гипотезе. Маркштейн на основе анализа экспериментальных данных выяснил, что скорость распространения горения зависит от кривизны фронта пламени. Локальная скорость распространения фронта пламени возрастает в точках, где фронт горения вогнут в сторону движения огня, и уменьшается в точках, соответствующих выпуклым участкам фронта.

Согласно гипотезе точечного источника считается, что каждая точка кромки пожара является элементарным источником (очагом) распространения огня. Горение из каждого такого источника распространяется во всех направлениях, где имеется горючее. Скорость в определенном направлении зависит от угла, образованного данным направлением с направлением ветра и склона. Положение внешней границы кромки определяется огибающей ко всем элементарным направлениям.

В [5] рассматривается задание нормальных скоростей движения контуров с учетом ветра и уклона местности. Эти факторы учитываются отдельно с помощью специальных множителей, которые называются индикатрисами нормальной скорости.

При этом величина нормальной скорости представляется в виде:

$$v_n(x,y,t,\alpha,\gamma,w,s) = v_0(x,y,t,w,s) * \chi_{nw}(\alpha,w) * \chi_{ns}(\gamma,s),$$
 где  $v_0(x,y,t,w,s)$  - скорость движения фронта пламени в направлении ветра и вверх по склону,  $\chi_{nw}(\alpha,w)$  - индикатриса нормальной скорости для ветра,  $\chi_{ns}(\gamma,s)$  - индикатриса нормальной скорости для склона,  $\alpha$  - угол между нормалью к контуру и направлением ветра,  $s$  - вектор градиента (наиболее крутого подъема) местности,  $\gamma$  - угол, определяемый соотношением  $|s|$  - величина уклона местности,  $w$  - вектор скорости ветра,  $|w|$  её величина скорости ветра.

До настоящего времени не разработано методов для аналитического или численного расчета индикатрис. В [5] предлагается аппроксимировать их аналитическими выражениями, исходя из экспериментальных данных. При этом оценивать вид индикатрис по форме экспериментальных пожаров

можно только при относительно малых размерах пожаров. Большие по площади пожары имеют сложную форму, и оценка индикатрис для них требует разработки специальных методов идентификации.

Аналитический расчет движения контуров пожара применим только в простейших случаях: при движении огня по пространственно однородному слою горючего, без препятствий и разрывов. При реальном пожаре эти условия, как правило, не выполняются.

Учесть реальные обстоятельства аналитическим путем невозможно, поэтому неизбежным становится применение численных методов.

При разработке численных методов построения контуров пожаров исходят из тех же гипотез о движении кромки пожара, которые используют при выводе аналитических выражений.

## **2.1 СПОСОБЫ ОПИСАНИЯ КОНТУРОВ ПОЖАРА**

Существует два основных подхода к описанию контуров пожара численными методами:

- описание ломаной линией;
- описание плавной кривой линией.

Выбор того или иного подхода зависит от используемого способа дискретизации лесной территории. При аппроксимации лесной территории сеточной структурой контуры, как правило, описываются ступенчатой линией. При описании лесной территории совокупностью замкнутых фигур (полигонов), контур описывается плавной или ломаной линией, а алгоритм его расчета является численной аппроксимацией уравнения движения контура.

Контур пожара определяется набором узлов, принадлежащих или не принадлежащих регулярной сетке, которые могут соединяться ступенчатой, ломаной или плавной кривой линией. В каждый момент времени строится новый набор узлов. Это делают различными путями: от каждого узла по нормали к линии контура откладывают скорость (если контур задается

плавной кривой линией), вокруг каждого узла строят эллипс с использованием волновой теории Гюйгенса и др.

Сеточные модели могут быть детерминированными или стохастическими. К одной из детерминированных сеточных моделей относится алгоритм Дэйкстра [5]. Он исходит из гипотезы о точечных источниках. Лесная территория согласно данному алгоритму аппроксимируется квадратной решеткой. Каждый узел сетки в определенный момент времени может находиться в одном из состояний: не горел, горит, уже сгорел и впредь не может загореться. Процесс распространения пожара состоит в передаче горения от горящих узлов ко всем соседним с ними не горевшим. Основу алгоритма составляет предположение о том, что в первую очередь загорится узел, время перехода до которого из всех горящих узлов будет минимальным. Считается, что промежутки времени, необходимые для прохождения пламени между всеми соседними узлами, известны.

Алгоритм состоит в следующем. Выбирается начальный узел. Остальным узлам присваиваются числовые значения (метки), равные количеству времени, необходимому для достижения пламенем данного из начального узла. Каждая метка может быть временной или постоянной. Постоянные метки присваиваются узлам, которые достигаются из начала за минимальное время, а временные – узлам, время достижения которых превышает нижнюю грань минимального. При помощи итеративного процесса временно помеченные узлы преобразуются в постоянно помеченные. Процесс заканчивается тогда, когда все узлы оказываются помеченными постоянными метками.

Алгоритм Дэйкстра имеет следующий основной недостаток. Время прохождения огня между двумя узлами рассчитывается с учетом расстояния между этими узлами, которое аппроксимируется ломаной линией. Таким образом, происходит отставание сеточного решения от точного, и накапливается ошибка метода.

Среди стохастических сеточных моделей наиболее показательна модель распространения пожара Воробьева О.Ю. [6]. Пожар здесь рассматривается как процесс случайного распространения на плоской квадратной решетке. Считается, что горение, возникнув в некотором узле, передается во все соседние узлы решетки в течение одного такта времени с определенными вероятностями. Каждая реализация процесса приводит к контуру случайной формы. Применение множественного метода Монте-Карло позволяет определить так называемую среднемерную область, занятую пожаром, и его средний контур. Подбор вероятностей перехода огня из каждого узла к соседним дает возможность определять средние контуры пожара в каждый момент модельного времени. Модель Воробьева исходит из гипотезы о точечных источниках, но лишена недостатка, присущего алгоритму Дэйкстра.

Применение методов среднемерного моделирования дает ряд преимуществ [6]:

- адекватность вероятностно-множественных моделей реальному пожару – явлению стихийному, геометрия которого случайна;
- отсутствие в моделях ограничений на геометрическую форму и связность контуров пожаров;
- удовлетворительная для практики погрешность среднемерного прогноза геометрической формы, площади и периметра пожара;
- простота построения соответствующих вычислительных алгоритмов и программ для ЭВМ;
- возможность эффективного использования исходных данных о пожарах в существующих формах (например, в виде аэрокосмической информации о текущем состоянии лесного пожара и окружающей среды);
- модель универсальна и имеются перспективы ее применения не только для описания низовых пожаров, но и для верховых.

Однако методы среднемерного моделирования не лишены недостатков. Прогноз распространения пожара строится на основе



фактических экспериментальных данных о геометрии пожара в определенные моменты времени в конкретных природных условиях.

Поэтому получаемая модель жестко привязана к тем природным условиям, при которых были получены эти данные, и при применении ее в других условиях будет работать некорректно. Причем, даже если моделирование будет проводиться на определенной местности, на основе экспериментальных данных, полученных ранее для той же местности, оно все равно не будет адекватно отражать действительность, так как экспериментальные данные наверняка были получены при других метеоусловиях (силе, скорости ветра, влажности воздуха).

## **2.2 ФИЗИЧЕСКАЯ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

В данной работе на основе экспериментальных данных [8] дается упрощение общей физической модели и ее дальнейшее развитие с целью математического описания распространения плоского фронта верхового лесного пожара. Опираясь на физические представления, формулируется основная система уравнений, в рамках которой считается, что перенос энергии от фронта пожара осуществляется турбулентной конвекцией, излучением.

При помощи приема осреднения основной системы уравнений по высоте полога леса получена упрощенная сопряженная постановка задачи о распространении верхового пожара. На основе этой постановки, используя понятие коэффициентов тепло-массообмена и допущение об изобаричности процесса, получена простая система одномерных уравнений для определения скорости распространения и структуры фронта. Численный анализ этой системы показал, что скорость распространения верхового пожара увеличивается с ростом скорости ветра, эффективного коэффициента турбулентной вязкости, объемной доли сухого органического вещества в пологе леса и массовой доли горючих газов в газообразных продуктах пиролиза. В то же время с ростом влагосодержания лесных горючих

материалов (ЛГМ) скорость распространения падает, и при некотором критическом влагосодержании горение прекращается. Исследована структура фронта верхового пожара. Установлено, что объемные доли сухого органического вещества и воды в жидко-капельном состоянии изменяются при пожаре настолько быстро, что можно говорить о бесконечно тонких фронтах высушивания и пиролиза.

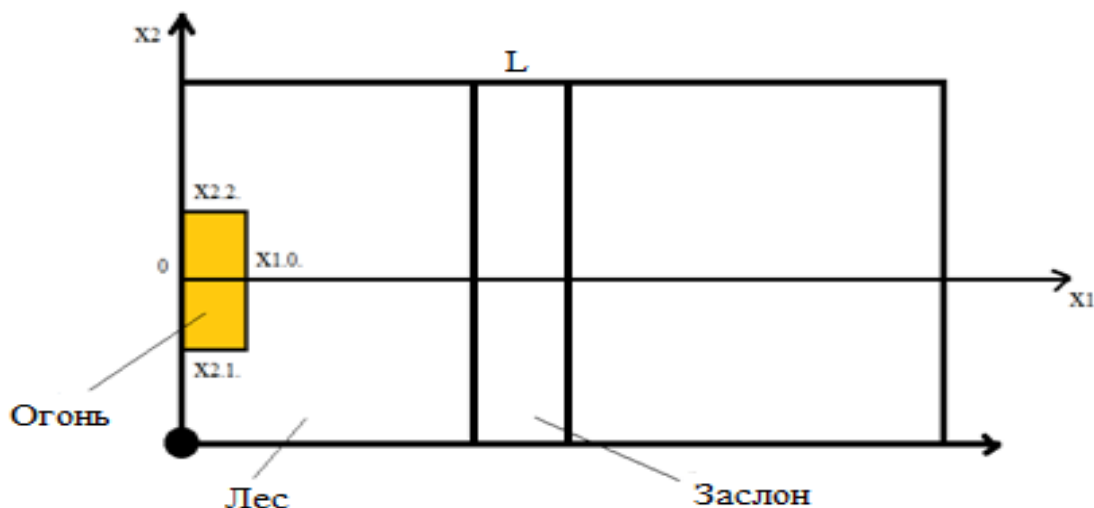
Пусть в протяженном в горизонтальном направлении лесном массиве имеется очаг верхового лесного пожара.

Считается, что:

- 1) течение носит развитый турбулентный характер, то есть молекулярным переносом пренебрегаем по сравнению с турбулентным,
- 2) плотность газовой фазы не зависит от давления из-за малости скорости течения по сравнению со скоростью звука,
- 3) полог леса считается недеформируемой средой.

Считается, что полог леса можно моделировать однородной, двух температурной, многофазной, пористой, реагирующей средой. Рассматривается так называемый продуваемый лесной массив, когда объемной долей конденсированной фазы лесных горючих материалов, состоящей из сухого органического вещества, воды в жидко - капельном состоянии и золы, можно пренебречь по сравнению с объемной долей газовой фазы, включающей в себя компоненты воздуха и газообразные продукты пиролиза и горения. Для описания переноса энергии излучением используется диффузионное приближение. Считается, что среда находится в локально-термодинамическом равновесии. Турбулентный конвективный перенос, обусловленный действием силы тяжести, описывается с использованием уравнений Рейнольдса. Известна скорость ветра над пологом леса в невозмущенных условиях. Также заданы параметры лесного массива. Необходимо описать картину возникновения и развития верхового лесного пожара. Тогда для описания конвективного переноса, обусловленного действием силы тяжести, используем уравнение Рейнольдса, а для переноса

энергии излучением - диффузионное приближение. На рисунке 1.3 изображена область распространения лесного пожара. Пусть в начальный момент времени центр очага лесного пожара расположен на левой границе расчетной области при  $0 < x_1 < x_{10}$  и  $x_{21} < x_2 < x_{22}$ . Ось  $x_1$  параллельно земной поверхности вправо и  $x_2$  направлена перпендикулярно  $x_1$



**Рисунок 2.2 – Область распространение огня**

В связи с тем, что характерные размеры лесного массива в горизонтальном направлении превышают высоту полога леса двумерную систему уравнений для распространения лесного пожара можно проинтегрировать по высоте полога леса. Данная выше задача сводится к решению следующей системы уравнений:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho V_j}{\partial x_j} = \dot{m} - (c^- - c^+)/h_{ij} = 1,2; \quad (1)$$

$$\rho \frac{dv_i}{dv} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\bar{p} \bar{v}_i * \bar{v}_j) - p s v_d v_i |\vec{v}| - p g_1 - \dot{m} v_1 + (\tau_1^- - \tau_1^+)/h; \quad i=1,2; \quad (2)$$

$$p c_p \frac{dT}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} (-p c_p v_j \bar{T}') - q_5 R_5 - \alpha_v (T - T_s) + (q_T^- - q_T^+)/h + k_g (c U_R - 4 \sigma T^4); \quad (3)$$

$$p \frac{dc_\alpha}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} (-p \bar{v}_j \bar{c}_\alpha') + R_{5\alpha} - \dot{m} c_\alpha + (J_\alpha^- - J_\alpha^+)/h, \quad \alpha = 1,5; \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_1} \left( \frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_1} \right) - k c U_R + 4k_g \sigma T^4 + 4k_s \sigma T_s^4 + (q_R^- - q^+ R)/= 0, \quad k = k_g + k_s; \quad (5)$$

$$\sum_1^4 \rho_1 c_{p1} \varphi_1 \frac{\partial T_s}{\partial t} = q_3 R_3 - q_2 R_2 + k_s (c U_R - 4 \sigma T_s^4) + \alpha_v (T - T_s); \quad (6)$$

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

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

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

$$R_{51} = -R_3 - \frac{M_1}{2M_2} R_5, R_{52} = \nu(1 - \alpha_c) R_1 - R_5, R_{53} = \alpha_6 R_1, \quad (9)$$

$$R_{54} = \frac{\alpha_4 w}{w + w_*} R_3, R_{55} = 0.$$

Для определения скоростей реакций пиролиза, испарения влаги, горения кокса, и летучих продуктов пиролиза используются формулы [3]:

$$R_1 = k_1 \rho_1 \varphi_1 \exp\left(-\frac{E_1}{RT_s}\right), R_2 = k_2 \rho_2 \varphi_2 T_s^{-0.5} \exp\left(-\frac{E_2}{RT_s}\right), \quad (10)$$

$$R_3 = k_3 \rho \varphi_3 s_\sigma c_1 \exp\left(-\frac{E_3}{RT_s}\right), R_5 = k_5 M_2 \left(\frac{c_1 M}{M_1}\right)^{0.25} \frac{c_2 M}{M_2} T^{-2.25} \exp\left(-\frac{E_5}{RT}\right).$$

Начальные и граничные условия будут иметь следующий вид

$$t = 0: v_i = 0, T = T_e, c_\alpha = c_{\alpha e}, T_s = T_e, \varphi_k = \varphi_{ke}; \quad (11)$$

$$x_1 = -x_{1e}: v_1 = V_e, V_2 = 0, T = T_e, c_\alpha = c_{\alpha e}, -\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_1} + \frac{c U_R}{2} = 0; \quad (12)$$

$$x_1 = x_{1e}: \frac{\partial v_1}{\partial x_1} = 0, \frac{\partial v_2}{\partial x_1} = 0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_1} = 0, \frac{\partial T}{\partial x_1} = 0, \frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_1} + \frac{c U_R}{2} = 0, \quad (13)$$

$$x_1 = -x_{2e}: \frac{\partial v_1}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial v_2}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial T}{\partial x_2} = 0, -\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_2} + \frac{c U_R}{2} = 0; \quad (14)$$

$$x_2 = x_{2e}: \frac{\partial v_1}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial T}{\partial x_2} = 0, \frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_2} + \frac{c U_R}{2} = 0. \quad (15)$$

Значения функции в очаге зажигания на напочвенном покрове задаются в зависимости от времени.

$$T = T_s = \begin{cases} T_e + \frac{t}{t_0} (T_0 - T_e), & t \leq t_0 \\ T_e + (T_0 - T_e) \exp\left[-k\left(\frac{t}{t_0} - 1\right)\right], & t > t_0 \end{cases} \quad (16)$$

Следующие обозначения в системе уравнений (1)-(9), начальных и граничных условиях:  $R_1 - R_3$ ,  $R_{5\alpha}$  – скорости химических реакций пиролиза, испарения, горения твердых и газообразных продуктов пиролиза, образования сажи и пепла и образования  $\alpha$  – компонентов газодисперсной фазы;  $t_0$  – время формирования очага горения,  $c_{pi}$ ,  $\rho_i$ ,  $\varphi_i$  – удельные теплоемкости, истинные плотности и объемные доли  $i$  – ой фазы (1 – сухое органическое вещество, 2 – вода в жидко-капельном состоянии, 3 – конденсированные продукты пиролиза, 4 – минеральная часть, 5 – газовая фаза);  $T$ ,  $T_s$  – температура газовой и конденсированной фаз;  $c_\alpha$  – массовые концентрации ( $\alpha=1$  – кислород, 2 – горючие продукты пиролиза, 3 – инертные компоненты);  $p$  – давление;  $U_R$  – плотность энергии излучения;  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана;  $k$ ,  $k_g$ ,  $k_s$  – коэффициенты ослабления и поглощения для газовой и конденсированной фаз;  $\alpha_V$  – коэффициент обмена между фазами,  $q_i$ ,  $E_i$ ,  $k_i$  – тепловые эффекты, энергии активации и предэкспоненты реакций пиролиза, испарения, горения кокса и летучих

продуктов пиролиза;  $s_\sigma$  – удельная поверхность элемента лесных горючих материалов;  $M_\alpha$ ,  $M_c$ ,  $M$  – молекулярные веса компонентов газовой фазы, углерода и воздуха;  $s$ ,  $c_d$  – удельная поверхность фитомассы и коэффициент сопротивления лесных горючих материалов;  $c$  – скорость света;  $v_i$  – компоненты проекции скорости на оси  $x_i$ ;  $\alpha_c$ ,  $\nu$  – коксовое число и массовая доля горючих газов в газообразных продуктах пиролиза;  $\dot{m}$  – массовая скорость образования газовой фазы;  $g$  – гравитационная постоянная. Индексы "0" и "e" относятся к значениям функций в очаге горения и на большом расстоянии от зоны пожара соответственно. Индексами " ' " обозначены пульсационные составляющие.

### **МЕТОД РЕШЕНИЯ**

В работе приводятся результаты математического моделирования распространения верхового лесного пожара. Система уравнений с начальными и граничными условиями приведена к дискретной форме с помощью метода контрольного объема [28].

Расчётную область разбиваем на некоторое число не пересекающихся контрольных объёмов. Затем исходную систему уравнений интегрируем по каждому контрольному объёму.

Из системы уравнений (1) - (15) получен дискретный используя метод контрольного объема [28]. Полученная система алгебраических уравнений решалась методом *ADI* [28]. Алгоритм решения данной задачи включает метод расщепления по физико-химическим процессам, то есть на первом шаге определялось поле скорости и далее решали уравнения химической кинетики, с учетом химических источников в уравнениях. Временной шаг для интегрирования системы обыкновенных дифференциальных уравнений выбирали автоматически. Для расчета полей скорости использовался алгоритм SIMPLE [28].

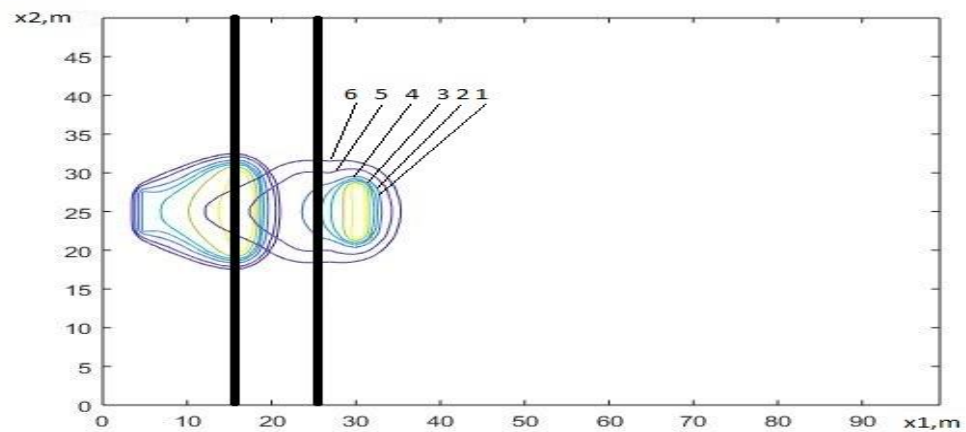
## **2.3 РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ РАСЧЕТОВ И ИХ**

### **АНАЛИЗ**

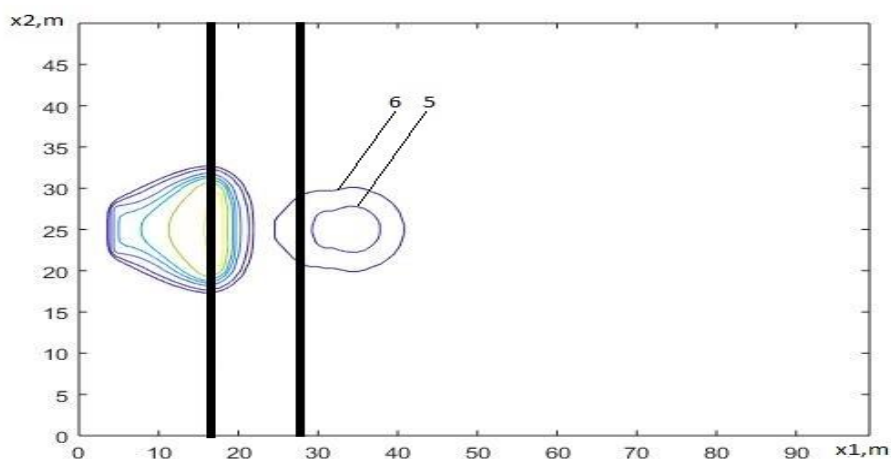
На основе изложенной математической модели проводились

численные расчеты по определению картины процесса возникновения верхового лесного пожара в результате зажигания полога леса от заданного очага горения. В результате численного интегрирования получены поля скорости, изотермы температур. Для визуализации полученных результатов и построения графиков используем программу MATLAB.

Первым рассматривался случай распространения фронта верхового лесного пожара при наличии противопожарного заслона в лесном массиве. Был проведён анализ влияния противопожарного заслона на динамику распространения фронта пожара при скорости ветра  $V_e = 5$  м/с и влагосодержании ЛГМ лесного массива равном 0.4. На Рисунке.2.1 представлены распределения изотерм в разные моменты времени ( $t_1=4$  с,  $t_2=6,5$  с) при распространении фронта верхового лесного пожара при наличии противопожарного барьера шириной 10 м. Результаты распределений изолиний температур (1 -  $\bar{T} = 5$ , 2 -  $\bar{T} = 4$ , 3 -  $\bar{T} = 3$ , 4 -  $\bar{T} = 2.5$ , 5 -  $\bar{T} = 2$ , 6 -  $\bar{T} = 1.5$ , 7 -  $\bar{T} = 1.3$ ). Как видно на рисунка огонь преодолевает данный заслон и распространяется дальше по лесному массиву.



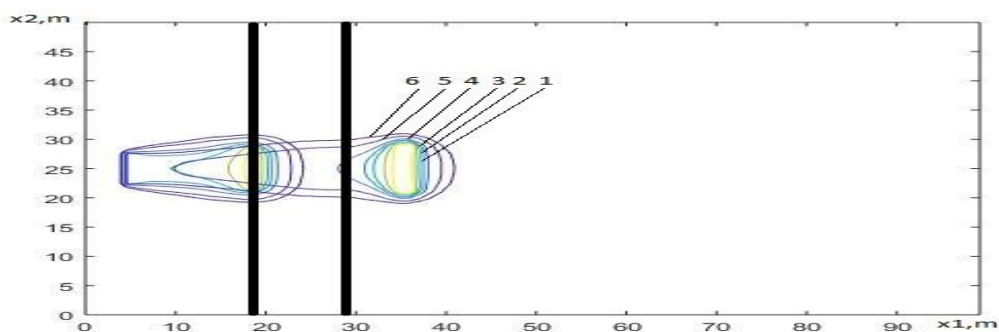
**Рисунок 2.1 – Распространение пожара при влагосодержании 0.4, скорость ветра 5 м/с. ширина заслона 10 метров.**



**Рисунок 2.2 – Распространение пожара при влагосодержании 0.4, скорость ветра 5 м/с. ширина заслона 13 метров**

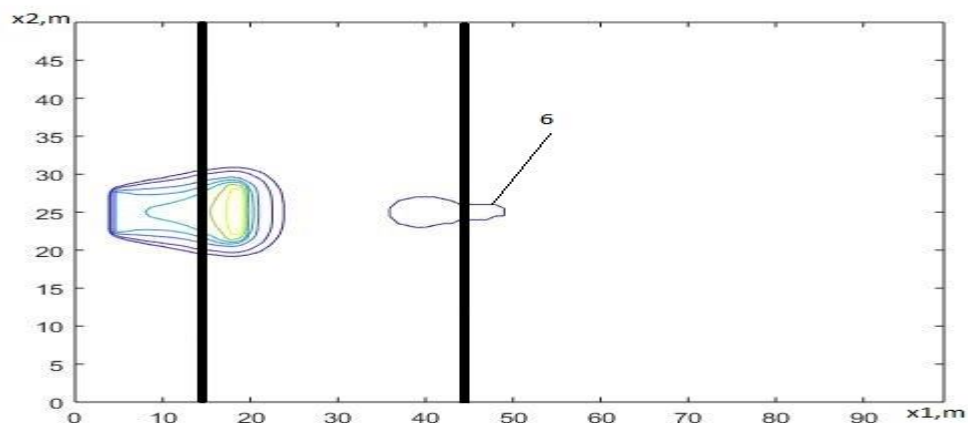
Далее был проведён расчёт при противопожарном заслоне размером 13 метров. Полученные результаты расчета изображены на Рисунке 2.2. Из анализа изотерм видно, что огонь не распространяется дальше при ширине заслона в 13 метров.

Затем рассматривались случаи распространения фронта верхового лесного пожара при наличии противопожарных заслонов других размеров. Был проведён анализ влияния противопожарного заслона на динамику распространения фронта пожара при скорости ветра  $V_e = 10$  м/с и влагосодержании ЛГМ лесного массива равном 0.4. На Рисунке.2.3 представлены распределения изотерм в разные моменты времени ( $t=3$  с,  $t=6,5$  с) при распространении фронта верхового лесного пожара при наличии противопожарного барьера шириной 15 м. Как видно из рисунка огонь преодолевает данный заслон и распространение пожара продолжается.



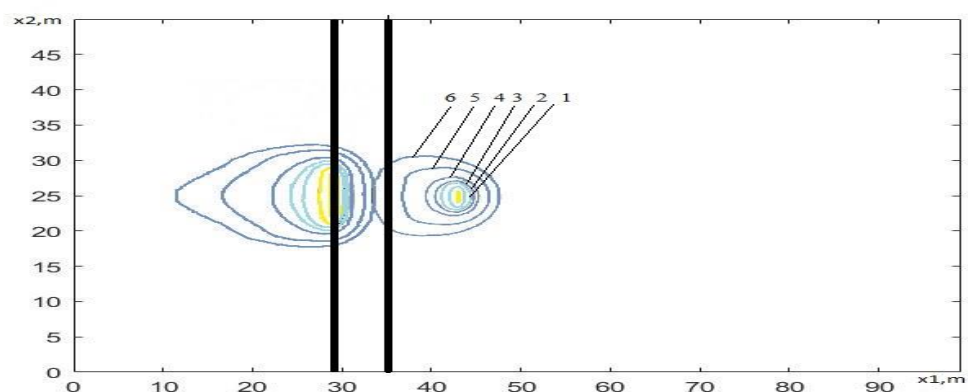
**Рисунок 2.3 – Распространение пожара при влагосодержании 0.4, скорость ветра 10 м/с, ширина заслона 15 метров**



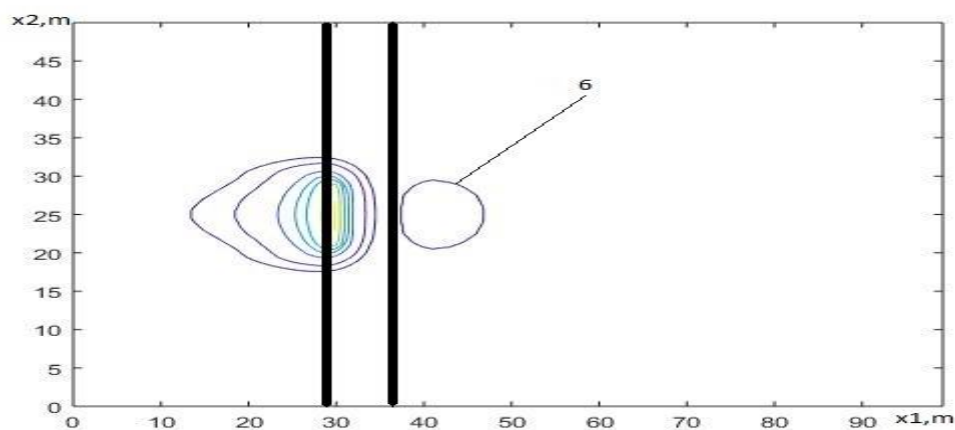


**Рисунок 2.4 – Распространение пожара при влагосодержании 0.4, скорость ветра 10 м/с. ширина заслона 30 метров**

В этом расчете в итоге видно, что огонь затухает при ширине барьера 30 метров, то есть дальнейшее распространение пожара не происходит. Также рассматривался случай распространения фронта верхового лесного пожара при наличии противопожарного заслона в лесном массиве. Был проведён анализ влияния противопожарного заслона на динамику распространения фронта пожара при скорости ветра  $V_e = 5$  м/с и влагосодержании ЛГМ лесного массива  $W = 0.66$ . На Рисунке.2.5 представлены распределения изотерм в разные моменты времени ( $t=4$  с,  $t=7,5$  с) при распространении фронта верхового лесного пожара при наличии противопожарного барьера шириной 5 м. Как видно на рисунка огонь преодолевает данный заслон и распространяется дальше по лесному массиву.



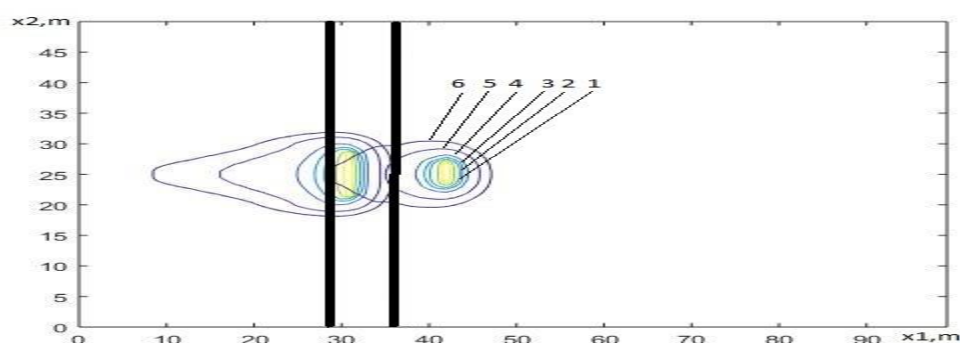
**Рисунок 2.5 – Распространение пожара при влагосодержании 0.66, скорость ветра 5 м/с. ширина заслона 5 метров**



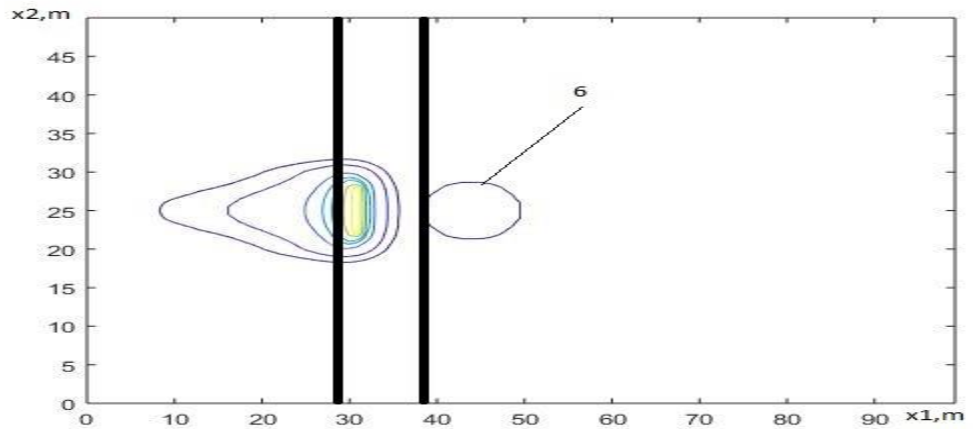
**Рисунок 2.6 – Распространение пожара при влагосодержании 0.66, скорость ветра 5 м/с. ширина заслона 7.5 метров**

Далее был проведён расчёт при противопожарном заслоне размером 7,5 метров. Полученные результаты расчета изображены на Рисунке 2.6. Из анализа изотерм видно, что огонь не распространяется дальше при ширине заслона в 7,5 метров.

Также был проведён анализ влияния противопожарного заслона на динамику распространения фронта пожара при скорости ветра  $V_e = 7$  м/с и влагосодержании ЛГМ лесного массива равном 0.66. На Рисунке.2.7 представлены распределения изотерм в разные моменты времени ( $t_1=3,5$  с,  $t_2=6,5$  с) при распространении фронта верхового лесного пожара при наличии противопожарного барьера шириной 7 м. Как видно из рисунка огонь преодолевает данный заслон и распространение пожара продолжается.



**Рисунок 2.7 – Распространение пожара при влагосодержании 0.66, скорость ветра 7 м/с. ширина заслона 7 метров**



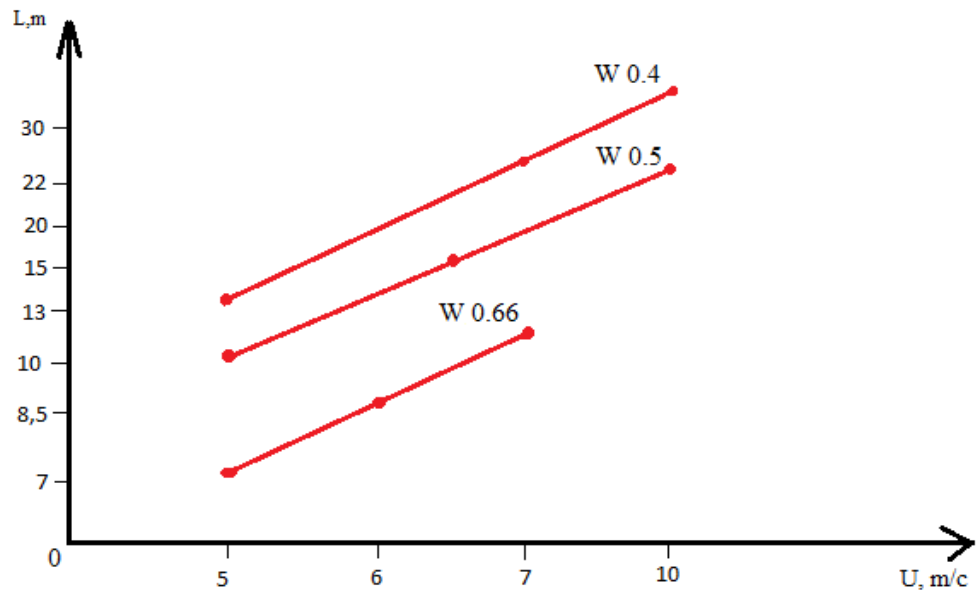
**Рисунок 2.8 – Распространение пожара при влагосодержании 0.66, скорость ветра 7 м/с. ширина заслона 10 метров**

Также был проведён расчёт при противопожарном заслоне размером 10 метров. Полученные результаты расчета изображены на Рисунке 2.8. Из анализа изотерм видно, что огонь не распространяется дальше при ширине заслона в 10 метров.

В результате расчетов было установлено, что при некоторых критических значениях размеров противопожарных заслонов, процесс горения во фронте пожара прекращается из-за больших затрат тепловой энергии на прогрев и сушку лесных горючих материалов, которые не компенсируются тепловыделением во фронте пожара. По изменению расположения изотерм для температуры горения можно отслеживать перемещение фронта лесного пожара с течением времени.

Исходя из этих всех расчетов были составлены таблицы скоростей ветра, влагосодержаний лесных горючих материалов и размеров заслонов при которых огонь не распространяется дальше.

На основании проделанных расчетов, получено график зависимости размеров противопожарных заслонов от скорости ветра при разных значениях влагосодержания лесных горючих материалов.(График 1.)



**Рисунок 2.9-Зависимость размеров противопожарных заслонов.**

Разработана математическая постановка двухмерной задачи распространения верхового лесного пожара при наличии противопожарных заслонов.

Проведены расчеты по разработанной математической модели.

Приводятся результаты условий распространения верхового лесного пожара при наличии противопожарных заслонов.

### **3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Целью данной работы является создание двумерной математической модели тепломассопереноса от верхового лесного пожара на основе законов механики сплошных сред и экспериментальных данных, и определение безопасного противопожарного разрыва и заслона в зависимости от параметров среды и лесного массива.

На рынке представлено большое количество программ, позволяющих решить различные задачи, связанные с моделированием. В числе прочих стоит отметить PHOENICS как представителя программ для решения широкого спектра задач, связанных с моделированием потока жидкости и газа. Также существует ряд программ, нацеленных на решение определенной задачи, например, wind2, рассматривающая верховые лесные пожары в сопряженной постановке и разрывы в лесных массивах.

Программа barrier представляет интерес, поскольку несколько расширяет круг выполняемых задач, требует меньших затрат времени для расчетов.

#### **3.1. ПРЕДПРОЕКТНЫЙ АНАЛИЗ**

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

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

Учитывая область наших исследований, которые направлены на обеспечение пожарной и экологической безопасности, можно выделить следующие сегменты рынка (таблица 3.1)

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

Таблица 3.1. Карта сегментирования рынка

	Параметры программ					
ВУЗ	Бесплатная версия		Оперативность		Расчет заслонов	
НИИ						
МЧС						
Лесная охрана						

	Wind2
	PHOENICS
	Barrier

Таким образом, видно, что основными конкурентными преимуществами программы barrier становится наличие бесплатной версии, оперативность и возможность расчета противопожарных заслонов.

Наиболее рациональным считаю ориентирование на МЧС и организации лесной охраны. Внедрение в научно-исследовательские организации требует наличия сертификатов точности, проверок и поверок, а использование в ВУЗах возможно, но более рационально использовать иные программы, с более широким спектром выполняемых задач для использования в различных областях.

### **3.1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения проводится с помощью оценочной карты, приведенной в таблице 3.2.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения подбирались, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом технических и экономических особенностей разработки, создания и

эксплуатации. Данная разработка сравнивается с альтернативными программными продуктами подобного класса: программа PHOENIX (K<sub>1</sub>) и wind2 (K<sub>2</sub>).

Таблица 3.2. – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии	Вес	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бф	Бк1	Бк2	Кф	Кк1	Кк2
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Повышение производительности труда	0,2	5	4	3	1	0,8	0,6
Удобство эксплуатации	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
Потребность в вычислительных ресурсах	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
Время, затраченное на 1 расчет	0,1	5	5	3	0,5	0,5	0,3
Выполняемые задачи	0,1	3	5	2	0,3	0,5	0,2
Экономические критерии эффективности							
Цена	0,2	5	2	5	1	0,4	1
Конкурентоспособность	0,1	4	5	3	0,4	0,5	0,3
Послепродажное обслуживание	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
Итого	1	36	35	28	4,6	4,1	3,6

Анализ конкурентных технических решений проводился по формуле:

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

• где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

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

•  $B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

После проведенного анализа, можно сделать следующие выводы:

1. Программа barrier являет собой оптимальное соотношение функциональности и упрощения и способна выполнять различные задачи за короткий промежуток времени.

2. Ближайшим конкурентом является Phoenix, однако в рамках выбранных сегментов рынка, его достоинства (математический аппарат, многофункциональность) не играют большой роли. На первое место встает оперативность, простота использования и интуитивно понятный интерфейс. Также уязвимость заключается в высокой цене – необходимо постоянно покупать и обновлять лицензию, что влечет дополнительные расходы. В то же время лицензия для barrier стоит дешевле и приобретается один раз.

### **3.1.3. SWOT – анализ**

SWOT-анализ проводится в несколько этапов.

На первом этапе мы описываем сильные и слабые стороны проекта, выявляем возможности и угрозы при его реализации, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Сильные стороны:

- С1 – высокая скорость работы.
- С2 – минимальное вмешательство пользователя.
- С3 – низкая стоимость.
- С4 – не требует специальных знаний при использовании.
- С5 – совместимость с другими программами.

Слабые стороны:

- Сл1 – программа работает только на английском языке.
- Сл2 – ограниченный круг решаемых задач.
- Сл3 – отсутствие визуализации.
- Сл4 – внесение изменений в программу невозможно.
- Сл5 – отсутствие графической оболочки.

Возможности:

- В1 – возможно использование в научных, образовательных и прикладных целях.
- В2 – решение задач как с разрывами, так и с заслонами.
- В3 – широкомасштабное продвижение в структурах МЧС при взаимодействии кафедры и ЦУКС.

Угрозы:

- У1 – наличие программ с аналогичным функционалом.
- У2 – без финансирования становится невозможным приобретение программы.
- У3 – создание более совершенных программ – быстрых и точных.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это



соответствие или несоответствие должно быть направлено на выявление степени необходимости проведения стратегических изменений (таблица 3.3).

Таблица 3.3. Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта					Слабые стороны проекта				
		C1	C2	C3	C4	C5	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
Возможности проекта	B1	+	0	+	0	0	-	-	-	-	+
	B2	+	0	-	0	+	-	+	+	-	-
	B3	+	+	-	-	-	-	0	+	-	-
Угрозы для проекта	У1	+	0	+	+	+	0	+	+	0	+
	У2	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-
	У3	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+

В рамках *третьего этапа* составляем итоговую матрицу SWOT-анализа научно-исследовательского проекта (таблица 3.4).

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

Таблица 3.4 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны:</p> <p>C1 – высокая скорость работы.</p> <p>C2 – минимальное вмешательство пользователя.</p> <p>C3 – низкая стоимость.</p> <p>C4 – не требует специальных знаний при использовании.</p> <p>C5 – совместимость с другими программами.</p>	<p>Слабые стороны:</p> <p>Сл1 – программа работает только на английском языке.</p> <p>Сл2 – ограниченный круг решаемых задач.</p> <p>Сл3 – отсутствие визуализации.</p> <p>Сл4 – внесение изменений в программу невозможно.</p> <p>Сл5 – отсутствие графической оболочки.</p>
<p>Возможности:</p> <p>B1 – возможно использование в научных, образовательных и прикладных целях.</p> <p>B2 – решение задач как с разрывами, так и с заслонами.</p> <p>B3 – широкомасштабное продвижение в структурах МЧС при взаимодействии кафедры и ЦУКС.</p>	<p>B1C1C3; B2C1C5;</p> <p>Высокая скорость работы программы и низкая стоимость позволяют использовать программу как в научных, так и в прикладных целях. Важным направлением продвижения является МЧС, что становится возможным ввиду описанных преимуществ.</p>	<p>B1Сл5; B2Сл2Сл3; B3Сл3;</p> <p>Отсутствие визуализации и получение итоговых результатов только в числовой форме может отпугнуть потенциальных потребителей продукта. Ограниченная область применения программы позволяет более глубоко проработать тематику и выйти в лидеры на рынке программ для решения конкретной задачи.</p>

<p>Угрозы:</p> <p>У1 – наличие программ с аналогичным функционалом.</p> <p>У2 – без финансирования становится невозможным приобретение программы.</p> <p>У3 – создание более совершенной программ – быстрых и точных.</p>	<p>У1У3С1С3С4С5; У2С3С5;</p> <p>Отсутствие финансирования приведет не только к затруднению приобретения данной программы, но и к невозможности ее полноценной эксплуатации – невозможности приобретения программ для визуализации.</p> <p>Продвижение на рынок необходимо осуществлять, опираясь и совершенствуя сильные стороны.</p>	<p>У1У3Сл2Сл3Сл5; У2Сл2.</p> <p>Наличие программ с одинаковым и более широким функционалом может привести к потере части потребителей. Необходимо усиливать преимущества и устранять недостатки.</p>
---	---	--

### 3.1.4. Оценка готовности проекта к коммерциализации

Для оценки готовности проекта к коммерциализации необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	2	2
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	2	2
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	2	2
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	1	1
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	1	1
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	2	2
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	2	2
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	2
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	2	2
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	22	22

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i \quad (3.2)$$

где  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;

$B_i$  – балл по  $i$ -му показателю.

Результаты оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации на данном этапе показывают перспективность ниже среднего. Причиной этому является короткий срок работы с данным программным обеспечением и завершение исследования пока только лишь начальной стадии. Для продвижения на рынок необходимо разработать бизнес-план для данной работы и осуществить привлечение специалистов для углубленного и всестороннего изучения возможностей ПО barrier.

### **3.1.5. Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования**

Выделяют следующие методы коммерциализации научных разработок.

1. *Торговля патентными лицензиями;*
2. *Передача ноу-хау;*
3. *Инжиниринг;*
4. *Франчайзинг;*
5. *Организация собственного предприятия.*
6. *Передача интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия.*
7. *Организация совместного предприятия.*
8. *Организация совместных предприятий, работающих по схеме «российское производство – зарубежное распространение».*

При продвижении такой разработки, как программное обеспечение, наиболее рациональным, на мой взгляд, является торговля патентными лицензиями, ввиду специфики продукта. Разработка программного обеспечения предполагает продажу права использования (в данном случае,

бессрочно), но без права изменения или передачи иным лицам, то есть, имеется ввиду простая неисключительная беспатентная лицензия.

## 3.2. ИНИЦИАЦИЯ ПРОЕКТА

### 3.2.1 Цели и результат проекта

Таблица 3.6 – Заинтересованные стороны проекта

<b>Заинтересованные стороны проекта</b>	<b>Ожидания заинтересованных сторон</b>
Научно-исследовательские институты, высшие учебные заведения	Проведение исследований в области пожарной безопасности, моделирования лесных пожаров.
Исследовательские лаборатории и службы мониторинга промышленных предприятий	Проведение исследований и разработок в области экологической и пожарной безопасности.
Проектировочные организации и институты	Проведение исследований и разработок в области экологической и пожарной безопасности.
Федеральное агентство лесного хозяйства, управление МЧС России	Использование результатов исследований с целью проведения профилактических мероприятий в области пожарной безопасности. Возможность проведения оценки, анализа и прогноза лесных пожаров.

В таблице 3.7. представлена информация о целях проекта и критериях достижения целей.

Таблица 3.7 –Цели и результат проекта

<b>Цели проекта:</b>	Создание модели верхового лесного пожара, и определение размеров безопасного противопожарного разрыва и заслона.
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	Определение размеров безопасного противопожарного разрыва и заслона.
<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>	<b>Требования:</b>
	Использование программного обеспечения bartier для построения модели тепломассопереноса верхового лесного пожара.
	Определение размеров безопасного противопожарного разрыва и заслона. Применения полученных результатов в области пожарной и экологической безопасности.

### 3.2.2 Организационная структура проекта

На данном этапе работы были решены следующие вопросы: кто входил в рабочую группу данного проекта, определена роль каждого участника в данном проекте, прописаны функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте.

Таблица 3.8– Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, час.
1	Перминов В.А., Доктор физико- математических наук	Координация (руководитель проекта)	Координирование деятельности	84
2	Баймаков И.У. бакалавр отд. ОКД ИШНКБ	Выполнение (исполнитель проекта)	Выполнение исследовательской работы.	438
ИТОГО:				522

### 3.2.3 Ограничения и допущения проекта

В таблице 3.9 приведены факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта.

Таблица 3.9 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
1. Бюджет проекта	270 000 руб.
1.1. Источник финансирования	ОКД ИШНКБ
2. Сроки проекта:	06.02.2019 –01.06.2019
2.1. Дата утверждения плана управления проектом	01.02.2019
2.2. Дата завершения проекта	01.06.2019

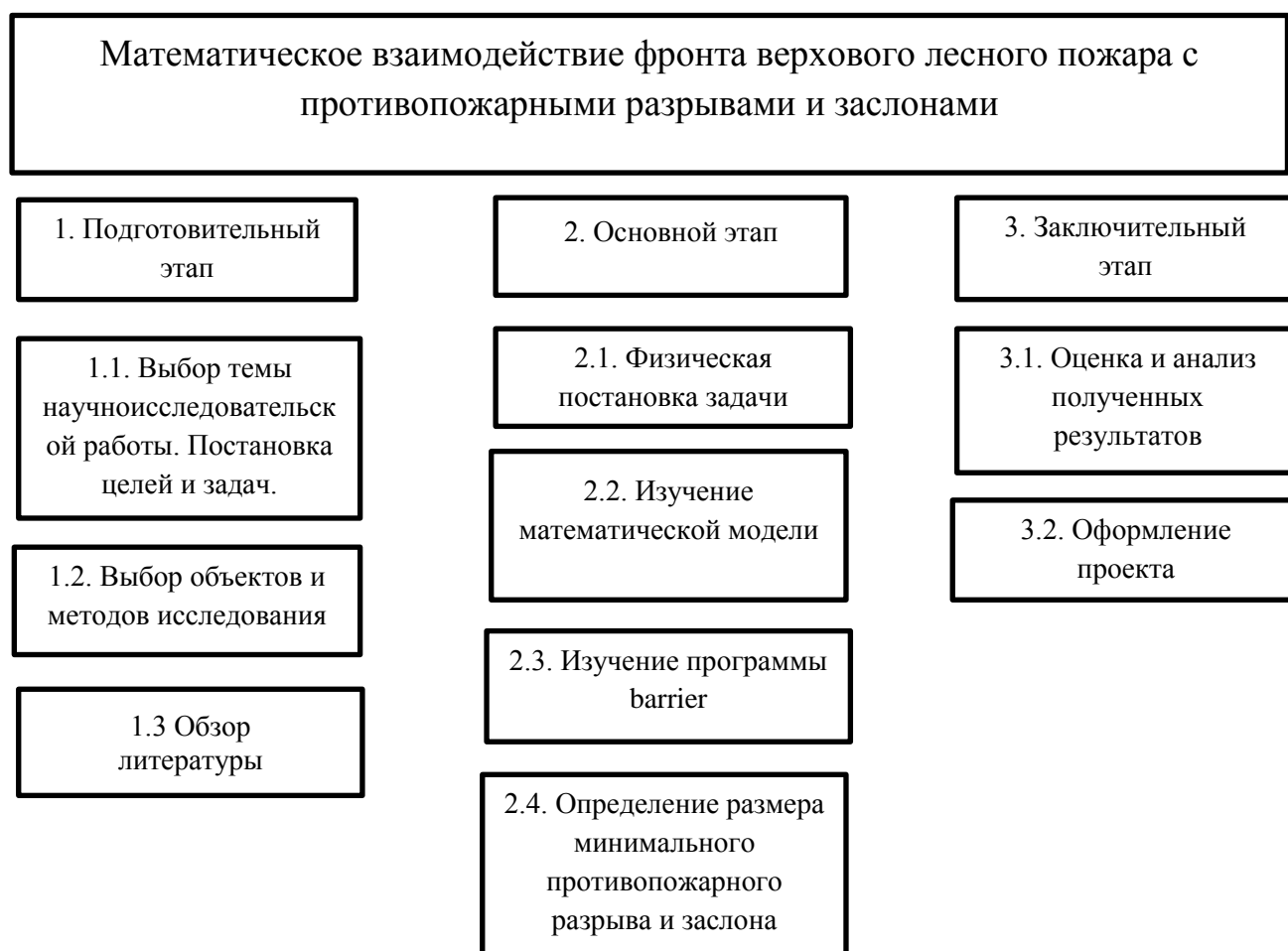
## 3.3. ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА РАБОТ ПРОЕКТА

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта (рисунок 3.1).

### 3.3.1 Контрольные события проекта

В рамках данного раздела необходимо определить ключевые события проекта, определить их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты. Данные сведены в таблицу 3.10.

Ключевыми событиями проекта является постановка цели и задач, аналитический обзор литературы по теме проекта, исследование в период прохождения научно-производственной практики, оценка и анализ полученных результатов и оформление проекта.



**Рисунок 3.1. – Иерархическая структура проекта**

*Таблица 3.10 – Контрольные события проекта*

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Выбор темы научно-исследовательской работы. Постановка цели и задач.	6.02.19-10.02.19	Приказ
2	Анализ литературы.	16.02.19-13.03.19	Отчет по НИР.
3	Исследования в период прохождения научно- производственной практики:	30.01.19-10.03.19	Отчет по научно-производственной практике. Защита НПП.
4	Оценка и анализ полученных результатов, оформление проекта.	11.05.19-9.06.19	Предзащита – участие в конференции. Защита проекта.

### 3.3.2 План проекта

В рамках планирования научного проекта был построен линейный график проекта (таблица 3.11).

Таблица 3.11 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1.1.	Выбор темы научно-исследовательской работы. Постановка целей и задач.	5			Баймаков И.У. Перминов В.А.
1.2.	Выбор объектов и методов исследования	3			Баймаков И.У. Перминов В.А.
1.3.	Обзор литературы	15			Баймаков И.У.
2.1.	Физическая постановка задачи	7			Баймаков И.У. Перминов В.А.
2.2.	Изучение математической модели	7			Баймаков И.У. Перминов В.А.
2.3.	Изучение программы barrier	5			Баймаков И.У. Перминов В.А.
2.4.	Определение размера минимального противопожарного разрыва и заслона	20			Баймаков И.У.
3.1.	Оценка и анализ полученных результатов	7			Баймаков И.У. Перминов В.А.
3.2.	Оформление проекта	15			Баймаков И.У.
Итого		84			

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

$$T_{Ki} = T_{pi} * k_{кал}$$

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

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

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{кал}} - T_{\text{кал}}}$$

где:  $T_{\text{кал}} = 365$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}} = 95$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}} = 14$  – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 95 - 14} = 1.43.$$

Диаграмма представлена в таблице 3.12.



Таблица 3.12 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Код работы	Вид работ	Исполнители	Тк, кал. дни	Продолжительность выполнения работ															
				февраль			март			апрель			май			июнь			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1			
1.1	Выбор темы научно-исследовательской работы. Постановка целей и задач.	Руководитель, студент	7	1	2														
1.2	Выбор объектов и методов исследования	Руководитель, студент	4		1														
1.3	Обзор литературы	Студент	21			1	2	3											
2.1	Физическая постановка задачи	Руководитель, студент	10					1	2										
2.2	Изучение математической модели	Руководитель, студент	10						1	2									
2.3	Изучение программы barrier	Руководитель, студент	7							1									
2.4	Определение размера минимального противопожарного разрыва и заслона	Студент	28									1	2	3					
3.1	Оценка и анализ полученных результатов	Руководитель, студент	10															1	
3.2	Оформление проекта	Студент	21															1	2



Студент



Руководитель

### 3.3.3 Бюджет научного исследования

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

#### 3.3.4.1. Расчет материальных затрат

В стоимость материальных затрат включают транспортнозаготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Расчет затрат на материалы представлен в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Затраты на материалы

№ п/п	Наименование	Единица измерения	Кол-во	Цена за единицу, руб	Сумма, руб.
1	Бумага	лист	100	0,5	50
2	Распечатка материалов	лист	200	2	400
3	Канцелярские принадлежности	набор	1	200	200
Всего за материалы, руб					650
Транспортно-заготовительные расходы (5%), руб					33
Итого, руб					683

#### 3.3.4.2. Затраты на оборудование и электроэнергию

Определение стоимости оборудования происходит по ценам из открытых источников.

Стоимость электроэнергии рассчитывается по формуле 3.2

$$C_{ЭП} = W_y * T_g * S_{эл}, \quad (3.5)$$

где  $W_y$  – установленная мощность, кВт (0,35 кВт);

$T_g$  – время работы оборудования, час;

$S_{эл}$  – тариф на электроэнергию (2,66 руб/кВт·ч).

Затраты на потребляемую электроэнергию составляют:

$$C_{ЭП} = 0,35 * 438 * 2,66 = 408 \text{ руб.}$$

Таким образом, статьи по расходам на оборудование и электроэнергию сведены в таблицу 3.14

Таблица 3.14 – Затраты на оборудование и электроэнергию

№ п/п	Наименование	Единица измерения	Кол-во	Цена за единицу, руб	Сумма, тыс. руб.
1	Компьютер	шт.	1	30	30
2	Интернет, 5 мб/с	пакет	5	0,35	1,75
3	Flash-накопитель	шт.	1	0,4	0,4
Всего за материалы, руб					32,15
Транспортно-заготовительные расходы (5%), руб					1,6
Электроэнергия					0,4
Итого, руб					34,16

### 3.3.4.3. Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ 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 (размер определяется Положением об оплате труда).

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (3.6)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} * T_{раб} \quad (3.7)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M * M}{F_{\phi}} \quad (3.8)$$

где  $Z_M$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

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

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

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

$F_{\phi}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научнотехнического персонала, раб. дней (таблица 3.15).

*Таблица 3.15 – Баланс рабочего времени*

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	95 14	95 14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48 -	24 -
Действительный годовой фонд рабочего времени	208	232

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_{\phi} * k_p \quad (3.9)$$

где  $Z_{\phi}$  – базовый оклад, руб.;

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

Учитывая, что бакалавр получает 100 руб/час, расчет заработной платы проводится для срока, в течение которого работали бакалавр и руководитель соответственно. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 3.16.

*Таблица 3.16 – Расчёт основной заработной платы*

Исполнители	$Z_{\phi}$ , руб.	$k_p$	$Z_M$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	Тр, раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	36800	1,3	47840	2392	29	69368
Бакалавр	12900	1,3	16770	810	84	68040

#### 3.3.4.4. Дополнительная заработная плата

Размер дополнительной заработной платы рассчитывается, исходя из среднего значения в 12; от основной заработной платы. Тогда, суммарные выплаты руководителю и бакалавру отражены в таблице 3.17.

Размер отчислений рассчитывается по формуле 3.10.

$$C_{внеб} = k_{внеб} * (З_{осн} + З_{доп}) \quad (3.10)$$

В 2019 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 что на 2019 год в соответствии с Федеральным законом №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 28% (п.1 ст. 58).

Тогда, общая сумма отчислений во внебюджетные фонды равна

$$C_{внеб} = 0,28 * 153897 = 43091 \text{ руб.}$$

#### 3.3.4.6 Накладные расходы

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{накл} = k_{накл} * (З_{осн} + З_{доп}) \quad (3.11)$$

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

Тогда  $C_{накл} = 0,16 * 153897 = 24623$  руб.

На основании вышеописанных расчетов по отдельным статьям, плановая себестоимость проекта представлена в таблице 3.18

Таблица 3.18 – Группировка затрат по статьям

Наименование статей затрат	Сумма, руб
Материалы	683
Оборудование	34160
Оплата труда работников, непосредственно занятых созданием НИР	153897
Страховые взносы	43091
Накладные расходы	24623
Итого себестоимость ВКР	256454

#### 3.3.5 Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта формируется матрица ответственности (табл. 3.19)

Таблица 3.19 – Матрица ответственности

Этапы проекта	Руководитель	Бакалавр
Подготовительный этап	О	И
Основной этап	О	И
Заключительный этап	У С О	И

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.

### 3.3.6 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информацию по данному разделу сведена в таблицу 3.20.

## 3.4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСНОЙ, ФИНАНСОВОЙ, БЮДЖЕТНОЙ, СОЦИАЛЬНОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 3.4.1 Оценка социальной эффективности исследования

Социальная эффективность научного проекта учитывает социальноэкономические 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 3.21 приводится оценка социальной эффективности программы barrier для построения модели

тепломассопереноса верхового лесного пожара с противопожарными разрывами и заслонами.

Таблица 3.20 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятн. наступл	Уровень риска	Влияние риска	Способы смягчения	Условия наступления
1	Некорректное восприятие интерфейса на английском языке	Затруднения при использовании	1	2	низкий	Изучение английского языка	Отсутствие знания языка
2	Ошибочные входные данные	Неверные результаты	2	5	средний	Контроль за входящими данными	Ошибка оператора
3	Неверная обработка численных результатов	Ошибка в интерпретации	3	4	средний	Логический анализ полученных данных	Ошибка оператора
4	Отсутствие программы для визуализации	Невозможность визуализации и затруднения в интерпретации	3	5	высокий	Покупка лицензии	Истечение срока действия или отсутствие лицензии
5	Ошибка в коде программы	Неверные результаты	3	5	высокий	Тестовые проверки программы на известных решениях задач	Ошибка оператора

Таблица 3.21 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Дорогостоящий эксперимент по моделированию лесных пожаров.	Низкая стоимость ПО <i>barrier</i> 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 по средствам компьютера 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.

## **Вывод**

В данном разделе представлены необходимые и достаточные шаги для управления научным проектом.

Произведено сегментирование рынка. Основными потребителями продукта являются МЧС и организации лесной охраны. Анализ конкурентных технических решений показал, что программа конкурентоспособна, обладает рядом преимуществ над ближайшим конкурентом - программой для моделирования потоков газа и жидкости Phoenics.

Проведен SWOT-анализ. Выявлена и описана корреляция между сильными и слабыми сторонами, возможностями и угрозами. Определены направления дальнейшего развития.

Оценка готовности проекта к коммерциализации показала перспективность ниже среднего. Это связано с коротким сроком работы с программным обеспечением и начальной стадии завершения исследования. Методом коммерциализации принята торговля патентными лицензиями.

Определены цели, критерии приемки результата, требования к результату, заинтересованные лица и их ожидания.

Организационная структура проекта состоит из двух человек – руководителя Перминова В.А и исполнителя (бакалавра) Баймаков И.У. В качестве ограничений проекта выступают бюджет и сроки исполнения.

Иерархическая структура проекта состоит из трех этапов – подготовительного, основного и заключительного, каждый из которых подразделяется на 3-4 шага.

Контрольными событиями проекта являются выбор темы, анализ литературы, исследования в период практики и оценка и анализ полученных результатов.

Построен линейный график проекта, с учетом длительности, начала и окончания, состава участников. На основании этих данных составлен календарный план-график проведения НИОКР.



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 281386 рублей.

Составлен реестр рисков проекта. Наибольшее влияние имеют риски, связанные с отсутствием программы для визуализации и ошибки в коде программы.

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

## ГЛАВА 4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

### Введение

Данная научно-исследовательская работа напрямую связана с математическим моделированием физико-химических процессов, а именно – взаимодействия фронта верхового лесного пожара с лесным массивом, при учете противопожарных разрывов и заслонов. Результатом работы является создание программы для расчетов параметров пожара при различных параметрах лесного массива, а также проведение расчетов для выявления зависимости размеров безопасных противопожарных разрывов и заслонов от условий среды и параметров лесного массива.

Создание подобных моделей в перспективе направлено на повышение защиты лесов от пожара, а также для повышения уровня пожарной безопасности объектов, находящихся в непосредственной близости от границы лесного массива. Соответственно, потребителями данного продукта являются структуры МЧС и организации лесной охраны.

В данном разделе рассматривается эксплуатация программного обеспечения barrier, при этом рабочее место представляет собой стандартное рабочее место, оснащенное персональным компьютером и находится в аудитории №310 18 корпуса ТПУ.

Целью составления настоящего раздела является разработка и оценка проектных решений, исключающих несчастные случаи в процессе работы и снижение вредных воздействий на окружающую среду.

Задачи ставятся следующие:

- Проанализировать вредные и опасные производственные факторы, которые воздействуют на сотрудника в процессе эксплуатации ПО barrier.
- Выявить уровень и пути воздействия на окружающую среду.
- Рассмотреть вероятные чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть при эксплуатации ПО barrier.
- Разработать организационные мероприятия по компоновке рабочей зоны.

## **4.1. ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ.**

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

- Согласно ТК РФ, N 197 -ФЗ работник аудитории 243, 8 корпуса ТПУ имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;

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

- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;

- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

4.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Исходя из рассматриваемого рабочего места, мероприятия по компоновке рабочей зоны должны заключаться только в повышении эргономичности при работе за компьютером. Основными нормативными документами, содержащими нормы охраны труда за компьютером, являются СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03[42]и ТОИ Р-45-084-01[47].

Согласно вышеуказанным документам, рабочие места с компьютерами должны размещаться таким образом, чтобы расстояние от экрана одного

видеомонитора до тыла другого было не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов - не менее 1,2 м.

Рабочие места должны располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку, преимущественно слева. Оконные проемы должны быть оборудованы регулируемыми устройствами типа: жалюзи, занавесей, внешних козырьков и др.

Рабочая мебель для пользователей компьютерной техникой должна отвечать следующим требованиям:

- высота рабочей поверхности стола должна регулироваться в пределах 680 -800 мм; при отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности стола должна составлять 725 мм;

- рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, глубиной на уровне колен не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног не менее 650 мм;

- рабочий стул (кресло) должен быть подъемно - поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также - расстоянию спинки от переднего края сиденья;

- рабочее место должно быть оборудовано подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20 градусов; поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм;

- рабочее место с персональным компьютером должно быть оснащено легко перемещаемым пюпитром для документов.

Для нормализации аэроионного фактора помещений с компьютерами необходимо использовать устройства автоматического регулирования ионного режима воздушной среды (например, аэроионизатор стабилизирующий "Москва-СА1").

Женщины со времени установления беременности и в период кормления грудью к выполнению всех видов работ, связанных с использованием компьютеров, не допускаются.

## 4.2 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Разрабатываемая математическая модель ВПТ подразумевает использование электронной вычислительной машины (ЭВМ) и серверного оборудования ВМК РВ ЭЭС, с точки зрения социальной ответственности целесообразно рассмотреть вредные и опасные факторы, которые могут возникать при разработке математической модели или работе с оборудованием, а также требования по организации рабочего места.

4.2.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.

Вначале, необходимо определить, какие опасные и вредные факторы присущи данному типу работ и какие именно операции или процессы их вызывают. Идентификация потенциальных опасных и вредных производственных факторов проводится с использованием «Классификации вредных и опасных производственных факторов по ГОСТ 12.0.003–2015». Для математического моделирования основным видом работ является работа за компьютером, поэтому определять ОВПФ будем только для данного вида работ. Перечень ОВПФ, действующих на человека при проведении испытаний, приведен в таблице 4.2

*Таблица 4.2 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ по математическому моделированию.*

Источник фактора, наименование видов работ.	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Математическое моделирование возникновения и распространения	1. Неудовлетворительный микроклимат; 2. Повышенный	Поражение Электрическим	СанПиН 2.2.4.548-96 [32] СанПиН 2.2.4.1294-03 [33];

природных пожаров при наличии противопожарных барьеров. (аудитория 310 корпуса №18 ТПУ, оборудованная компьютерами). абота за ПЭВМ	уровень шума на рабочем месте; 3.Повышенный уровень электромагнитных полей; 4.Недостаточная освещенность рабочей зоны;	током. Пожаро взрывоопасность	ГН 2.2.5.1313-03 [34] СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [35] ГОСТ 12.1.038-82 [36] ГОСТ 12.1.006–84 [37]СанПиН 2.2.4.1191-03. [38] СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [39] ГОСТ 12.2.033-78 [40] Р 2.2.2006-05 [41]
--	--	-------------------------------	---

#### 4.2.3. Микроклимат

Условия труда по микроклимату в аудитории 310 корпуса ТПУ №18.

Нельзя выделить конкретный источник формирования опасных, и вредных условий труда связанной с неблагоприятными параметрами микроклимата. Это могут быть отсутствие кондиционирования воздуха, нагретые поверхности, нахождение большого числа людей на относительно небольшом пространстве.

Допустимые параметры микроклимата – параметры, при систематическом воздействии которых у человека возникают быстро проходящие изменения в организме, не выходящие за пределы возможностей организма и не приводящие к серьезным нарушениям. Нахождение в оптимальных (допустимых) условиях увеличивает производительность труда, уменьшает риск заболеваемости и снижает утомляемость. Нахождение в неблагоприятных условиях приводит к таким заболеваниям, как различные формы простуды, радикулит, бронхит (в том числе, хронический) и иным, снижает работоспособность, ухудшает самочувствие.

Параметры состояния воздуха нормируются СанПиН 2.2.4.548 –96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений[32]. При нормировании параметров микроклимата учитывается

тяжесть работ, период года и характеристику помещения по тепловому излучению.

Для работы за компьютером (легкая степень работ 1а) и в теплый период года параметры указаны в таблице 4.2

*Таблица 4.2.3. –Допустимые параметры микроклимата на рабочих местах производственных помещений*

Сезон года	Категория тяжести выполняемых работ	Температура поверхности, С0	Температура воздуха, С0	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/сек
Холодный	1а	19-26	20-25	15-75	0,1

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, спец. обуви, 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.

Условия труда по микроклимату в аудитории 310 корпуса ТПУ №18 соответственно допустим СОУТ -18 ТПУ.

#### 4.2.4. Воздушная среда в производственном помещении.

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. Либо же имеет место несоблюдение норм при строительстве и отделке помещений.

Нормативы содержания веществ содержатся в ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны [34], допустимое содержание ионов в воздухе –СанПиН 2.2.4.1294-03 «Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений» [33].

#### 4.2.4. Шум

Шум – это звук, оцениваемый негативно и наносящий вред здоровью.

Для шума нет нижней границы благоприятного значения. Даже небольшой уровень шума рассеивает внимание, вызывает утомление и головную боль. Высокие уровни шума могут привести к частичной потере или ослаблению слуха, или полной глухоте. Источником шумового загрязнения при работе за компьютером могут служить неисправные системы охлаждения компьютера или воздуха, а также различные механизмы и устройства, находящиеся в соседних помещениях.

Нормативными документами являются ГОСТ 12.1.003-83(1999) «ССБТ Шум. Общие требования безопасности», СНиП П-12-77. «Защита от шума» и СН 2.2.4/2.1.8.562-96. «Шум на рабочих местах[35], в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки». Допустимый уровень шума для работающих в конструкторских бюро и лабораториях, согласно этим документам, приведен в таблице 4.3.



*Таблица 4.2.4. – Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука (ГОСТ 12.1.003–83 с изм. 1999 г.)*

Рабочее место	Уровень звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими значениями, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Конструкторские бюро, лаборатории	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

При возникновении недопустимого уровня шума необходимо выполнить меры либо по ограничению распространения шума, либо по ограничению воздействия его на людей.

К первой группе мероприятий относятся различные короба, щиты, кожухи, установленные на оборудовании, изменение технологии или конструкции. Также 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. Условия труда по фактору соответствию допустимо.

#### 4.2.5. Освещение

При работе за компьютером глаза получают наибольшую нагрузку. Это связано с тем, что воздействие оказывает не только естественное и искусственное освещение, но и сам монитор. Неудовлетворительное освещение влияет не только на скорость работы, оно вызывает общее утомление организма, может привести к травматизму, а в перспективе – к нарушению или полной потере зрения.

Нормирование параметров освещенности в данном случае 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»[39], 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»[43], который нормирует параметры при работе за компьютером.

Допустимые параметры приведены в таблице 4.4

*Таблица 4.4–Допустимые визуальные параметры устройств отображения информации*

Параметры	Допустимые значения
Яркость белого поля	Не менее 35 кд/м <sup>2</sup>
Неравномерность яркости рабочего поля	Не более $\pm 20\%$
Контрастность (для монохромного режима)	Не менее 3:1
Временная нестабильность изображения (непреднамеренно изменение во времени яркости изображения на экране дисплея)	Не должна фиксироваться

В аудитории применяется система общего равномерного освещения . Имеется баковое одностороннее естественное освещение . Условия труда по световому фактору соответственно документу.

#### 4.2.6. Электробезопасность

Источниками опасностей в данном случае являются токоведущие части электрооборудования – компьютера и периферийных устройств. Анализ опасных факторов – опасные уровни статического напряжения и опасность замыкания цепи на человека будет приведен в следующем разделе.

Повышенный уровень электромагнитных излучений, высокая напряженность электрического и магнитного полей относятся к вредным факторам. Эти воздействия нормируются следующим образом:

*Таблица 4.6–Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ*

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц -2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц –400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц -2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц –400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Для обеспечения защиты сотрудника от электромагнитных излучений необходимо организовать правильное размещение и порядок работы за компьютером. Мониторы следует размещать так, чтобы сзади и сбоку в непосредственной близости не находились люди. Если планируется не использовать компьютер некоторое время, то его лучше отключить. Также во время перерывов работники не должны находиться возле компьютеров.

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. Поэтому электробезопасности уделяется большое внимание.

Оценка и анализ электробезопасности в лаборатории осуществляется при помощи «Правил устройства электроустановок» [43].

Вначале необходимо определить класс помещения по электробезопасности. Поскольку в аудитории нет агрессивных веществ, токопроводящей пыли и полов, и повышенной влажности (свыше 75%), высокой температуры (свыше 35°C) и нет возможности одновременного прикосновения к имеющим связь с землей металлоконструкциям и

металлическим частям электрооборудования, то помещение можно отнести к помещениям без повышенной опасности. [43]

Воздействие электромагнитных полей на человека проявляется в виде возникновения болезней в наиболее ослабленных системах организма – нервной, иммунной, эндокринной. Увеличивается утомляемость, нервозность, возбуждение ЦНС.

Согласно ПУЭ и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [43], при работе с компьютерами для обеспечения электробезопасности следует соблюдать правила:

- Электрооборудование, имеющее контакты для подключения заземления, должно быть заземлено, а помещения, где размещаются рабочие места с ПЭВМ (компьютерами), должны быть оборудованы защитным заземлением (занулением) в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации оборудования;

- Все крышки и защитные панели должны находиться на своих местах (при отсутствии крышки или защитной панели эксплуатация электрооборудования не допускается);

- При работе с электрооборудованием не допускать попадания влаги на поверхность электрооборудования, а также запрещается работать на электрооборудовании влажными руками;

- Вентиляционные отверстия электрооборудования не должны быть перекрыты находящимися вплотную стенами, мебелью, посторонними предметами;

- Выдергивание штепсельной вилки электроприбора необходимо осуществлять за корпус штепсельной вилки, при необходимости придерживая другой рукой корпус штепсельной розетки;

- Подключение и отключение разъемов компьютеров и оргтехники должно производиться при отключенном питании (за исключением подключения и отключения USB-устройств);

- Удаление пыли с электрооборудования должно производиться в отключенном от электрической цепи состоянии;
  - Перед использованием электроприборов необходимо проверить надёжность крепления электророзетки, свериться с номиналом используемого напряжения;
  - В помещениях, в которых используется напряжение двух и более номиналов, на всех штепсельных розетках должны быть надписи с указанием номинального напряжения;
  - Корпуса штепсельных розеток и выключателей не должны содержать трещин, оплавления других дефектов, способных снизить защитные свойства или нарушить надёжность контакта;
  - Недопустимо использовать штепсельные разъёмы в случае существенного нагревания штепсельной розетки или вилки электроприбора при эксплуатации;
  - Кабели (шнуры) электропитания не должны содержать повреждений изоляции, сильных изгибов и скручиваний;
- Персонал, работа которого связана с возможностью поражения электрическим током, должен пройти обучение с присвоением I группы по электробезопасности.

### **4.3. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Работы за ПЭВМ, к которым относится математическое моделирование, напрямую не влияют на окружающую среду. Однако отслужившая электроника, лампы, батареи при неправильной утилизации являются опасными и требуют особого подхода.

Утилизация электроники контролируется по двум причинам. Во-первых, на обычных свалках под открытым небом составляющие компьютера разрушаются и в окружающую среду поступают такие вещества как свинец, сурьма, кадмий, мышьяк, а также соединения на основе поливинилхлорида и фенолформальдегида. А во-вторых, в состав компьютеров старых образцов входит некоторое количество драгоценных металлов (в основном, золота),

перемещение и оборот которых находится под государственным контролем. Утилизация компьютеров и оргтехники производится согласно методике, утвержденной государственным комитетом РФ по телекоммуникациям [44]. Согласно этой методике, существуют 4 этапа проведения работ – информационное обеспечение, заключение договоров, разборка техники и реализация партий лома. При этом в рамках договора реализуются не только элементы, содержащие драгоценные металлы, но и ломы цветных и черных металлов и пластмасса для вторичной переработки (до 95%). Таким образом выполняется сразу две задачи – сбережение ресурсов и уменьшение количества твердых отходов.

В люминесцентных лампах используется ртуть, что переводит отработанные лампы из обычных отходов в опасные, требующие специальной утилизации. Для юридических лиц необходимо заключать контракты с компаниями, занимающимися утилизацией токсичных отходов, что несет дополнительные расходы.

Стоит упомянуть также о том, что компьютерное оборудование должно соответствовать различным стандартам безопасности для обеспечения в том числе, и защиты окружающей среды. К таким стандартам можно отнести:

FCC – сертификат, устанавливающий нормативы электромагнитных и радионаводок, создаваемых оборудованием. Компьютер относится к классу В.MPR-II – стандарт, определяющий предельные уровни электромагнитного излучения для мониторов.

TCO-07 – экологический стандарт, регламентирующий многие факторы – эргономику, электромагнитные излучения, акустический шум, электробезопасность, экологическую безопасность, экономию электроэнергии.

EPAEnergyStar – стандарт, распространяющийся на энергопотребление и обеспечивающий снижение потребления энергии в период бездействия.

Утилизация твердых бытовых отходов и пользование коммунально-энергетическими сетями. Физические и юридические лица обязаны платить налог на утилизацию ТБО, пользование КЭС и очистку сточных вод. Для уменьшения воздействия на окружающую среду этими путями можно использовать рациональный порядок пользования КЭС: не оставлять открытыми краны, не использовать электроэнергию там, где это не нужно (например, оставлять освещение после ухода), применять энергосберегающие лампы. Для облегчения утилизации ТБО необходимо сортировать отходы.

#### **4.4. БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**

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

- Пожары (взрывы) в зданиях (сооружениях);
- Внезапное обрушение зданий;
- Повреждение зданий вследствие военных действий.

##### **4.1. Пожарная и взрывная безопасность.**

Согласно ФЗ №123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [45], помещение относится к классу Ф 4.3 (здание органов управления учреждений, проектно-конструкторских организаций, информационных и редакционно-издательских организаций, научных организаций, банков, контор, офисов.

Основными причинами пожаров и взрывов являются электроустановки (ПЭВМ) –искры при замыкании электрической цепи, неисправности в розетках и проводке, накопление статического электричества на токопроводящих элементах. Также возможны и другие причины возгорания и взрывов, но они маловероятны (неосторожное обращение с огнем, курение на рабочем месте, размещение легко воспламеняемых конструкций и материалов вблизи отопительных приборов, удар молнии).

Способы устранения причин пожаров могут быть следующие:

Предупредительные (организационные):

- Правильный выбор электрооборудования и способов его монтажа, систематический ремонт и контроль неисправности;
- Изолирование 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. Согласно [46], в помещениях с возможными пожарами класса А и Е (горение твердых материалов и электроустановок) необходимо иметь 2 порошковых огнетушителя.
- Обеспечение сигнализации и оповещения. Для этого можно использовать охранно-пожарную сигнализацию, которая обеспечит своевременное обнаружение возгорания, включит оповещение и передаст сигнал на пункт управления.



## **ВЫВОД**

В результате проведенной работы в соответствии с заданием, проведены, численные расчеты и распространение фронта пожара в зависимости от разных скоростей ветра. Разработана математическая модель процесса распространения фронта лесного пожара. Полученная в данной работе математическая модель может быть использована на практике для определения динамики развития верхового лесного пожара.

Был проведен конкретный расчет по;

- изучение основных сведений о лесных пожарах и методах их профилактики;
- разработка физико-математической модели лесных пожаров;
- применение метода математического моделирования физических процессов;
- проведение численных расчетов и анализ полученных результатов.
- Определены зависимости размеров противопожарных заслонов от скорости ветра и влагосодержания лесных горючих материалов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы /Ю.Л. Воробьев, В.А. Акимов, Ю.И. Соколов; Подобщ.ред.Ю.Л.Воробьева; МЧСРоссии.-М.:ДЭКС-ПРЭСС,2004.-312.
2. Лавров С.Б. Глобальные проблемы современности: часть 2. – СПб.,1995
3. Авария на Чернобыльской АЭС и ее последствия: Информация, подготовленная для совещания экспертов МАГАТЭ. — Часть 1. Обобщенный материал. — Август,1986.
4. Чернобыль: радиоактивное загрязнение природных сред /Под ред. Ю. А. Израэля. — Ленинград: Гидрометеиздат,1990.
5. Тихомиров Ф. А., Щеглов А. И. Радиоэкологические последствия кыштымской и чернобыльской радиационных аварий в лесных экосистемах. // Экология регионов атомных станций. — Вып.1., — М., 1994, с.71—88
6. Абдурагимов И.М., Однолько А.А.. Пожары на радиационно-загрязненных территориях // Природа. – 1993. – № 1. – С.28-30.
7. Бакин И.С. и др. Пожары в 30-км зоне ЧАЭС как фактор радиационной опасности // Чернобыль-94: Сб. тез.. – Зеленый Мыс, 1994. – С.98.Rowson R.P. The reactive sputtering of oxides and nitrides // Pure & appl. chemistry, 1994. – Vol 66, №2 – P.1311–1318.
8. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1981 – 277с.
9. Van Wagner С.Е., Pickett T.L. Equations and FORTRAN program for the Canadian Forest Fire Weather Index System // Canadian Forest Service. Forestry Technical Report CFT Ottawa ON. – 1985. – 33p.
10. Fiorucci P. Nation-wide forest fire risk assessment. Performance analysis and validation of two different dynamic fire weather systems in Italy / P.Fiorucci, F. Gaetani, R. Minciardi, A.Scipioni // Sevilla-Espana Widfire 2007, Session№4.– 2007. Lawson, B.D. Diurnal variation in the Fine Fuel Moisture Code: Tables and computer source code B.D. Lawson, O.B. Armitage, W.D.

Hoskins / Canada- British Columbia Partnership Agreement on Forest Resource Development: FRDA II. FRDA Report 245. Canadian Forest Service, Pacific Forestry Center. Victoria, British Columbia. –1996.

11. Дубровский И.М. Справочник по физике / И.М. Дубровский, Б.В. Егоров, К.П.Рябошапка. – К.: Наук. думка, 1986. – 559с.

12. Воробьев О.Ю., Валендик Э.Н. Вероятностное множественное моделирование распространения лесных пожаров. – Новосибирск.: Наука, 1978. – 160с.

13. Конев Э.В. Физические основы горения растительных материалов при лесных пожарах и палах. Дисс.Тех. Наук. /ВНИИХЛХ.-Ивантеевка, 1992- 270с.

14. Валендик Э.Н. Борьба с крупными лесными пожарами. – Новосибирск: Наука, сиб. отд, 1990.- 193с.

15. Гроздов Г.М., Москвилин Е.А. Исследования процессов переноса радионуклидов при пожарах в зонах радиоактивного загрязнения. Материалы 12-й Всероссийской научно-практической конференции: Научно-техническое обеспечение противопожарных и ава-рийно-спасательных работ. - М.: ВНИИПО МВДФ.-1993.с.140.

16. Москвилин Е.А. Экспериментальные исследования пожаров в зоне радиоактивного загрязнения. // Лесные и степные пожары: Возникновение, распространение, тушение и экологические последствия: Материалы международной конференции. – Иркутск: ВСИ МВД России, 2001. – С.81-84.

17. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. - Новосибирск: Наука, 1992, -408с.

18. Гришин А.М. Моделирование и прогноз некоторых природных и техногенных катастроф // Proceedings of International Conference RDAMM–2001, 2001, Vol. 6, Pt 2, Special Issue, P.134-139.

19. Modelling the migration and accumulation of radionuclides in forest ecosystems // Report of the Forest Working Group of the Biosphere Modelling and Assessment (BIOMASS) Programme, Vienna, Austria 2002.

20. Адамчиков А. А. Математическое моделирование процессов переноса радионуклидов во время лесных пожаров на радиоактивно загрязненных территориях / А. А. Адамчиков, А. М. Дворник // Проблемы лесоведения и лесоводства: сборник научных трудов / Институт леса НАН Беларуси. - Гомель, 2006.

21. Paatero J., Vesterbacka K., Makkonen U., Kyllönen K., Hellen H., Hatakka J., Anttila P. Resuspension of radionuclides into the atmosphere due to forestfires// Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2009, 282,2 , P.473-476.

22. Гришин А.М., Перминов В.А. Математическое моделирование состояния лесных фитоценозов в условиях природных и антропогенных катастроф// Математическое моделирование. - М.: Изд.-во МГУ, 1993.- С.167-185.

23. Гришин А.М., Перминов В.А. Математическая модель и математическое моделирование распространения аэрозолей при лесных пожарах. В сб. : "Вычислительные технологии", Т.3, N 8, 1994, Изд-во ИВТ СО РАН, Новосибирск. - С.72-86.

24. Гришин А.М., Перминов В.А. Математическая модель переноса радионуклидов в атмосферу в результате действия ветра и лесных пожаров // Международное совещание-семинар по механике реагирующих сред и экологии, Томск, 1994.-С.57-59.

25. Grishin A.M., Merzlyakov A.L. Perminov V.A. Mathematical modeling of radionuclide migration by the action of wind and forest fires // Proceedings of the International Conference "Forest fires: Initiation, spread and ecological consequences, Tomsk, 1995.P.49.

26. Гришин А.М., Катаева Л.Ю., Перминов В.А. Математическое моделирование повторного радиоактивного заражения в результате лесных пожаров//Материалы международной конференции:"Лесные пожары: возникновение, распространение и экологические последствия", Томск, 1995. С.44-45.

27. Ходаков В.Е., Жарикова М.В. Лесные пожары: методы

исследования. – Херсон: Гринь Д.С., 2011. – 470с.

28. Патанкар С.В. Численные метода решения задач теплообмена и динамики жидкости. -М.: Энергоатомиздат,1984.-152с.

29. Душа-Гудым С.И. Лесные пожары. На территориях, загрязненных радионуклидами. Обз. инф. (Охрана и защита леса, механизация, лесные пользования, ISSN 0136-4596, вып 6. - М.: ВНИЦлесресур.-1993. 53с.

30. Руководство по ведению лесного хозяйства на территории РФ, подвергшейся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС на период 1992-1995 годы. -М.:ФСЛХ.-1992. -65с.

31. Конев Э.В. Физические основы горения растительных материалов при лесных пожарах и палах. Дисс. Тех. Наук. /ВНИИХЛХ.-Ивантеевка, 1992-270 с.

32. Валендик Э.Н. Борьба с крупными лесными пожарами. – Новосибирск: Наука, сиб. отд, 1990.- 193с.

33. Гроздов Г.М., Москвилин Е.А. Исследования процессов переноса радионуклидов при пожарах в зонах радиоактивного загрязнения. Материалы 12-й Всероссийской научно-практической конференции: Научно-техническое обеспечение противопожарных и аварийно-спасательных работ. - М.: ВНИИПО МВДФ.-1993.с.140.

34. Москвилин Е.А. Экспериментальные исследования пожаров в зоне радиоактивного загрязнения. // Лесные и степные пожары: Возникновение, распространение, тушение и экологические последствия: Материалы международной конференции. – Иркутск: ВСИ МВД России, 2001. – С.81-84.

35. И.С. Мелехов О теоретических основах лесной пирологии. – Архангельск: АЛТИ,1944. – 19 с.

36. Николаюк В.Н. Противопожарная охрана лесов, загрязненных радионуклидами // Лесохозяйственная информация. Н.-т. информ. сборник. № 9. – М.: ВНИИЦлесресурс, 1993. – С.30–36.

37. Душа-Гудым С.И. Лесные пожары на территориях,

загрязненных радионуклидами. – М.: ВНИИЦлесресурс, 1993. – 52с.

38. Ефименко, В. М. Е-911 Лесная пирология: практическое пособие для студентов специальности 1-75 01 01 «Лесное хозяйство» / В.М. Ефименко; М-во обр. РБ, Гомельский государственный университет им Ф. Скорины. Гомель:ГГУ им. Ф. Скорины, 2009 – 90с.

39. ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные факторы».

40. ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность».

41. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

42. Санитарные правила СанПиН 2.6.1.2523-09 "Нормы радиационной безопасности(НРБ-99/2009)"

43. Приказ Минприроды России от 08.07.2014 N 313 (ред. от 16.02.2017) "Об утверждении Правил тушения лесных пожаров" СП 2.6.1.2612-10 "Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности(ОСПОРБ-99/2010)"