

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

---

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

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Математическое моделирование возникновения и развития природных пожаров</b>

УДК 614.841.42:630:519.876

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1EM81	Толмачев Григорий Александрович		

Руководитель

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Маланина Вероника Анатольевна	канд. экон. наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Юрий Митрофанович	д-р техн. наук		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

Томск – 2020 г.

## Результаты освоения образовательной программы по направлению

### 20.04.01 Техносферная безопасность

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	<i>Использовать на основе глубоких и принципиальных знаний необходимое оборудование, инструменты, технологии, методы и средства обеспечения безопасности человека и окружающей среды от техногенных и антропогенных воздействий в условиях жестких экономических, экологических, социальных и других ограничений</i>	Требования ФГОС (ПК-3–7; ОПК-1–3, 5; ОК-4–6) <sup>1</sup> , Критерий 5 АИОР <sup>2</sup> (пп.5.2.1, 5.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Проводить <i>инновационные</i> инженерные исследования опасных природных и техногенных процессов и систем защиты от них, включая <i>критический анализ данных из мировых информационных ресурсов, формулировку выводов в условиях неоднозначности</i> с применением <i>глубоких и принципиальных знаний и оригинальных методов</i> в области современных информационных технологий, современной измерительной техники и методов измерения.	Требования ФГОС (ПК-8–13; ОПК-1–3, 5; ОК-4, 9, 10, 11, 12), критерии АИОР Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.2, 5.2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Организовывать и руководить деятельностью подразделений по защите среды обитания и безопасному размещению и применению технических средств в регионах, осуществлять взаимодействие с государственными службами в области экологической, производственной, пожарной безопасности, защиты в чрезвычайных ситуациях, находить и принимать управленческие решения с соблюдением профессиональной этики и норм ведения <i>инновационной инженерной деятельности</i> с учетом юридических аспектов в области техносферной безопасности	Требования ФГОС (ПК-4, 6, 14–18; ОПК-1–5; ОК-1, 7, 8), Критерий 5 АИОР (пп.5.2.5, 5.3.1–2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Организовывать мониторинг в техносфере, составлять краткосрочные и долгосрочные прогнозы развития ситуации на основе его результатов с использованием <i>глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности</i> , анализировать и оценивать	Требования ФГОС (ПК-2, 19, 21, 22; ОПК-1–5; ОК-2), Критерий 5 АИОР (п.5.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов

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

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

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

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
 Направление подготовки (специальность) 20.04.01 «Техносферная безопасность»  
 Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 20.04.01 «Техносферная безопасность»  
 \_\_\_\_\_ Ю. В. Анищенко  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

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

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
1EM81	Толмачев Григорий Александрович

Тема работы:

<b>Математическое моделирование возникновения и развития природных пожаров</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 51-51/с от 20.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10.03.2020
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>          (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</p>	<p>Объектом исследования в данной работе являются верховые природные пожары.          Предметом исследования является математическое моделирование возникновения и распространения верховых природных пожаров. В качестве исходных данных для анализа поведения лесных пожаров рассматривались: запас лесных горючих материалов, влагосодержание, высота деревьев, скорость ветра.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>          (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования,</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обзор теоретических и экспериментальных работ по моделированию природных пожаров;</li> <li>2. Разработка физико-математической постановки задачи о возникновении и распространении природных пожаров</li> <li>3. Разработка численной методики решения задачи</li> <li>4. Итоговое численное решение задачи о возникновении и распространении верхового лесного пожара</li> </ol>

конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	5. Анализ полученных результатов
<b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)	
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кандидат экономических наук Маланина Вероника Анатольевна
Социальная ответственность	Доктор технических наук Федорчук Юрий Митрофанович
<b>Название разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Литературный обзор	

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

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1EM81	Толмачев Григорий Александрович		10.03.2020

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

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

Форма представления работы:

магистерская диссертация
--------------------------

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

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

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

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

Составил преподаватель:

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

**СОГЛАСОВАНО:**

<b>Зав. кафедрой</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Руководитель ООП 20.04.01 Техносферная безопасность	Анищенко Юлия Владимировна	к.т.н.		12.03.2020

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1EM81	Толмачев Григорий Александрович

<b>Инженерная школа</b>	<b>ИШНКБ</b>	<b>Отделение</b>	<b>Физических методов и приборов контроля качества</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	Техносферная безопасность

**Тема дипломной работы: «Математическое моделирование возникновения и развития природных пожаров»**

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Комплекс оборудования для измерения и коррекции момента нагрузки на валу двигателя. Работы проводились на базе АО НПЦ «Полус».
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Природа воздействия</li> <li>• Действие на организм человека</li> <li>• Нормы воздействия и нормативные документы (для вредных факторов)</li> <li>• СИЗ коллективные и индивидуальные</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Термические источники опасности</li> <li>• Электробезопасность</li> <li>• Пожаробезопасности</li> </ul>	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Недостаточная освещенность;</li> <li>• Нарушения микроклимата, оптимальные и допустимые параметры;</li> <li>• Шум, ПДУ, СКЗ, СИЗ;</li> <li>• Повышенный уровень электромагнитного излучения, ПДУ, СКЗ, СИЗ;</li> <li>• Наличие токсикантов, ПДК, класс опасности, СКЗ, СИЗ;</li> </ul> <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Электроопасность; класс электроопасности помещения, безопасные номиналы I, U, R<sub>заземления</sub>, СКЗ, СИЗ; Проведен расчет освещения рабочего места; представлен рисунок размещения светильников на потолке с размерами в системе СИ;</li> <li>• Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и ограничение применения; Приведена схема эвакуации.</li> </ul>
--	---



	<ul style="list-style-type: none"> <li>Лазерное излучение, класс опасности, ПДУ, СКЗ, СИЗ.</li> </ul>
<b>2. Экологическая безопасность:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Выбросы в окружающую среду</li> <li>Решения по обеспечению экологической безопасности</li> </ul>	Наличие промышленных отходов (бумага-черновики, вторцвет- и чермет, пластмасса, перегоревшие люминесцентные лампы, оргтехника, обрезки монтажных проводов, бракованная строительная продукция) и способы их утилизации;
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; <ul style="list-style-type: none"> <li>разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul> </li> </ul>	Рассмотрены 2 ситуации ЧС: 1) природная – сильные морозы зимой, (аварии на электро-, тепло-коммуникациях, водоканале, транспорте); 2) техногенная – несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место (возможны проявления вандализма, диверсии, промышленного шпионажа), представлены мероприятия по обеспечению устойчивой работы производства в том и другом случае.
<b>4. Перечень нормативно-технической документации.</b>	–ГОСТы, СанПиНы, СНиПы

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	15.02.2020 г.
---	---------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ТПУ	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		16.02.2020г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ81	Толмачев Григорий Александрович		16.02.2020г.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1EM81	Толмачёву Григорию Александровичу

<b>Инженерная школа</b>	ИШНКБ	<b>Отделение</b>	Отделение контроля и диагностики
<b>Уровень образования</b>	магистрант	<b>Направление/специальность</b>	техносферная безопасность

<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Литературные источники; 2. Методические указания по разработке раздела; 3. Научные публикации; 4. Нормативно-правовые документы; 5. Статистические бюллетени.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности проведения поисковых ГРП с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1. Определение потенциального потребителя; 2. SWOT-анализ; 3. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.
2. Планирование и формирование бюджета поисковых ГРП	1. Планирование этапов работы; 2. Определение календарного графика и трудоемкости работы; 3. Расчет бюджета.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности поисковых ГРП	1. Оценка сравнительной эффективности проекта.
<b>Перечень графического материала:</b>	
1. Сегментирование рынка 2. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений 3. Матрица SWOT 4. Морфологическая матрица 5. График проведения и бюджет работы 6. 7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности.	

<b>Дата выдачи задания по линейному графику</b>	10.03.2020
---	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Маланина Вероника Анатольевна	к.э.н.		10.03.20

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ81	Толмачёв Григорий Александрович		10.03.20

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 128 с., 11 рис., 25 табл., 30 источников, 2 прил.

Ключевые слова: математические модели, природные пожары, распространение верхового лесного пожара, теплообмен с окружающей средой, продукты горения.

Объектом исследования являются лесные пожары.

Цель работы – изучение условий возникновения распространения природных пожаров с помощью метода математического моделирования. В процессе исследования проводилась теоретическая подготовка в исследовании лесных пожаров, анализ статей ученых в области моделирования распространения лесных пожаров, освоение программного обеспечения для создания моделей распространения контуров лесного верхового пожара. Так же проведено исследование распространения пожара с учетом разрывов.

В результате исследования процесс возникновения и развития лесного пожара описан в рамках математической постановки, т.е. учитывается взаимное влияние приземного слоя атмосферы и процессов горения в лесном массиве. Изучено влияние метеоусловий и других факторов на скорость распространение пожара.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: применима к ЭВМ на операционных системах Windows.

Степень внедрения: программное обеспечение в области прогнозирования лесных пожаров.

Область применения: Программное обеспечение может использоваться для определения ущерба в результате неконтролируемого горения лесных горючих материалов в открытом пространстве на различных типах растительности.

Экономическая эффективность/значимость работы: в сравнении с другими программными обеспечениями данная программа является экономически выгодной.

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ТСО – технические средства обучения

ТБО – твердые бытовые отходы

ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина

ПК – персональный компьютер

ЛД – лампа дневного света

ЛДЦ – лампа дневного света с улучшенной цветопередачей

ЛХБ – лампа холодного белого цвета

ЛТБ – лампа теплого белого цвета

ЛБ – лампа белого цвета

ДРЛ – лампа дуговая ртутная люминесцентная

ПВЛ – светильник пылевлагозащищенный

ОУ – огнетушитель углекислотный

ОП – огнетушитель порошковый

ТБ – техника безопасности

ЛГМ – лесные горючие материалы

## НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящем документе использованы ссылки на следующие официальные издания:

1. ГОСТ 8.310-78 ГСИ Государственная служба стандартных справочных данных. Основные положения.
2. ГОСТ 8.417 – 2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин.
3. ГОСТ 7.9 – 95 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Реферат и аннотация.
4. ГОСТ 17.6.1.01-83 Охрана природы. Охрана и защита лесов. Термины и определения. М.: Изд-во Стандартов, 1984.
5. ГОСТ 2.321-84 ЕСКД Обозначения буквенные.
6. ГОСТ Р 1.5 – 2012 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила построения, изложения, оформления и обозначения.
7. ГОСТ 2.104 – 2006 Единая система конструкторской документации. Основные надписи.
8. ГОСТ 2.105 – 95 Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам.
9. ГОСТ 2.106 – 96 Единая система конструкторской документации. Текстовые документы.
10. ГОСТ 2.301 – 68 Единая система конструкторской документации. Форматы.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	18
<b>1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	21
1.1 Классификация лесных пожаров по силе .....	24
1.2 Причины возникновения лесных пожаров .....	25
1.3 Последствия и профилактика лесных пожаров .....	26
1.4 физико-математическая постановка задачи .....	33
1.5 Описание методики расчета итоговых выбросов вредных веществ и тепла при распространении лесных пожаров .....	39
<b>2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ</b> .....	47
<b>3. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ (РАЗРАБОТКИ)</b> .....	49
3.1 Постановка задачи .....	49
3.2 Метод решения .....	53
3.3 Результаты численных расчетов .....	54
3.4 Вывод .....	62
<b>4. РАЗДЕЛ «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ»</b> .....	64
4.1 Введение .....	64
4.1.2 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	64
4.1.3 Анализ конкурентных технических решений .....	66
4.1.4 Технология QuaD .....	66
4.1.5 SWOT-анализ .....	69
4.2 Планирование научно-исследовательских работ .....	71
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	71
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....	72
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования .....	73



4.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	77
4.2.4.1 Расчет материальных затрат НТИ .....	77
4.2.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы .....	78
4.2.4.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы .....	79
4.2.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	79
4.2.4.5 Накладные расходы .....	80
4.2.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	81
4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	81
4.4 Вывод .....	85
<b>5. РАЗДЕЛ «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ» .....</b>	<b>86</b>
5.1 Введение .....	86
5.2. Производственная безопасность .....	86
5.2.1 Отклонение показателей микроклимата в помещении .....	86
5.2.2. Превышение уровней шума .....	88
5.2.3. Повышенный уровень электромагнитных излучений.....	89
5.2.4. Поражение электрическим током.....	90
5.2.5. Освещенность .....	92
5.2.6 Пожарная опасность.....	95
5.2.7 Экологическая безопасность .....	97
5.2.8 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	99
<b>Приложение а.....</b>	<b>101</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....</b>	<b>124</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>125</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>126</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность данной работы заключается в длительном изучении проблемы процессов горения при лесных пожарах, но отсутствием ее решения. Анализ полученных результатов в области математического моделирования вы можете посмотреть в работах известных и очень уважаемых исследователей, которые представлены далее. А.М. Гришин Н.П. Курбатский, Г.Н. Коровин, R.Rothermel, Э.Н. Софронов, М.Е. Alexander А.М. Валендик, В.А. Пераимов и это не все. Разработка математических моделей возникновения и распространения природных пожаров может сильно помочь предсказанию и проведению эффективных противопожарных мероприятий.

Однако, существует проблема сбора и анализа достаточного количества информации о условиях горения природных пожаров. Но учитывая ввод в эксплуатацию системы дистанционного мониторинга ИСДМ-Рослесхоз, которая использует информацию, полученную со спутников о пожарной ситуации в лесных массивах, позволит нам облегчить сбор нужной нам информации об условиях горения, что является отличным решением для разработки новых систем моделирования и прогнозирования природных пожаров на обширной территории России [1].

Использование кластерных систем вычисления позволит на нивелировать значительные вычислительные ресурсы, требуемые для решения задач моделирования для больших многодневных природных пожаров лесного массива.

На данном этапе моей работы к затруднениям в использовании математической модели входит:

1. Большого разнообразия начальных условий горения и исходные данные (по метеоусловиям и лесным массивам),
2. Приближенное описание физико-химических процессов, происходящих в зоне лесного пожара (скоростей химических реакций и т.д.).

3. Введение большого количества эмпирических постоянных для описания процессов тепломассопереноса в лесном массиве (процессов, пиролиза, испарения и горения конденсированных и газообразных продуктов пиролиза и т.п.

Для единой математической модели лес при горении является пористо-дисперсной реакционноспособной непрерывной средой, разнородной по составу и структуре. Как показывают оценки, характерное расстояние между деревьями значительно меньше характерного объема лесного массива, это и позволяет использовать способы механики непрерывной среды для математического описания природных пожаров. При выполнении работы над математической моделью была выявлена необходимость информации по механизму передачи энергии от фронта пожара к находящейся среде вокруг, по кинетическим чертам химических реакций, к которым относится пиролиз лесных горючих материалов, по коэффициентам переноса, и реакции окисления конденсированных и газообразных горючих продуктов пиролиза. Объемные доли фаз, аэродинамические свойства лесных массивов и другие характерные черты относятся к параметрам, характеризующим структуру сплошной среды, лес также можно отнести к данной среде, а также необходимо сформировать элементарную полуэмпирическую модель сушки лесного горючего материала. Для этого было проведено множество полунатурных и лабораторных экспериментальных исследований и придуманы методы решения обратных задач механики реагирующих сред, которые позволили найти указанные выше параметры и сформировать банк исходных данных, неотъемлемый для математического моделирования природных пожаров [1].

Еще одной индивидуальностью лесных пожаров является воздействие на приземный слой атмосферы, который, в свою очередь, действует на положение фронта пожара. При решении некоторых задач теории природных пожаров, для учета этого взаимодействия, применялись сопряженные постановки задач, в рамках которых применяются друг с другом одновременно несколько моделей механики непрерывной среды и, следовательно, получается более точно

учитывать воздействие фронта пожара и приземного слоя атмосферы друг на друга. Для численного решения сопряженных задач применялись придуманные ранее, так называемые, особые методики численного счета, основывающиеся на методе Патанкара [2].

Исходя из всего перечисленного, цель данной работы — это изучение условий возникновения распространения природных пожаров с помощью метода математического моделирования. При выполнении работы был сделан анализ научной работы доктора физико-математических наук В. А. Перминова для более детального изучения математической модели и результатов численных расчётов возникновения и распространения природного пожара. Далее построены графики распространения фронта пожара в зависимости от скорости ветра верхового природного пожара, проходящего (или не проходящего) через разрыв в лесном массиве, и построены контуры фронта пожара в различные временные промежутки.

Объектом данного исследования является природный пожар. Предметом исследования является математическое моделирование возникновения и распространения верховых природных пожаров. В качестве исходных данных для анализа поведения лесных пожаров рассматривались: запас лесных горючих материалов, влагосодержание, высота деревьев, скорость ветра.

Практическая новизна работы заключается в изучение условий возникновения и распространения природных пожаров с помощью метода математического моделирования. Это позволит нам проводить точные расчеты поведения фронта пожара и исходя из этого, эффективного распределения сил и средств, направленных на его ликвидацию.

## 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Стихийными бедствиями называют различные явления природы, которые вызывают внезапные нарушения нормальной жизнедеятельности населения, а также это разрушения и уничтожение материальных ценностей. Как правило, они оказывают отрицательное воздействие и на окружающую природу.

К стихийным бедствиям относятся: землетрясения, засухи, наводнения, снежные заносы, селевые потоки, извержения вулканов, оползни, бури, обвалы и ураганы. Безусловно, что к стихийным бедствиям можно отнести и пожары, особенно, если это лесные и торфяные пожары. [3]

Результатом пожаров становится снижение защитных, водоохранных и других полезных свойств леса, так же уничтожаются сооружения, окружающая фауна, а в отдельных случаях и населенные пункты. Деревья, кустарники, заготовленная в лесу древесина всё это становится хорошим плацдармом для распространения пожаров. Кроме того, лесной пожар представляет серьезную опасность для людей и сельскохозяйственных животных.

Лесной пожар – это стихийное, неуправляемое распространение огня по лесным площадям. Причины возникновения пожаров в лесу принято делить на естественные и антропогенные. Наиболее распространенными естественными причинами больших лесных пожаров на Земле обычно являются молнии. Размеры пожаров делают возможным их визуальное наблюдение даже из космоса.

Очень важен возраст леса, так как в молодых лесах, где много зелени, возможность возгорания от молнии значительно ниже, чем в возрастных лесах, где много сухостоя и больных деревьев. Не смотря на проблему лесных пожаров, они являются фактором естественного обновления леса, сохраняя равновесие в природе [3].

К сожалению, на сегодняшний день основной причиной возгораний на лесных территориях является не соблюдение людьми техники безопасности. Ведь доля естественных пожаров (от молний) всего около 7%-8%. Такая

ситуация приводит к тому, что возникает острая необходимость работы противопожарных служб, а также контроля за соблюдением пожарной техники безопасности.

Существует такое понятие как «искусственные пожары» или управляемые. Необходимость управляемых пожаров в том, чтобы уничтожить в лесу пожароопасные горючие материалы, отходы лесозаготовок, подготовить участки для посадки саженцев молодых деревьев, а также борьба с болезнями леса и вредными насекомыми. Иногда пожары вызывают искусственно с целью последующей его вырубки (к примеру, в приграничных с Китаем областях Дальневосточного региона России).

Огонь при лесных пожарах может распространяться по трём уровням. Если сгорают лишайники, травы, лесная подстилка, мхи, опавшие листья и ветки, то мы наблюдаем низовой пожар. При низовом пожаре скорость его движения по ветру составляет от 0,25 до 5 километров в час, высота пламени составляет до 2,5 метров, а температура горения около 700 °С и выше. Низовые пожары могут быть устойчивые и беглые:

если в первую очередь сгорает подлесок, верхняя часть напочвенного покрова и подрост, пожар быстро распространяется, исключая места с большим коэффициентом влажности, благодаря чему часть площади остаётся не тронутой огнём, то мы наблюдаем беглый низовой пожар. Такой пожар характерен для весенних периодов, поскольку начинает просыхать только верхний покров леса.

если пожар распространяется медленно, выжигая всё на своём пути, прогорает живой и мертвый напочвенный покров, полностью сгорают подрост и подлесок, сильно обгорают корни и кора деревьев, то данные признаки характеризуют устойчивый низовой пожар. Чаще всего устойчивые пожары возникают в середине лета. [3]

Если низовой пожар не будет устранен, то из него может возникнуть верховой пожар, как следующая стадия его развития. Основные особенности верхового лесного пожара в том, что он охватывает полог леса, при этом низовой огонь является его составной частью. Верховой пожар чаще всего

возникает летом, поскольку наступает время засухи в сочетании с сильными ветрами. При таком пожаре скорость распространения составляет от 5 до 30 километров в час, температура в очаге пожара от 900°C до 1200°C, свойственна яйцевидно-вытянутая область распространения. Если лес охватил верховой пожар, то деревья погибают полностью.

Верховые пожары, как и низовые, могут быть беглыми (ураганными) и устойчивыми (повальными):

если при пожаре наблюдается скачкообразное движение беглого верхового пожара, связанное с подогревом полога теплотой, распространение горения по пологу опережает продвижение кромки низового пожара, пожар очень быстро распространяется, и возник он в условиях сильного ветра, то это беглый (ураганный) пожар. Характерная скорость распространения от 7 до 30 километров в час, в период скачка горение распространяется по пологу со скоростью 3-5 метров в секунду, пламя способно за 15-20 секунд пройти расстояние в 80 метров;

если огонь движется сплошной стеной от надпочвенного покрова до крон деревьев, при этом кроны деревьев сгорают по мере продвижения кромки низового пожара, но пожар самостоятельно не распространяется по пологу, то мы наблюдаем повальный верховой пожар. Характерная скорость распространения до 8 километров в час. Повальный верховой пожар губит лес полностью.

Сейчас на территории России чаще наблюдается распространение верховых пожаров. Такие пожары образуют большие массы искр из горячей хвои и ветвей, которые создают низовые пожары на несколько десятков и сотен метров от основного очага пожара.

Пожары, связанные с возгоранием торфа и имеющие свойство распространяться со скоростью 1 километр в сутки называются подземными или почвенными пожарами. Они могут быть малозаметны и распространяться на глубине до нескольких метров, в связи с этим они плохо поддаются тушению и представляют особую опасность поскольку торфяники могут гореть без воздуха

и даже при высокой влажности. Перед тушением почвенных пожаров необходима разведка [3].

### **1.1 Классификация лесных пожаров по силе**

Лесные пожары делятся на почвенные, верховые и низовые, в свою очередь по скорости распространения огня низовые и верховые пожары могут быть беглые и устойчивые. Согласно анализу, скорость распространения слабого низового пожара не превышает 1 метров в минуту, а высота слабого низового пожара доходит до 0,5 метров. Средний низовой пожар может распространяться со скоростью от 1 метра в минуту до 3 метров и его высота не менее 1,5 метров. Сильный низовой пожар распространяется свыше 3 метров в минуту, с высотой более 1,5 метров.

Скорость распространения верховых пожаров превышает показатели низовых. Согласно данным, слабый верховой пожар может распространяться до 3 метров в минуту, средний до 100 метров в минуту, а сильный может достигать свыше 100 метров в минуту.

Почвенные пожары выгорают в глубину. Следовательно, слабые почвенные пожары характеризуются прогоранием, не превышающим 25 сантиметров в глубину, средние 25-50 сантиметров, а сильные более 50 сантиметров.

Оценивая лесные пожары по площади загоранием считается, когда огнём охвачено 0,1-2 гектара, малый огонь – от 2 до 20 гектар, средний - от 20 до 200 гектар, крупный – от 200 до 2.000 гектар и катастрофическим считается пожар, превышающий более 2.000 гектар.

В среднем продолжительность крупных лесных пожаров составляет 10-15 суток, за это время выгорает площадь в 450-500 гектар [4,5].



## 1.2 Причины возникновения лесных пожаров

Самовозгорания торфяной крошки, деятельность человека, грозовые разряды и сельскохозяйственные палы при жаркой погоде могут стать причинами возникновения лесных пожаров.

Лесные и сельскохозяйственные рабочие, пастухи, охотники, рыболовы, сборщики ягод и грибов часто разводят в лесу костры и, оставляя их непотушенными, уходят, бросают непогашенные спички и окурки, в результате чего возникают лесные пожары; наконец, в редких случаях имеют место умышленные поджоги леса и пожары, возникшие от молний.

Пожарная опасность лесных насаждений определяется такими факторами: 1) способностью насаждений гореть (служить местом и материалом для возникновения лесных пожаров); 2) наличием источников огня (огнеопасных производств в лесу); большой посещаемостью леса охотниками, пастухами, отдыхающими, сборщиками грибов и ягод и лекарственных растений; наличием железных дорог в лесу; 3) условиями тушения лесных пожаров (отдаленностью участков от населенных пунктов и других источников рабочей силы и средств пожаротушения).

Наибольшей горимости подвержены хвойные насаждения — сосновые, еловые, пихтовые, кедровые и лиственничные с хвойным подростом и подлеском, с почвенным покровом из лишайников, мхов, вереска, подсохших травянистых растений и при наличии лесного хлама. Меньшей горимостью отмечаются лиственные леса — дубравы на свежих и влажных почвах, березняки, ольшаники. Горимость лесов зависит также от времени года и метеорологических условий. Весной до появления зеленой растительности и осенью после ее высыхания наблюдаются более частые массовые лесные пожары. Летом большое значение в отношении возникновения лесных пожаров (повышение пожарной опасности), имеет продолжительность бездождного периода: чем больше прошло дней после дождя, тем выше риск возникновения пожара и наоборот.

Горимость лесов зависит также от температуры и сухости воздуха (дефицита влажности): чем выше температура и сухость воздуха, тем ниже пожарная безопасность и наоборот. Наибольшая горимость леса наблюдается в середине и начале второй половины дня с 12 до 15 часов; к вечеру риск снижается [4].

### **1.3 Последствия и профилактика лесных пожаров**

Последствия лесных пожаров зачастую сказываются губительно для окружающей среды. В следствии пожара в лесу могут распространяться дереворазрушающие грибки, вредные насекомые, ухудшится почвенные условия. Поскольку при тушении лесных пожаров используются фторсодержащие поверхностно-активные вещества (ПАВ), то это может привести к разрушению озонового слоя Земли и вызвать необратимые генные изменения у животных. Так же от лесных пожаров гибнут многие животные, а те, что успевают спастись уходят на другие территории в поисках пропитания.

Вследствие пожаров в атмосферу выбрасывается от 80 до 100 тонн дымовых частиц, в 10 тоннах таких газов могут содержаться окись серы, азота и углевода.

Бушующие в России лесные пожары не только разрушают строения, губят животных и людей, но и уничтожают ценные деревья, уничтожают экосистему. Более 110 природных пожаров зафиксировано в мае 2016 года в восьми регионах России. «На территории Российской Федерации, по данным Рослесхоза, в восьми субъектах РФ действует 116 очагов природных пожаров. Наибольшее количество очагов и площадей пожаров зафиксировано в Амурской области, Бурятии и Забайкальском крае. Органы управления и силы МЧС России в этих регионах функционируют в режиме «чрезвычайная ситуация», — сообщил начальник Национального центра управления в кризисных ситуациях МЧС Виктор Яцуценко в ходе телемоста с президентом РФ В. В. Путиным.

Он рассказал, что спасатели при поддержке авиации за одни только сутки отстояли от пожаров более 70 населенных пунктов. При этом в текущем году от

природных пожаров пострадали четыре населенных пункта. «С начала пожароопасного периода имели место случаи перехода пожаров на жилые дома в четырех населенных пунктах в трех субъектах РФ», — уточнил он.

Руководитель программы по особо охраняемым природным территориям Гринпис Михаил Крейндлин, отвечая на вопрос о сроках восстановления лесов, пострадавших от верховых пожаров, во время которых горит не только лесная подстилка – трава и хвоя, но деревья целиком сказал: «Если не принимать дополнительных мер, в любом случае, на восстановление уйдут сотни тысяч лет».

Координатор проектов по лесной политике Всемирного фонда дикой природы России Николай Шматков отмечает, что: «Если лес пройден верховым пожаром, то в первые годы после пожара там будет лишь пустыня».

Экологи считают, что самыми уязвимыми являются лиственные породы деревьев такие, как ясень, дуб и липа, а также еловые леса, поскольку после пожара ель не восстанавливается. С наименьшими потерями проходит пожар в сосновом лесу, так как сосна менее других деревьев подвержена выгоранию и способна выдержать низовые пожары. Легче пожары переносят крупные деревья, у них обгорает кора, но поскольку у мелких деревьев кора не такая толстая, то они сгорят в первую очередь. При такой тенденции лес будет стареть.

Для снижения пожароопасной ситуации в лесах необходимо предпринять меры по предупреждению и распространению лесных пожаров и проводить ряд лесоводческих мероприятий. В качестве профилактики рекомендуется проводить санитарные рубки, очистка мест рубок леса, создание систем противопожарных барьеров и строительству специальных противопожарных объектов.

Для уменьшения опасности возгорания в лесу необходимо отчистить его от сухостоя и валежника, проложить около трёх минерализованных полос с расстоянием 50 - 60 метров между ними, устранить подлесок, и периодически выжигать надпочвенный покров.

Очень важно разработать мероприятия по эффективному тушению крупных пожаров. Данную работу можно разделить на несколько этапов такие как: разведка пожара, или уточнение границ пожара с выявлением вида и силы горения в разное время суток; локализация пожара, т.е. устранение возможностей нового распространения пожара; ликвидация пожара, т.е. дотушивание очагов горения; наблюдение за местом пожара.

По результатам разведки прогнозируют возможное положение кромки пожара, ее характер, силу горения и требуемое время для полного тушения пожара. На основе прогноза развития пожара и с учетом лесопатологической характеристики участков, окружающих пожар, возможных опорных линий (рек, ручьев, лошин, дорог и пр.) составляется план остановки пожара, определяются приемы и способы остановки пожара.

Вторым этапом является локализация пожара. На этом этапе важно остановить распространение пожара, воздействуя на его горящую кромку, а после провести прокладку заградительных полос и канав. Важно предотвратить возобновление и распространение лесного пожара.

Поскольку лесные пожары опасны не только для растительности и животных, а также для людей необходимо владеть основными методами защиты населения. Очень важно исключить пребывание людей в зоне пожара, для этого проводится эвакуация из населённых пунктов, ограничивается въезд в пожароопасные районы и проводится экстренное спасение людей и сельскохозяйственных животных с территорий охваченных огнём. Далее осуществляется тушение пожаров с соблюдением техники безопасности.

При организации работ в зоне пожара все участники его ликвидации должны быть обеспечены специальной одеждой, касками, противодымными масками или противогазами со специальными патронами для защиты от окиси углерода. В каждой группе должен быть проводник, хорошо знающий местность; наблюдатель, следящий за направлением распространения огня, падающими деревьями и осуществляющий связь со штабом пожаротушения по средствам связи. Участники работ по тушению лесного пожара должны знать возможные

укрытия от огня, пути подхода к ним и пути эвакуации из зоны пожара, а также характерные ориентиры на местности.

Важно соблюдать особые меры безопасности при использовании техники для тушения пожаров, чтобы исключить опасность возгорания этой техники. Необходимо исключить нахождение машин между линией отжига и фронтом пожара. Следует оставлять патрульных для ликвидации возможных очагов образующегося огня в тылу отжига. Допускать к работе со специальными аппаратами и техникой можно только специально подготовленных людей, а при проведении взрывных работ следует соблюдать специальные правила безопасности.

В случаях если пожар тушится водой, нельзя направлять ее на электроустановки и линии электропередач. Если есть необходимость пройти через зону горения следует задержать дыхание, чтобы не получить ожог дыхательных путей.

Запрещается устраивать ночлег в зоне действующего пожара. При устройстве мест для ночлега и отдыха для людей, участвующих в тушении пожара нужно принимать соответствующие меры предосторожности на случай внезапного прорыва или изменения направления движения огня.

В лесу запрещается пользоваться открытым огнём (бросать горящие спички, окурки и вытряхивать из курительных трубок горячую золу), использовать при охоте пыжи из легковоспламеняющихся или тлеющих материалов, оставлять (кроме специально отведенных мест) промасленный или пропитанный бензином, керосином и иными горючими веществами обтирочный материал, заправлять горючими материалами топливные баки работающих двигателей внутреннего сгорания, использовать машины с неисправной системой, а также курить или пользоваться открытым огнем вблизи машин, заправляемых горючим. Не рекомендуется оставлять на освещенной солнцем лесной поляне бутылки или осколки стекла, так как, фокусируя лучи, они способны сработать как зажигательные линзы. В целях предупреждения пожаров в пожароопасный период в лесу запрещено выжигать траву под деревьями, на

лесных полянах, прогалинах и лугах, а также стерню на полях, расположенных в лесу, а также разводить костры в хвойных молодняках, на торфяниках, лесосеках с порубочными остатками и заготовленной древесиной, в местах с подсохшей травой, под кронами деревьев [4].

Математическая модель и алгоритм расчета текущих выбросов поллютантов в атмосферу при верховых лесных пожарах

Для повальных верховых лесных пожаров справедлива та же общая математическая модель для определения выбросов загрязняющих веществ и теплоты, что и в приложении А, если под контуром S понимается контур верхового лесного пожара.

Повальный верховой пожар возникает, если выполняется следующее условие:

$$h_2 < h_n = k\sqrt{m_3\omega_n}, \quad u_\infty > 2.0 \text{ м/с}, \quad (\text{Б.1})$$

где  $h_2$  - высота нижней границы полога леса;

$k = 1.6$  эмпирический коэффициент;

$u_\infty$  - скорость ветра в кронах деревьев.

Скорость распространения верхового лесного пожара в том случае, если направление распространения совпадает с направлением ветра определяется формулой:

$$\omega = \frac{u_\infty [\bar{q} + \sqrt{\bar{q}^2 - 8\bar{q}\varepsilon(\pi+1)(\theta_0 - 1)}]}{2\bar{q}(\pi+1)}, \quad \pi = \sum_{i=1}^4 \frac{\rho_i \varphi_{in} C_{pi}}{\rho_{5\infty} C_{p5}}, \quad (\text{Б.2})$$

$$\bar{q} = (\rho_{5\infty} C_{p5} T_\infty)^{-1} \left\{ \left[ \frac{q_3 M_1 \alpha_c}{M_c} + q_5 (1 - \alpha_c) v_T \right] \rho_1 \varphi_{1n} - q_2 \rho_2 \varphi_{2n} \right\}, \quad (\text{Б.3})$$

$$\varepsilon = \frac{\alpha \lambda_T}{\Delta h (\rho_{5\infty} C_{p5} u_{*\infty})^2}, \quad \theta_0 = \frac{T_0}{T_\infty} = 1 + \frac{k \bar{q}_0}{1 + \pi}, \quad \bar{q}_0 = q |_{\varphi_{2n} = 0}$$

где  $\alpha_c$  - коксовое число;

$M_1, M_c$  - молекулярная и атомная массы кислорода и углерода;

$q_5$  - теплота сгорания газообразных продуктов пиролиза;

$v_T$  - массовая доля газообразных горючих продуктов пиролиза;

$q_2$  - теплота испарения связанной воды;

$k = 1.6$  - эмпирическая постоянная;

$q_3$  - теплота сгорания коксика;

$\rho_1, \rho_2, \rho_3$  и  $\rho_5$  - плотности сухого органического вещества, связанной с ним воды, коксика и воздуха;

$\alpha$  - коэффициент теплообмена полога леса с приземным слоем атмосферы;

$\lambda_t$  - коэффициент турбулентной теплопроводности;

$T_0$  - максимальная температура во фронте верхового лесного пожара;

индекс  $\infty$  приписывается величинам для нормальной среды в дали от фронта;

$n$  - начальным значениям параметров состояния в зоне лесного пожара.

Применение формулы (Б.2) возможно только при  $W < W_*$ , где  $W_*$  - предельное среднее влагосодержание в кронах. При  $W > W_*$  верховой пожар не распространяется.

Формулы (Б.2), (Б.3) получены в результате аналитических и численных исследований. При  $2 \text{ м/с} < u_* < 4 \text{ м/с}$ ,  $v_T = 0.7$ ,  $\alpha_c = 0.06$ ,  $0\% < W < 90\%$  ( $W_* = 90\%$  - предельное влагосодержание ЛГМ в кронах),  $0.15 \text{ кг/м}^3 < \rho_f < 0.3 \text{ кг/м}^3$  выражение (Б.3) аппроксимирует результаты численных расчетов с погрешностью, не превышающей 10%.

Для определения контура повального верхового лесного пожара можно использовать ту же формулу (А.5), что и для низовых лесных пожаров с полуосями  $a_B, b_B$  и координатой  $x_0$ .

$$a_B = \frac{(\omega_A^{(B)} + \omega_B^{(H)})t}{2}, b_B = \omega_C^{(H)}t, x_0 = \frac{(\omega_A^{(B)} - \omega_B^{(H)})t}{2}. \quad (\text{Б.4})$$

Здесь ось  $x$  - направлена в сторону ветра.  $\omega_A^{(B)}$  - скорость верхового лесного пожара, определяемая по формуле (Б.2),  $\omega_C^{(H)}$  - скорость низового лесного пожара, распространяющегося перпендикулярно скорости ветра и определяемая по формуле  $\omega_B^{(H)}$  - скорость низового лесного пожара, который распространяется против скорости ветра (см (1.13)).

Для повального верхового пожара при определении  $M_{\alpha}$  можно использовать ту же методику, что и для низового лесного пожара. Очевидно, что в этом случае сгорает не только напочвенный покров, но и масса ЛГМ в кронах деревьев. Поэтому для определения выбросов при верховых лесных пожарах необходимо использовать формулу:

$$M_{\alpha B} = \frac{K_{\alpha B} \pi m_{3B}}{2N_*} \left\{ 1.5 \left[ \frac{(\omega_A^{(B)} + \omega_B^{(H)})}{2} + \omega_C^{(H)} \right] - \sqrt{\frac{(\omega_A^{(B)} + \omega_B^{(H)})}{2} \omega_C^{(H)}} \right\} t^2 \sum_{j=1}^N \omega_n(\alpha_j) \quad (Б.5)$$

В отличие от низового лесного пожара, верховой не распространяется против ветра. Поэтому в формуле (Б.5) суммирование по  $j$  ограничивается  $N_* < N$ , где  $N$  - полное число разбиений для всего эллипса, моделирующего контур низового лесного пожара. Известно, что верховой лесной пожар возникает и распространяется лишь в том случае, когда равновесная скорость ветра в пологе леса в одномерном случае удовлетворяет условию:

$$u_{\alpha} > u_{\alpha^*} = 2 \text{ м/с.} \quad (Б.6)$$

В двумерном случае это условие принимает вид:

$$u_{n\alpha}(\alpha_j) > u_{\alpha^*}. \quad (Б.7)$$

Из условия равенства

$$u_{n\alpha}(\alpha_j) = u_{\alpha^*} \quad (Б.8)$$

легко находим предельный угол  $\alpha_{j^*}$ , при котором еще имеет место распространения верхового лесного пожара. Этому углу и соответствует значение  $N_*$ .

Общее количество поллютантов, выделяющихся при распространении повального верхового лесного пожара равно:

$$M_{\alpha} = M_{\alpha B} + M_{\alpha H}, \quad (Б.9)$$

где  $M_{\alpha H}$  - определяется по формуле, а  $M_{\alpha B}$  - по (Б.5).

Легко видеть, что при повальном лесном пожаре  $M_{\alpha} \sim t$ , как и в случае низового лесного пожара. Площадь повального верхового лесного пожара определяется по формуле:

$$A_B = \frac{\pi}{2} (\omega_A^{(B)} + \omega_B^{(H)}) \omega_C^{(H)} t^2. \quad (Б.10)$$



Если известна площадь верхового лесного пожара  $S_B$ , то время горения легко определить по формуле:

$$t_T = \sqrt{\frac{2S_B}{\pi(\omega_A^{(B)} + \omega_B^{(H)})\omega_C^{(H)}}}. \quad (Б.11)$$

#### 1.4 физико-математическая постановка задачи

В настоящей методике используются следующие термины с соответствующими определениями и обозначениями:

Лесными горючими материалами (ЛГМ) называются природные углеводородные топлива, к которым относятся тонкие веточки, хвоинки или листья в кронах деревьев и опавшие на землю, а также напочвенный покров (трава, кустарники, мох, лишайник), болотные растения и торф.

Лесным пожаром называется явление неуправляемого многостадийного горения в открытом пространстве на покрытой лесом площади, в рамках которого имеют место взаимосвязанные процессы конвективного и радиационного переноса энергии, нагревания, сушки и пиролиза лесных горючих материалов (ЛГМ), а также горение газообразных и догорание конденсированных продуктов пиролиза ЛГМ.

В любой момент времени можно выделить на территории, покрытой лесом, достаточно большой контрольный объем среды - зону пожара, внутри которой параметры состояния среды в результате физико-химических превращений, обусловленных лесным пожаром, отличаются от невозмущенных значений, определяемых погодными условиями и типом растительности. Схема зоны лесного пожара представлена на рис. 1, 2.

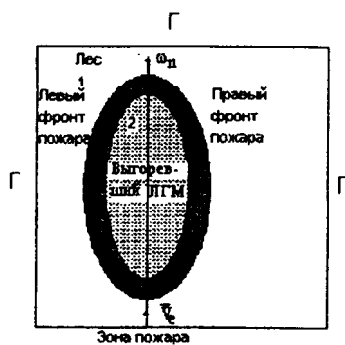


Рис. 1.1 Схема зоны лесного пожара (вид сверху)

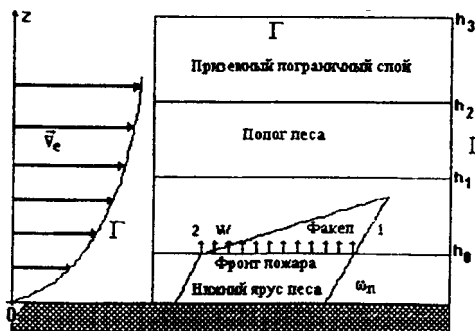
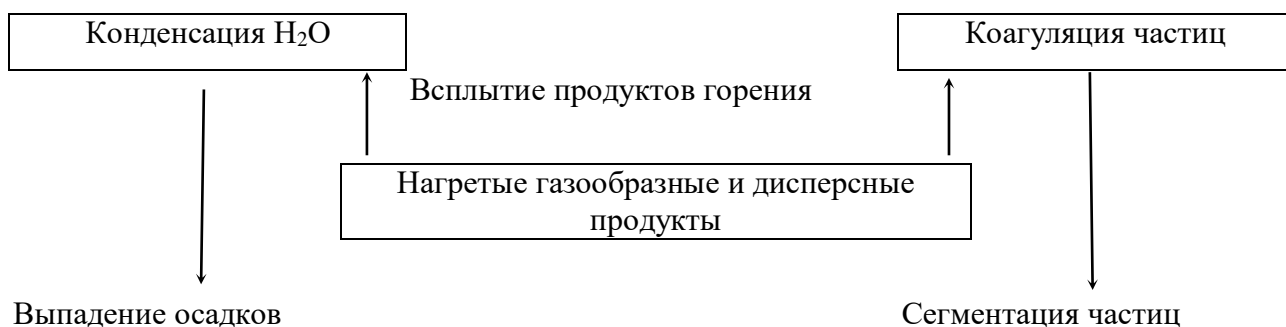


Рис. 1.2 Схема зоны лесного пожара (вид в вертикальной плоскости)

Схема физико-химических процессов в зоне лесного пожара представлена на рис. 1.2. Химический состав газообразных и дисперсных продуктов горения ЛГМ дается в таблице

### Схема физико-химических процессов в приземном слое атмосферы над зоной лесного пожара



### Схема физико-химических процессов во фронте лесного пожара



Наиболее сильное изменение параметров состояния среды происходит в некоторой части зоны лесного пожара называемой фронтом пожара, который распространяется с некоторой скоростью по территории покрытой лесом. Эта скорость определяется процессами переноса массы и энергии, а также физико-химическими процессами - сушкой, пиролизом ЛГМ, горением газообразных и конденсированных продуктов пиролиза ЛГМ. Визуально фронт лесного пожара наблюдается в виде светящейся зоны лесного пожара.

Поверхность 1, отделяющая фронт от несгоревших ЛГМ, называется внешней кромкой фронта лесного пожара. Ее проекцию на подстилающую поверхность будем называть контуром лесного пожара. Очевидно, что последний отделяет ЛГМ, пораженные огнем, от несгоревших материалов. Внешняя кромка, распространяющаяся по ветру, называется передней, а против ветра - задней кромкой. На схеме зоны лесного пожара (рис. 1 и 2) Г - граница зоны лесного пожара, 1 - контур лесного пожара (рис. 1) и внешняя кромка фронта лесного пожара (рис. 2), 2 - внутренняя кромка фронта пожара (рис. 2) и проекция этой кромки на горизонтальную подстилающую поверхность (рис. 1); горизонтальные стрелки на (рис. 2) обозначают скорость (по величине и направлению) невозмущенного ветра для различных высот, а вертикальные w скорость вдува газообразных и дисперсных горючих продуктов горения из фронта пожара в приземный слой атмосферы.

Скорость распространения лесного пожара направлена по нормали к контуру лесного пожара, поэтому называется нормальной скоростью распространения и определяется формулой:

$$\omega_n = \lim \frac{\Delta n^r}{\Delta t}, \quad (1.1)$$

где  $\Delta n^r$  приращение контура пожара по нормали за промежуток времени  $\Delta t$ .

Поверхность 2 (см. рис. 1, 2) отделяющая фронт пожара от сгоревших ЛГМ, называется внутренней кромкой лесного пожара. Она может продвигаться как по ветру, так и против ветра и, следовательно, с меньшей скоростью, чем

передняя внешняя кромка, которая распространяется в направлении ветра. В результате толщина (ширина) фронта для различных пожаров может меняться в зависимости от времени, скорости ветра и запаса ЛГМ, который мало отличается от невозмущенных значений.

В зоне лесного пожара имеет место пористо-дисперсная среда, которая называется средой пожара и состоит из сухого органического вещества (объемная доля  $\varphi_1$ ), воды в связанном с этим веществом состоянии ( $\varphi_2$ ), конденсированного продукта пиролиза - коксика ( $\varphi_3$ ), конденсированного продукта горения - золы ( $\varphi_4$ ), газовой фазы ( $\varphi_5$ ), включающей в себя компоненты воздуха, и газообразных продуктов пиролиза ( $\varphi_5$ ), и дисперсных продуктов горения, которые состоят из частиц сажи (объемная доля  $\varphi_6$ ), и частиц золы ( $\varphi_7$ ).

Границей зоны лесного пожара  $\Gamma$  называется поверхность, на которой параметры состояния среды (температура, скорость ветра, концентрации компонентов) не отличаются от параметров состояния невозмущенной среды. Очевидно, параметры состояния среды в зоне пожара асимптотически стремятся к невозмущенным значениям. Поэтому для конкретного определения границы зоны пожара необходимо априори определять степень допустимых отличий  $E$  невозмущенных и возмущенных значений параметров состояния на границе зоны пожара  $\Gamma$ .

Выбросом, загрязняющий веществ в атмосферу называется поступление за определенное время в воздух или образование в нем физико-химических агентов и веществ, неблагоприятно воздействующих на людей и окружающую среду. Выброс любого вредного вещества  $\alpha$  обозначается  $M_\alpha$  и измеряется в единицах массы (г, кг, моль). Различают итоговый и текущий выбросы загрязняющих веществ. Итоговым выбросом называется выброс загрязняющих веществ за все время горения. Текущим называется выброс, соответствующий рассматриваемому моменту времени, которое меньше чем полное время горения. Поэтому текущий выброс всегда меньше итогового. [4]

Удельным выбросом (коэффициентом эмиссии)  $\alpha$  - вещества при пожаре называется отношение:

$$K_{\alpha} = \frac{m_{\alpha}}{m_{\Gamma}}, [K_{\alpha}] = \text{кг/кг}, \alpha = 1, 2, \dots, N, \quad (1.2)$$

где  $m_{\Gamma}$  - масса ЛГМ на единице площади лесной территории, сгоревшая при лесном пожаре;

$m_{\alpha}$  - масса  $\alpha$ -компонента, образованного при горении ЛГМ на той же единице площади лесной территории;

индекс  $\alpha$  изменяется от 1 до  $N$ , где  $N$  - общее число поллютантов (вредных веществ), возникающих при лесном пожаре.

Если известна химическая формула ЛГМ, то при организованном горении можно определить коэффициенты эмиссии с помощью стехиометрии - науки о количественных соотношениях, в которых различные вещества вступают друг с другом в химическую реакцию. Для неконтролируемого горения  $K_{\alpha}$  вместо (2) удобнее определять и опытным путем.

Недожогом ЛГМ называется масса несгоревшего в условиях неконтролируемого горения топлива  $m_{\text{н}}$  на единицу площади. Наряду с  $m_{\text{н}}$  используется коэффициент недожога, определяемый по формуле

$$K_{\text{н}} = \frac{m_{\text{н}}}{m_0}, \quad (1.3)$$

$m_0$  - запас ЛГМ в абсолютно сухом состоянии,  $\text{кг/м}^2$ .

Количество сгоревшего ЛГМ  $m_{\Gamma}$  можно определить, используя закон сохранения массы

$$m_{\Gamma} = m_0 - m_{\text{н}}. \quad (1.4)$$

где  $m_{\Gamma}$  измеряется в  $\text{кг/м}^2$ .

Поллютант - вещество, загрязняющее среду обитания. Русский синоним этого слова - загрязнитель. Масса выброса поллютанта  $\alpha$ -сорта, возникающего при горении единицы площади растительного покрова ЛГМ, на основании (3) и (3.4) определяется по формуле:

$$m_{\alpha} = K_{\alpha} (m_0 - m_{\text{н}}). \quad (1.5)$$

Величина  $m_\alpha$  измеряется в  $\text{кг}/\text{м}^2$ .

Выбросом тепла в атмосферу называется количество теплоты  $Q_{\text{п}}$ , выделяющееся при горении массы  $m_{\text{г}}$  ЛГМ. Выброс тепла в атмосферу определяется по формуле

$$Q_{\text{п}} = q (m_0 - m_{\text{н}}) \quad (1.6)$$

Величина  $Q_{\text{п}}$  измеряется в  $\text{Дж}/\text{м}^2$ .

$q$  - тепловой эффект горения ЛГМ,  $\text{Дж}/\text{кг}$ ;

$S_i$  - площадь лесной территории, пройденная огнем,  $\text{м}^2$ ;

$M_{\text{н}}$  - масса несгоревшего в результате пожара ЛГМ на площади  $S_i$ ,  $\text{кг}$ ;

$M_{\text{г}}$  - масса сгоревшего в результате пожара ЛГМ на площади  $S_i$ ,  $\text{кг}$ ;

$K$  - коэффициент полноты сгорания, определяющий какая часть исходной массы топлива сгорела при пожаре:

$$K = \frac{m_{\text{г}}}{m_0}, \quad K = 1 - K_{\text{н}}. \quad (1.7)$$

$W$  - влагосодержание ЛГМ, в процентах;

$W_*$  - предельное значение влагосодержания, выше которого ЛГМ не горит, в процентах;

$x, y$  - координаты контура пожара;

$a, b$  - большая и малая полуоси эллипса, соответствующего контуру пожара;

$x_0, y_0$  - координаты центра эллипса;

$V_{\text{е}}$  - скорость ветра,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$\omega_{\text{А}}$  - скорость распространения фронта пожара по направлению ветра,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$\omega_{\text{В}}$  - скорость распространения фронта пожара против скорости ветра,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$\omega_{\text{С}}$  - скорость распространения фронта пожара перпендикулярно скорости ветра,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$t$  - текущее время горения,  $\text{с}$ ;

$t^*$  - полное время горения ЛГМ,  $\text{с}$ ;

$M_{\alpha^*}$  - полное значение выбросов поллютантов к моменту времени  $t^*$ ,  $\text{кг}$ ;

$Q^*$  - полное значение выбросов тепла к моменту времени  $t^*$ ,  $\text{Дж}$ ;

$S_r$  - открытая площадь горения торфяной залежи, через которую происходит выброс поллютантов в атмосферу,  $m^2$ .

### **1.5 Описание методики расчета итоговых выбросов вредных веществ и тепла при распространении лесных пожаров**

Работниками региональных авиационных баз охраны и защиты лесов и региональных управлений лесами Федеральной лесной службы России после каждого лесного пожара заполняется карточка учета лесного пожара (см. Приложение Г). В ней указывается тип лесного пожара (низовой, верховой или подземный), выгоревшая площадь и ряд других данных, которые носят служебный характер.

Величина  $K$ , как следует из второй формулы (1.7), выражается через коэффициент недожога  $K_n$ , который может быть определен в результате осмотра последствий лесного пожара.

Имея карточку лесного пожара и зная  $K_\alpha$  и  $K$  итоговый выброс массы  $\alpha$ -компонента и тепла  $Q_{\pi}$  для любого типа лесного пожара следует определяться по формуле:

$$M_{\alpha i} = S_i K_i K_{\alpha i} m_{30i}, Q_{\pi i} = q_i k_i m_{30i}, i = 1, 2, 3. \quad (1.8)$$

$S_i$  - площадь лесной территории, пройденная огнем.

$Q_{\pi i}$  - теплота, выделившаяся при пожаре в Дж.

$q_i$  - тепловой эффект горения ЛГМ в Дж/кг,

индекс  $i$ , равный

1 - соответствует параметрам низового лесного пожара;

2 - верховому лесному пожару;

3 - пожару на торфяниках.

Остальные буквенные обозначения имеют тот же смысл, что и в предыдущих формулах.

Количество поллютантов определяется не только скоростью горения и размерами очага горения, но и коэффициентами эмиссии  $K_{\alpha}$  поллютантов, которые зависят от типа растительности и условий горения. В таблице 1 приведены  $K_{\alpha}$ .

Таблица 1. Осредненные значения коэффициентов эмиссии  $K_{\alpha}$

Наименование поллютанта	Значение $K_{\alpha}$ , кг/кг
Оксид углерода (окись углерода)	0.135
Углекислый газ	0.094
Оксид азота	0.000405
Сажа (элементарный углерод) при горении	0.0014
Дым (режим горения)	0.014
Дым (режим тления)	0.055
Сажа при тлении	0.011
Метан	0.075
Другие углеводороды	0.011
Озон	0.001

Математическое моделирование – средство изучения реального объекта, процесса или системы путем их замены математической моделью, более удобной для экспериментального исследования с помощью компьютера.

Математическая модель – это математическое представление реальности. Является частным случаем понятия модели, как системы, исследование которой позволяет получать информацию о некоторой другой системе.

Процесс построения и изучения математических моделей называется математическим моделированием.

Все естественные и общественные науки, использующие математический аппарат, по сути, занимаются математическим моделированием: заменяют объект его математической моделью и затем изучают последнюю. Связь математической модели с реальностью осуществляется с помощью цепочки гипотез, идеализаций и упрощений. С помощью математических методов



описывается, как правило, идеальный объект, построенный на этапе содержательного моделирования.

Целью моделирования является получение, обработка, представление и использование информации об объектах, которые взаимодействуют между собой и внешней средой, а модель выступает как средство познания свойств и закономерностей объекта.

Теорией моделирования является раздел науки, изучающий способы исследования свойств объектов-оригиналов, на основе замещения их другими объектами-моделями. В основе теории моделирования лежит теория подобия, позволяющая переносить результаты исследования на модели в реальную жизнь.

Математическое моделирование, кроме исследования объекта, процесса или системы и составления их математического описания, также включает в себя:

- построение алгоритма, моделирующего поведение объекта, процесса или системы;
- проверка адекватности модели и объекта, процесса или системы на основе вычислительного или натурального эксперимента;
- корректировка модели;
- исследование полученной модели.

В результате исследования динамики пожаров, метод математического моделирования позволяет адекватно описывать состояние лесного биогеоценоза и приземного слоя атмосферы при пожарах, и поэтому находит широкое применение в процессе прогнозирования лесных пожаров и их последствий.

Метод контрольного объема

В работе приводятся результаты математического моделирования распространения примеси в атмосфере

Для численного интегрирования исходной системы уравнений используется метод контрольного объёма.

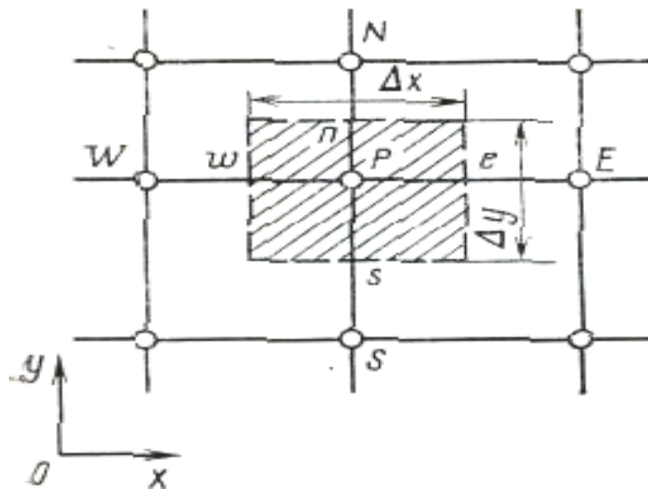


Рис 3. Контрольный объём (заштрихованная область) для двухмерного случая

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

Дискретный аналог для двух измерений.

Часть двумерной сетки показана на рис.3. Для узловой точки  $P$  соседние точки  $W$  и  $E$  расположены по направлению оси  $x$ , точки  $N$  и  $S$  (обозначающие север и юг) — по направлению оси  $y$ . Контрольный объём, окружающий точку  $P$ , показан штриховыми линиями. Глубина объёма в направлении оси  $z$  предполагается равной единице. Обозначения, введенные на рис. 3. для расстояний  $\Delta x$ ,  $(\delta x)e$  и т. д., распространяются здесь на два измерения. Вопрос расположения граней контрольного объёма по отношению к узловым точкам остается все еще открытым. Расположить их точно посередине между соседними точками можно, но можно применить и другие способы, некоторые из них будут рассмотрены ниже. Полученный здесь дискретный аналог можно будет использовать в любом подобном случае.

Предположим, что полученное таким образом значение  $q_e$  распространено на всю поверхность площадью  $\Delta y \times 1$ . Интенсивность переноса теплоты через другие поверхности контрольного объёма можно определить подобным образом. В этом случае дифференциальное уравнение. [4]

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + S$$

можно быстро привести к дискретному аналогу

$$a_P T_P = a_E T_E + a_W T_W + a_N T_N + a_S T_S + b$$

где

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

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

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

Произведение  $\Delta x \Delta y$  представляет собой контрольный объем.

Отметим одно из свойств конвективно-диффузионной задачи. Поскольку заданное поле течения должно удовлетворять уравнению неразрывности

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j) = 0 \quad (1.9)$$

то общее дифференциальное уравнение

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \Phi) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j \Phi) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma \frac{\partial \Phi}{\partial x_j} \right) + S \quad (1.10)$$

можно записать в виде:

$$\rho \frac{\partial \Phi}{\partial t} + \rho u_j \frac{\partial \Phi}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma \frac{\partial \Phi}{\partial x_j} \right) + S \quad (1.11)$$

Из формы уравнения (1.11) следует, что для заданных распределений  $\rho$ ,  $u$ ,  $\Gamma$  и  $S$  любое решение  $\Phi$  и его модификация ( $\Phi$  плюс постоянная) должны удовлетворять уравнению (1.11). При этом условии основное правило относительно суммы коэффициентов (правило 4) остается справедливым.

На данном этапе имеются все составляющие, необходимые для получения дискретного аналога, соответствующего общему дифференциальному уравнению. Найдем аппроксимацию двумерного уравнения.

Уравнение (1.10) в двумерной форме можно представить в виде

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\Phi) + \frac{\partial J_x}{\partial t} + \frac{\partial J_y}{\partial t} = S \quad (1.12)$$

где  $J_x$  и  $J_y$  — суммарные (конвекция плюс диффузия) потоки, определенные следующим образом:

$$\begin{aligned} J_x &\equiv \rho u \Phi - \Gamma \frac{\partial \Phi}{\partial x}, \\ J_y &\equiv \rho v \Phi - \Gamma \frac{\partial \Phi}{\partial y} \end{aligned} \quad (1.13)$$

где  $u$ ,  $v$  — компоненты скорости в направлениях осей  $x$  и  $y$ . Интегрирование уравнения (4) по контрольному объему, показанному рис. 2, дает

$$\frac{(\rho_P \Phi_P - \rho_P^0 \Phi_P^0) \Delta x \Delta y}{\Delta t} + J_e - J_w + J_n - J_s = (S_C + S_P \Phi_P) \Delta x \Delta y, \quad (1.14)$$

Аналогичным образом можно проинтегрировать уравнение неразрывности (1) по контрольному объему

$$\frac{(\rho_P - \rho_P^0) \Delta x \Delta y}{\Delta t} + F_e - F_w + F_n - F_s = 0, \quad (1.15)$$

где  $F_e$ ,  $F_w$ ,  $F_n$  и  $F_s$  — массовые расходы потока через грани контрольного объема. Если  $\rho u$  в точке  $e$  считается преобладающей по всей грани  $e$  контрольного объема, то

$$F_e = (\rho u)_e \Delta y. \quad (1.16)$$

Аналогично

$$\begin{aligned} F_w &= (\rho u)_w \Delta y; \\ F_n &= (\rho v)_n \Delta x; \\ F_s &= (\rho v)_s \Delta x. \end{aligned} \quad (1.16.1)$$

Если умножить уравнение (1.16.1) на  $\Phi_P$  и вычесть его из уравнения (1.16), получим

$$\begin{aligned} (\Phi_P - \Phi_P^0) \frac{\rho_P^0 \Delta x \Delta y}{\Delta t} + (J_e - F_e \Phi_P) - (J_w - F_w \Phi_P) + (J_n - F_n \Phi_P) - \\ - (J_s - F_s \Phi_P) = (S_C + S_P \Phi_P) \Delta x \Delta y, \end{aligned} \quad (1.17)$$

Этот способ с использованием (1.16) и (1.16.1) позволяет получить (1.17), являющееся дискретным аналогом комбинации уравнений (1.1) и (1.2), на основе которых получено (1.3). Другим способом можно получить дискретный аналог из уравнения (1.3), но этот способ не так удобен.

Предположение о постоянстве ряда величин на гранях контрольного объема дает возможность применить опыт, полученный при анализе одномерной задачи, к двумерному случаю. Напомним здесь, что уравнения

$$\begin{aligned} J^* - P\Phi_i &= A(\Phi_i - \Phi_{i+1}); \\ J^* - P\Phi_{i+1} &= B(\Phi_i - \Phi_{i+1}). \end{aligned} \quad (1.18)$$

дают способ выражения таких членов, как  $J_e - F_e\Phi_P$  и  $J_w - F_w\Phi_P$ . Используем это следующим образом:

$$\begin{aligned} (J_e - F_e\Phi_P) &= a_e(\Phi_P - \Phi_E); \\ (J_w - F_w\Phi_P) &= a_w(\Phi_W - \Phi_P), \end{aligned} \quad (1.20)$$

где

$$\begin{aligned} a_e &= D_e A(|P_e|) + [|-F_e, 0|]; \\ a_w &= D_w A(|P_w|) + [|F_w, 0|]. \end{aligned} \quad (1.21)$$

Здесь  $D$  и  $D_w$  подобно  $F_e$  и  $F_w$ , содержат площадь  $\Delta y \times 1$  граней  $e$  и  $w$ . Используя выражения для  $J_n - F_n\Phi_P$  и  $J_s - F_s\Phi_P$ , можно записать окончательный вид дискретного аналога. Уравнения (1.21) свидетельствуют, что правило относительно суммы соседних коэффициентов легко выполняется.

Окончательный вид дискретного аналога. Двухмерный дискретный аналог можно записать в следующем виде:

$$a_P \Phi_P = a_E \Phi_E + a_W \Phi_W + a_N \Phi_N + a_S \Phi_S + b, \quad (1.22)$$

где

$$\begin{aligned} a_E &= D_e A(|P_e|) + [|-F_e, 0|]; \quad a_w = D_w A(|P_w|) + [|F_w, 0|]; \\ a_N &= D_n A(|P_n|) + [|F_n, 0|]; \quad a_S = D_s A(|P_s|) + [|F_s, 0|]; \\ b &= S_C \Delta x \Delta y + a_P^0 \Phi_P^0; \\ a_P &= a_E + a_W + a_N + a_S + a_P^0 - S_P \Delta x \Delta y; \quad a_P^0 = \rho_P^0 \Delta x \Delta y / \Delta t; \end{aligned} \quad (1.23)$$

Здесь  $\Phi P^0$  и  $\rho P^0$  обозначают известные значения для времени  $t$ , а все другие величины ( $\Phi P$ ,  $\Phi E$ ,  $\Phi w$ ,  $\Phi N$ ,  $\Phi S$  и т. д.) представляют собой неизвестные величины для времени  $t+\Delta t$ . Массовые расходы  $F_e$ ,  $F_w$ ,  $F_n$  и  $F_s$  определены уравнениями (1.23). Соответствующие проводимости представим в виде

$$\begin{aligned} D_e &= \frac{\Gamma_e \Delta y}{(\delta x)_e}; & D_w &= \frac{\Gamma_w \Delta y}{(\delta x)_w}; \\ D_n &= \frac{\Gamma_n \Delta x}{(\delta y)_n}; & D_s &= \frac{\Gamma_s \Delta x}{(\delta y)_s}. \end{aligned} \quad (1.24)$$

а число Пекле

$$\begin{aligned} P_e &= \frac{F_e}{D_e}; & P_w &= \frac{F_w}{D_w}; \\ P_n &= \frac{F_n}{D_n}; & P_s &= \frac{F_s}{D_s}. \end{aligned} \quad (1.25)$$

Следует отметить, что даже на этой стадии физический смысл различных коэффициентов в (1.4) понятен. Коэффициенты в соседних точках  $a_E$ ,  $a_w$ ,  $a_N$  и  $a_S$  учитывают влияние конвекции и, диффузии для четырех граней контрольного объема, которые зависят от массового расхода  $F$  и проводимости  $D$ . Член  $a_P^0 \Phi_P^0$  характеризует известную величину  $\Phi$  для контрольного объема (для времени  $t$ ), отнесенную к шагу по времени. Оставшиеся члены можно интерпретировать аналогичным образом.

## 2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Под руководством доктора физика–математических наук Валерием Афанасьевичем Перминовым было создано программное обеспечение, предназначенное для расчетов скорости распространения лесного пожара, а также расчета распределений изолиний температуры в различные временные промежутки, выбранные пользователем. Построены графики распространения фронта пожара в зависимости от скорости ветра природного пожара, проходящего (или не проходящего) через разрыв в лесном массиве, и построены контуры фронта пожара в различные моменты времени.

Программное обеспечение создано на таком языке программирования, как “Fortran”. Исходные файлы программы состоят из расчетного модуля “barrier”, начальных данных для расчета “Dd1.dat” и файлов, вывода расчетных данных в отдельный документ: результаты вычисления “results.dat”, а также данные по численному распределению концентраций кислорода, горючих продуктов пиролиза и температуры, (и т.д.): “c1.dat”, “c2.dat”, “t.dat”.

Файлы с названием “x1.dat”, “x2.dat” – это массивы обозначений координат по направлению ветра и перпендикулярно (оси координат X1 и X2), и файлов для построения равных уровней линий и изотерм для CO и кислорода: “levt.dat”, “levc1.dat” и “levc2.dat” (обозначения линий уровней для безразмерных (относительных значений): концентрации кислорода  $C1=C1 / C1e$ ,  $C1=0.23$ ; температуры  $T=T/Te$ ,  $Te=300K$  и концентрации продуктов пиролиза  $C2=C2/C1$ )

Для начала использования расчетной программы “ barrier”, она должна находиться на диск “C://:“. Начальные данные заполняются в документе “Dd1.dat” при помощи текстового редактора. Первоначальный очаг возгорания находится:  $X1=10m$ . Его размер имеет значение 10м по оси X2. Всего в расчетной области находится не менее 201x101 точек.

В лесном массиве можно задать разрыв, (область в которой отсутствуют ЛГМ) задается точками координат по осям.

X1 (IA-начальная и IB - конечная; по направлению ветра) и X2(JA - начальная и JB - конечная; в перпендикулярном направлении). После того, как мы задали очаг возгорания горючего материала полога леса, он отключается.

После сохранения заданных значений в “Dd1.dat” начинает свою работу непосредственно программа “barrier.exe”. Время расчета примерно 10-20 минут, это зависит от производительности вашего ПК. Расчет можно остановить в любое, нужное нам время, любой клавишей клавиатуры.

По завершению вычислений у нас появляются результаты расчетов “t.dat”, “c1.dat”, “c2.dat” и “x1.dat”, “x2.dat”, которые в последствии можно применить для визуализации расчетов. Данные по результатам также можно увидеть в “results.dat”.

Мне нужно разработать численную методику решения задачи математического моделирования возникновения и распространения природного пожара, для эффективного распределения сил и средств для осуществления мероприятий, которые направлены на ликвидацию пожара.

В итоговую модель входят данные о скорости ветра, его направлении, размере очага и дистанцию, на которую распространится пожар через определенное количества время.



### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ (РАЗРАБОТКИ)

#### 3.1 Постановка задачи

В данной работе приводятся результаты расчетов возникновения и распространения верхового лесного пожара по осредненной по высоте полога леса в двухмерной постановке, полученной на основе общей математической модели пожаров. Пусть начало системы координат  $x_1, x_2, x_3=0$  связано с центром источника возникновения лесного пожара, ось  $Ox_3$  направлена вверх, а оси  $Ox_1$  и  $Ox_2$  - параллельно поверхности земли (ось  $x_1$  совпадает с направлением ветра) (рис.4).

В связи с тем, что горизонтальные размеры лесного массива много больше вертикального размера, общая трехмерная система дифференциальных уравнений, описывающая процессы тепломассопереноса в лесном массиве может быть проинтегрирована по вертикальной координате  $x_3$ . Осреднение исходных характеристик по высоте полога леса  $h$  произведено с целью упрощения математической постановки задачи. Приводя основную систему уравнений к дивергентному виду, проинтегрируем, ее по высоте от напочвенного покрова до уровня верхней границы полога леса. Основные допущения, принятые при выводе системы уравнений, начальных и граничных условий: 1) ветер направлен вдоль оси  $X_1$ ; 2) течение носит развитый турбулентный характер и молекулярным переносом пренебрегаем по сравнению с турбулентным, 3) полог леса представляется недеформируемой пористо-дисперсной средой; 4) среда в пологе леса считается двух температурной, т.к. разлагается температура газовой и конденсированной фазы 5) среда находится в локальном термодинамическом равновесии; 6) рассматриваемый 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 газы продукты пиролиза и горения; 7) плотность газовой фазы не зависит от давления из-за малости скорости течения по сравнению со скоростью звука; 8) для описания переноса энергии излучением применяется дифференциальное приближение.

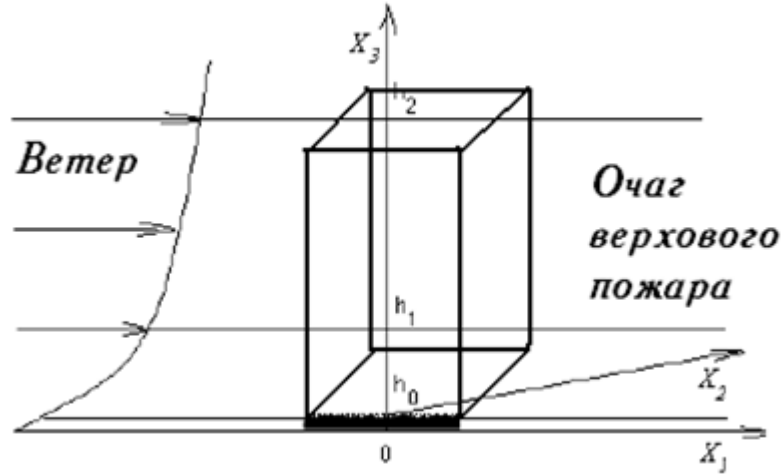


Рис.4. Схема расчётной области

Математически данная выше задача сводится к решению трехмерной системы дифференциальных уравнений в частных производных.

В связи с тем, что горизонтальные размеры лесного массива превышают вертикальные, уравнения трехмерной математической модели могут быть проинтегрированы по высоте. В результате интегрирования получена следующая система уравнений:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho v_j) = \dot{m} - (\dot{c}^- - \dot{c}^+) / h, \quad j = 1, 2, \quad i = 1, 2, 3; \quad (3.1)$$

$$\rho \frac{dv_i}{dt} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{v'_i v'_j}) - \rho s c_d v_i |\vec{v}| - \rho g_i - \dot{m} v_i + (\tau_i^- - \tau_i^+) / h; \quad (3.2)$$

$$\rho c_p \frac{dT}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho c_p v'_j \overline{T'}) + q_5 R_5 - \alpha_v (T - T_s) + (q_T^- - q_T^+) / h + k_g (c U_R - 4\sigma T^4) \quad (3.3)$$

$$\rho \frac{dc_\alpha}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{v'_j c'_\alpha}) + R_{5\alpha} - \dot{m} c_\alpha + (J_\alpha^- - J_\alpha^+) / h, \quad \alpha = 1, 5; \quad (3.4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_j} \right) - k c U_R + 4k_s \sigma T_s^4 + 4k_g \sigma T^4 + (q_R^- - q_R^+) / h = 0, \quad k = k_g + k_s; \quad (3.5)$$

$$\sum_{i=1}^4 \rho_i c_{pi} \varphi_i \frac{\partial T_S}{\partial t} = q_3 R_3 - q_2 R_2 + k_s (cU_R - 4\sigma T_S^4) + \alpha_V (T - T_S); \quad (3.6)$$

$$\rho_1 \frac{\partial \varphi_1}{\partial t} = -R_1, \rho_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial t} = -R_2, \rho_3 \frac{\partial \varphi_3}{\partial t} = \alpha_c R_1 - \frac{M_c}{M_1} R_3, \rho_4 \frac{\partial \varphi_4}{\partial t} = 0; \quad (3.7)$$

$$\sum_{\alpha=1}^5 c_\alpha = 1, p_e = \rho RT \sum_{\alpha=1}^5 \frac{c_\alpha}{M_\alpha}, \vec{v} = (v_1, v_2, v_3), \vec{g} = (0, 0, g),$$

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

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

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

$$t = 0: v_i = 0, T = T_e, c_\alpha = c_{ae}, T_s = T_e, \varphi_k = \varphi_{ke}, i = 1, 2, 3; k = \overline{1, 5}; \alpha = \overline{1, 5}; \quad (3.8)$$

$$x_1 = -x_{1e}: v_1 = V_e, v_2 = 0, v_3 = 0, T = T_e, c_\alpha = c_{ae}, -\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_1} + \frac{cU_R}{2} = 0; \quad (3.9)$$

$$x_1 = x_{1e}: \frac{\partial v_1}{\partial x_1} = 0, \frac{\partial v_2}{\partial x_1} = 0, \frac{\partial v_3}{\partial x_1} = 0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_1} = 0, \frac{\partial T}{\partial x_1} = 0, \frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_1} + \frac{cU_R}{2} = 0; \quad (3.10)$$

$$x_2 = -x_{2e}: \frac{\partial v_1}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial v_2}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial v_3}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial T}{\partial x_2} = 0, -\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_2} + \frac{cU_R}{2} = 0; \quad (3.11)$$

$$x_2 = x_{2e}: \frac{\partial v_1}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial v_2}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial v_3}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial T}{\partial x_2} = 0, \frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_2} + \frac{cU_R}{2} = 0. \quad (3.12)$$

$$\rho v_3 = h_0 \dot{m}, T = T_s = \begin{cases} T_e + \frac{t}{t_0} (T_0 - T_e), & t \leq t_0 \\ T_e + (T_0 - T_e) \exp \left[ -k \left( \frac{t}{t_0} - 1 \right) \right], & t > t_0 \end{cases}$$

В представленной выше системе уравнений, начальных и граничных условиях используются следующие обозначения:  $R_1 - R_5$ ,  $R_{5\alpha}$  – массовые скорости пиролиза лесных горючих материалов, испарения влаги, горения конденсированных и летучих 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 – сажа, 4 – пепел, 5 – инертные компоненты воздуха);  $p$  – давление;  $U_R$  – плотность энергии излучения;  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана;  $k$  – коэффициент ослабления излучения;  $k_g$ ,  $k_s$  – коэффициенты поглощения для газодисперсной и конденсированной фаз;  $\alpha_V$  – коэффициент обмена фаз,  $q_i$ ,  $E_i$ ,  $k_i$  – 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 индивидуальных компонентов газовой фазы, углерода и воздушной смеси;  $s$ ,  $c_d$  – удельная поверхность фитомассы и эмпирический коэффициент сопротивления полого леса;  $c$  – скорость света;  $v_i$  – проекции скорости на оси  $x_i$ ;  $\alpha_c$ ,  $v$  – коксовое число и массовая доля горючих газов в массе летучих продуктов пиролиза;  $\dot{m}$  – массовая скорость образования газодисперсной фазы;  $v_{3*}$  – характерная скорость вдува из очага лесного пожара;  $\alpha_4$ ,  $\alpha_6$  – эмпирические константы;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\dot{c}^-, \dot{c}^+, \tau_i^-, \tau_i^+, J_\alpha^-, J_\alpha^+, q_T^-, q_T^+, q_R^-, q_R^+$  – переменные, полученные при осреднении характеристик по высоте полого леса. Индексы "0" и "e" относятся к значениям функций в очаге горения и на большом расстоянии от зоны пожара соответственно. Верхний индекс " ' " относится к пульсационной составляющей данной величины.

Основные уравнения, применяемые при решении поставленной задачи:

1–уравнение неразрывности; 2–уравнение движения; 3–уравнение температуры газовой фазы; 4 – уравнение концентраций; уравнение диффузии для газодисперсной среды; 5–уравнение переноса излучения; 6– уравнение энергии для твердой фазы; 7– уравнение химической кинетики для объемных долей твердой фазы.

### 3.2 Метод решения

В работе приводятся результаты математического моделирования распространения верхового лесного пожара.

Для численного интегрирования исходной системы уравнений используется метод контрольного объёма.

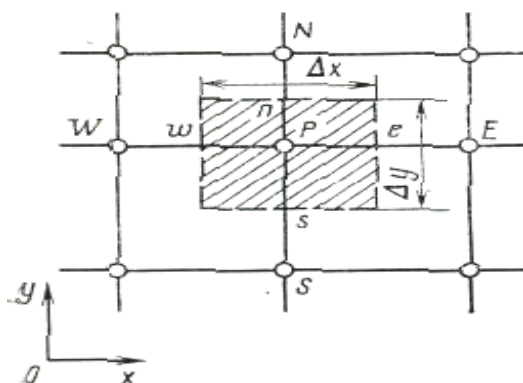


Рис.5. Контрольный объём (заштрихованная область) для двухмерного случая

Расчётную область разбиваем на некоторое число не пересекающихся контрольных объёмов. Затем исходную систему уравнений интегрируем по каждому контрольному объёму. В результате получается алгебраическая система нелинейных уравнений.

Система уравнений (3.1)-(3.7) редуцирована к дискретной форме с помощью метода контрольного объёма. Алгоритм решения приведенной задачи включает в себя расщепление по физическим процессам, то есть вначале

рассчитывалась гидродинамическая картина, а затем решались уравнения химической кинетики и учитывались химические источники для скалярных функций. При этом шаг по времени для интегрирования системы обыкновенных уравнений выбирался автоматически.

### 3.3 Результаты численных расчетов

На основе изложенной математической модели проводились численные расчеты по определению картины процесса возникновения верхового лесного пожара и его зависимость от скорости ветра и запаса лесных горючих материалов. Постоянно изменяя значение скорости и запасов исходных данных, рассчитана скорость распространения верхового лесного пожара.

По полученным результатам составлены таблицы зависимостей скорости распространения верхового лесного пожара от скорости ветра и запаса лесных горючих материалов. Затем построены графики исходя из данных в таблицах. Для получения скоростей распространения верхового лесного пожара использована специальная программа для расчета распространения верхового лесного пожара. Для визуализации полученных результатов численных расчетов и построения графиков используется программа MATLAB.

#### Задание №1

*Исходные данные для исследования зависимостей:*

Скорости ветра: 3,5,7,9,12 м/с

Запасы ЛГМ: 0,2; 0,3;0,4;0,6 кг/м<sup>3</sup>

В данном задании постоянно меняя значение скорости и запасов исходных данных программы, высчитываем в последующем скорость распространения верхового лесного пожара.

Например, рассмотрим данные для скорости ветра 7 м/с и запаса 0,3 – для этого заменили изначальное заданное значение скорости 5 м/с и запаса 0,2

TL,К..... 300.	Temperature of environment,К (Температура)
ZAP..... 0.2	Volume FCM, Kg/m**3(запас ЛГМ)
WL..... 0.66	Moisture FCM(Влагосодержание)
H2,М..... 10.	The height of trees,m(высота полога леса)

X01,М....	0.	The first point in X1 - direction
X02,М....	100.	The size of domain, m in X1 – direction (размер области по X1,м)
Y01,М....	0.	The first point in y - direction
Y02,М....	100.	The size of domain in y – direction (размер области по X2,м)
U1, М/S..	7.	Velocity of wind, m/s(скорость ветра по X1 координате)
Z1, М....	10.	Height of wind definition (высота, на которой задана скорость)
IA.....	91	Первая точка разрыва по оси x1
IB.....	121	Последняя точка разрыва по оси x1
JA.....	91	Первая точка разрыва по оси x2
JB.....	111	Последняя точка разрыва по оси x2
NOCH....	20	Количество точек начального очага горения по оси x2
LN.....	201	first point of leaf trees in x1
LK.....	201	last point of leaf trees in x1
NY.....	1	first point of leaf trees in x2
KY.....	201	last point of leaf trees in x2
WLL.....	1.	moisture of leaf

В результате исследования получаем следующие зависимости для разных скоростей ветра:

Таблица №2. Данные для скорости  $U = 3$  м/с

W, м/с	3.5	2.0	1.5	1.25
Zap,кг/м <sup>3</sup>	0.2	0.3	0.4	0.6

Таблица №3. Данные для скорости  $U = 5$  м/с

W, м/с	3.5	3.0	2.5	2.0
Zap,кг/м <sup>3</sup>	0.2	0.3	0.4	0.6

Таблица №3. Данные для скорости  $U = 7$  м/с

W, м/с	4.5	3.5	3.5	3.0
Zap,кг/м <sup>3</sup>	0.2	0.3	0.4	0.6

Таблица №4. Данные для скорости  $U = 9$  м/с

W, м/с	5.0	4.5	4.0	3.5
Zap, кг/м <sup>3</sup>	0.2	0.3	0.4	0.6

Таблица №5. Данные для скорости  $U = 12$  м/с

W, м/с	7.0	6.0	5.5	4.5
Zap, кг/м <sup>3</sup>	0.2	0.3	0.4	0.6

С помощью программы MATLAB строим графики зависимостей скорости распространения верхового лесного пожара от скорости ветра и запаса лесных горючих материалов для разных скоростей ветра. Графики зависимости скоростей распространения верхового лесного пожара для всех пяти значений скоростей ветра построены на одном графике в координатах значений распространения скорости верхового лесного пожара ( $W$ , м/с) от запаса ЛГМ (zap, кг/м<sup>3</sup>):

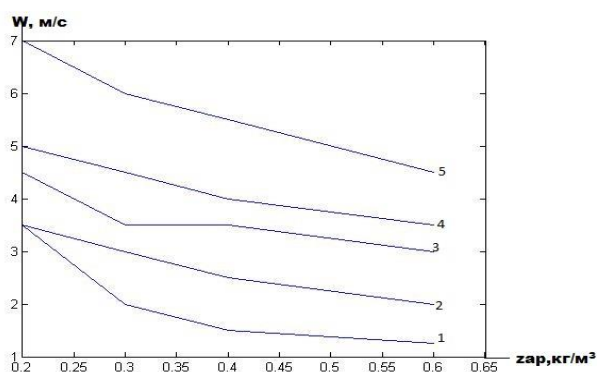


Рис.6 График зависимости скорости распространения верхового лесного пожара от скорости ветра и запаса ЛГМ

*Обозначения на графике:*

график зависимости скоростей распространения верхового лесного пожара от скорости ветра  $U=3$  м/с и запасов лесных горючих материалов;

график зависимости скоростей распространения верхового лесного пожара от скорости ветра  $U=5$  м/с и запасов лесных горючих материалов;

график зависимости скоростей распространения верхового лесного пожара от скорости ветра  $U=7$  м/с и запасов лесных горючих материалов;



график зависимости скоростей распространения верхового лесного пожара от скорости ветра  $U=9$  м/с и запасов лесных горючих материалов;

график зависимости скоростей распространения верхового лесного пожара от скорости ветра  $U=12$  м/с и запасов лесных горючих материалов.

Из графика зависимостей скорости распространения верхового лесного пожара от скорости ветра и запаса лесных горючих материалов для разных скоростей ветра следует (рис.3), что с увеличением запаса лесных горючих материалов, скорость распространения верхового лесного пожара убывает. И соответственно, скорость распространения верхового лесного пожара увеличивается с увеличением скорости ветра.

#### Задание №2.

В ходе выполнения данного задания с помощью программы MATLAB нарисованы распределения линий равного уровня, т.е. изолинии температуры, для трех случаев ветра (3,6,10 м/с) для различных расстояний от начала распространения.

Построены следующие графики распределения изотерм и изолиний для разных концентраций кислорода и горючих продуктов пиролиза:

1) График распределения линий равного уровня изотерм и изолиний температуры, концентраций кислорода и продуктов пиролиза для  $U = 3$  м/с для трех случаев времени 10сек, 20сек, 25 сек

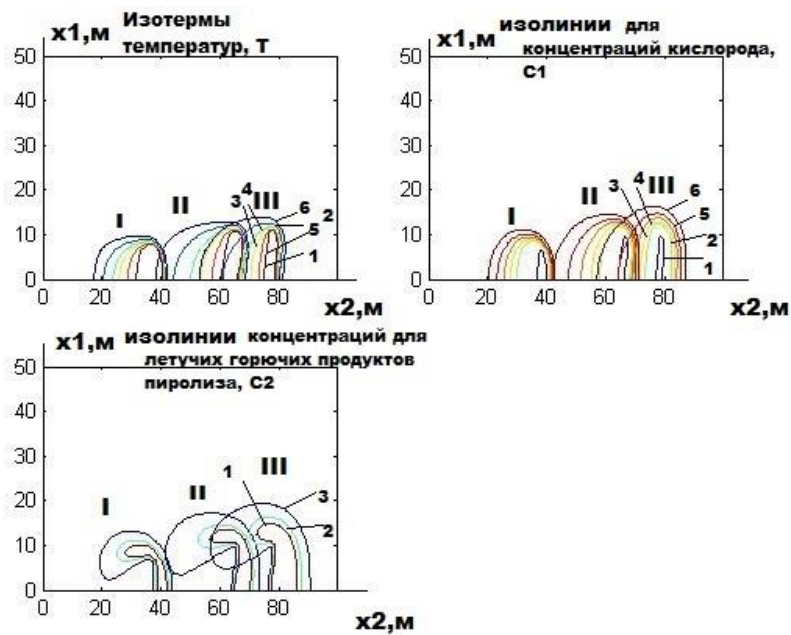


Рис.7 Графики распределения линий равного уровня изотерм и изолиний для скорости ветра  $U=3\text{ м/с}$

Обозначения на графике:

*I*- распределение линий равного уровня (изолиний) за 10 секунд при скорости ветра 3 м/с;

*II*- распределение линий равного уровня (изолиний) за 20 секунд при скорости ветра 3 м/с;

*III*- распределение линий равного уровня (изолиний) за 25 секунд при скорости ветра 3 м/с.

Рассмотрим распределение линий равного уровня (изолиний) за 25 секунд при скорости ветра 3 м/с (*III*).

Изотермы температур,  $T$ :

$T$ : 1-1.5; 2-2.0; 3-2.5; 4-3.0; 5-3.5; 6-4.0

$$\bar{T} = T / T_e, T_e = 300\text{ K}$$

Изолинии концентраций для кислорода,  $C_1$ :

$C_1$ : 1-0.1; 2-0.5; 3-0.6; 4-0.7; 5-0.8; 6-0.9

$$\bar{c}_1 = c_1 / c_{1e}, c_{1e} = 0.23$$

Изолинии концентраций для летучих горючих продуктов пиролиза,  $C_2$ :

$C_2$ : 1-0.01; 2-0.05; 3-0.1

$$\bar{c}_2 = c_2 / c_{2e}, c_{2e} = 0.23$$

Из графиков распределения линий равного уровня изотерм и изолиний для скорости ветра  $U=3\text{ м/с}$  (рис.4) для разных моментов времени следует, что фронт распространения верхового лесного пожара распространяется неодинаково по всем направлениям. С увеличением концентрации реагирующих компонентов фронт распространения верхового лесного пожара будет увеличиваться.

2) График распределения линий равного уровня изотерм и изолиний температуры, концентраций кислорода и продуктов пиролиза для  $U = 6\text{ м/с}$  для трех случаев времени 6сек, 14 сек, 22 сек.

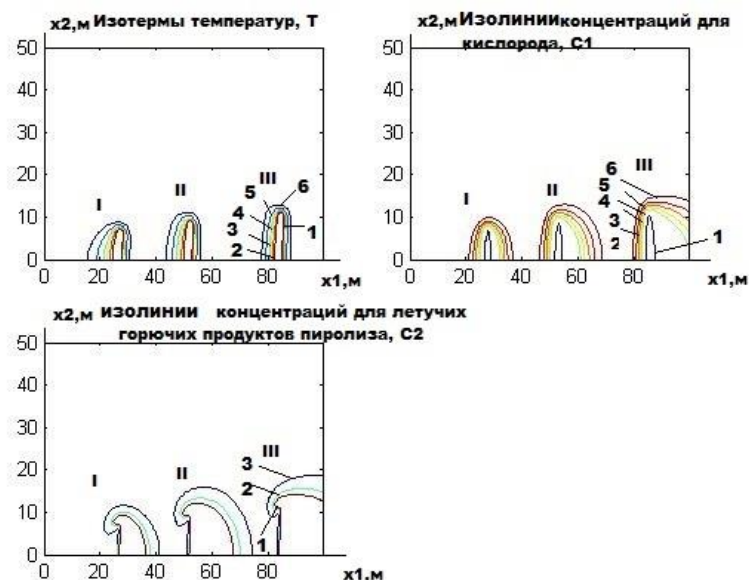


Рис.8 Графики распределения линий равного уровня изотерм и изолиний для скорости ветра  $U=6\text{ м/с}$

Обозначения на графике:

*I*- распределение линий равного уровня (изолиний) за 6 секунд при скорости ветра 6 м/с;

*II*- распределение линий равного уровня (изолиний) за 14 секунд при скорости ветра 6 м/с;

III- распределение линий равного уровня (изолиний) за 22 секунды при скорости ветра 6 м/с.

Рассмотрим распределение линий равного уровня (изолиний) за 22 секунды при скорости ветра 6 м/с (III).

Изотермы температур, T:

T: 1-1.5; 2-2.0; 3-2.6; 4-3.0; 5-3.5; 6-4.0

$$\bar{T} = T / T_e, T_e = 300K$$

Изолинии концентраций для кислорода, C1:

C1: 1-0.1; 2-0.5; 3-0.6; 4-0.7; 5-0.8; 6-0.9

$$\bar{c}_1 = c_1 / c_{1e}, c_{1e} = 0.23;$$

Изолинии концентраций для летучих горючих продуктов пиролиза, C2:

C2: 1-0.01; 2-0.05; 3-0.1.

$$\bar{c}_2 = c_2 / c_{2e}, c_{2e} = 0.23$$

Из графиков распределения линий равного уровня изотерм и изолиний для скорости ветра  $U=6$  м/с (рис.5) для разных моментов времени следует, что фронт распространения верхового лесного пожара распространяется неодинаково по всем направлениям. С увеличением концентрации реагирующих компонентов фронт распространения верхового лесного пожара будет увеличиваться.

3) График распределения линий равного уровня изотерм и изолиний температуры, концентраций кислорода и продуктов пиролиза для  $U = 10$  м/с для трех случаев времени 4 сек, 8 сек, 15 сек.

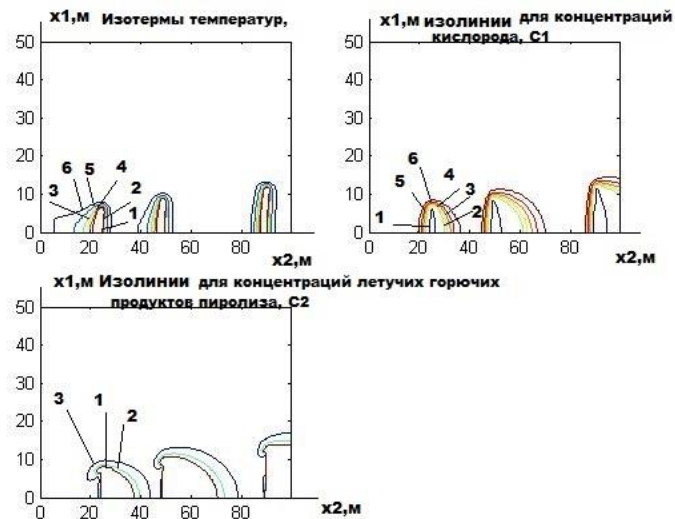


Рис.9 Графики распределения линий равного уровня изотерм и изолиний для скорости ветра  $U=10$  м/с

Обозначения на графике:

*I*- распределение линий равного уровня (изолиний) за 4 секунды при скорости ветра 10 м/с;

*II*- распределение линий равного уровня (изолиний) за 8 секунд при скорости ветра 10 м/с;

*III*- распределение линий равного уровня (изолиний) за 15 секунд при скорости ветра 10 м/с.

Рассмотрим распределение линий равного уровня (изолиний) за 4 секунды при скорости ветра 10 м/с (*III*).

Изотермы температур,  $T$ :

$T$ : 1-1.5; 2-2.0; 3-2.5; 4-3.0; 5-3.5; 6-4.0

$$\bar{T} = T / T_e, T_e = 300K$$

Изолинии концентраций для кислорода,  $C_1$ :

$C_1$ : 1-0.1; 2-0.5; 3-0.6; 4-0.7; 5-0.8; 6-0.9

$$\bar{c}_1 = c_1 / c_{1e}, c_{1e} = 0.23;$$

Изолинии концентраций для летучих горючих продуктов пиролиза,  $C_2$ :

$C_2$ : 1-0.01; 2-0.05; 3-0.2

$$\bar{c}_2 = c_2 / c_{2e}, c_{2e} = 0.23$$

Из графиков распределения линий равного уровня (изолиний) для скорости ветра  $U=10$  м/с (рис.6) для разных моментов времени следует, что фронт распространения верхового лесного пожара распространяется неодинаково по всем направлениям. С увеличением концентрации реагирующих компонентов фронт распространения верхового лесного пожара будет увеличиваться.

Построение графиков зависимости в программе MATLAB велось по следующему описанию с использованием оператора «subplot»: [приложение I]

### **3.4 Вывод**

В ходе данной работы удалось исследовать влияние зависимости скорости распространения верхового лесного пожара от скорости ветра и запаса лесных горючих материалов.

В ходе исследования были решены следующие задачи:

Разработана численная методика решения задачи

Проведен анализ полученных результатов

Показано и доказано, что исследование влияния скорости ветра и запаса лесных горючих материалов на скорость распространения верховых лесных пожаров могут быть успешно использованы для прогнозирования возникновения и распространения лесных пожаров;

Изучена программа математического моделирования лесных пожаров;

С помощью программы MATLAB были построены графики распространения лесных пожаров и на основе их были сделаны соответствующие выводы.

При выполнении расчетов изучено влияние определенных факторов на процесс распространения верхового лесного пожара. Полученные результаты позволяют получить условия распространения верхового лесного пожара при заданных значениях запаса, то есть зависимость скорости распространения от скорости ветра и запаса лесных горючих материалов (ЛГМ), что, в свою очередь,

дает возможность применять такой метод расчетов для профилактики и разработки новых методик тушения лесных пожаров и способов их предотвращения.

С увеличением запаса лесных горючих материалов, скорость распространения верхового лесного пожара убывает. И соответственно, скорость распространения верхового лесного пожара увеличивается с увеличением скорости ветра. Также, существует возможность добавить, так называемые разрывы (поляны), с отсутствием горючего материала, что повлияет на распространение пожара, а в некоторых случаях и остановит его распространение.

Специалисты в области пожаротушения и защиты в ЧС должны знать и понимать основные особенности возникновения, распространения и поведения лесных пожаров в зависимости от рельефно-ландшафтных, растительных, погодных и других условий. Это необходимо для принятия решения о наиболее целесообразной организации тушения, профилактических мерах и безопасности пожарных и других лиц, принимающих участие в тушении пожара, что, в конечном счете, поможет сохранить лесной массив, человеческие жизни и биоразнообразие лесов планеты Земля. [6,7,8]

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

### **4.1 Введение**

В ходе выполнения выпускной квалификационной работе по теме: «Разработка графического интерфейса для моделирования лесных пожаров» производился анализ работ различных ученых в области математического моделирования, выбирался язык программирования для построения графического интерфейса и непосредственно само создание интерфейса для моделирования лесных пожаров.

Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» представляет собой проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Данный раздел направлен на закрепление и углубление теоретических знаний и практических навыков в области экономики, организации и управления производством.

Целью раздела является анализ ресурсоэффективности программного обеспечения. Основные задачи заключаются в оценке перспективности использования программы и определения её экономической эффективности. [9]

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

Сегментирование рынка услуг по разработке программы осуществляется по следующим критериям: размер компании и вид исполнения.



Таблица 6 – Сегментирование рынка услуг

		Программа		
		Final	ArcMap	Phoenix
Размер компании	Крупная			
	Средняя			
	Мелкая			

Основным сегментом данного рынка является создание программы. Применение программ для моделирования лесных пожаров основано на экономической целесообразности и достаточной эффективности. Благодаря глобальной проблеме пожаров в лесах и создание методов контроля за пожарным состоянием лесов, данная разработка может занять устойчивое место на рынке. Работа программы “Final” не предполагает установку дополнительного оборудования, следовательно, обойдется намного дешевле, чем установка датчиков в лесной местности или использование еще какого-либо оборудования, за которым нужен постоянный контроль и технический осмотр.

### 4.1.3 Анализ конкурентных технических решений

В таблице 7 представлен анализ конкурентных технических решений, существующих на рынке.

Таблица 7 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,09	5	4	1	0,45	0,36	0,09
2. Энергоэкономичность	0,07	4	2	4	0,28	0,14	0,28
3. Надежность	0,08	5	4	5	0,4	0,32	0,4
4. Безопасность	0,09	5	5	4	0,45	0,45	0,36
5. Потребность в ресурсах памяти	0,06	5	2	4	0,3	0,12	0,24
6. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,06	4	3	5	0,24	0,18	0,3
7. Простота эксплуатации	0,08	5	4	2	0,4	0,32	0,16
8. Качество интеллектуального интерфейса	0,08	5	3	4	0,4	0,24	0,32
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
2. Уровень проникновения на рынок	0,07	3	5	4	0,21	0,35	0,28
3. Цена	0,05	5	2	3	0,25	0,1	0,15
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
5. Послепродажное обслуживание	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21
6. Финансирование научной разработки	0,04	1	5	3	0,04	0,2	0,12
7. Наличие сертификации разработки	0,03	2	5	5	0,06	0,15	0,15
<b>Итого</b>	<b>1</b>				<b>4,48</b>	<b>3,73</b>	<b>3,53</b>

Вывод: таким образом на основании конкурентных технических решений, показатель конкурентоспособности равен 4.48, это говорит о том, что позиция разработки находится на сильном уровне [9].

### 4.1.4 Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) – гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность

на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

Таблица 9 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
<b>Показатели оценки качества разработки</b>					
1. Повышение производительности труда пользователя	0,09	100	100	1	0,09
2. Энергоэффективность	0,07	70	100	0,7	0,049
3. Надежность	0,08	60	100	0,6	0,048
4. Безопасность	0,09	100	100	1	0,09
5. Потребность в ресурсах памяти	0,06	70	100	0,7	0,042
6. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,06	60	100	0,6	0,036
7. Простота эксплуатации	0,08	80	100	0,8	0,064
8. Качество интеллектуального интерфейса	0,08	70	100	0,7	0,056
<b>Показатели оценки коммерческого потенциала разработки</b>					
9. Конкурентоспособность продукта	0,05	30	100	0,3	0,015
10. Уровень проникновения на рынок	0,07	20	100	0,2	0,014
11. Цена	0,05	70	100	0,7	0,035
12. Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	80	100	0,8	0,064
13. Послепродажное обслуживание	0,07	80	100	0,8	0,066
14. Финансирование научной разработки	0,04	20	100	0,2	0,008
15. Наличие сертификации разработки	0,03	30	100	0,3	0,09
<b>Итого</b>	<b>1</b>				<b>0,767</b>

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$\Pi_{\text{cp}} = \sum B_i \cdot B_i, \quad (4.1)$$

где  $\Pi_{\text{cp}}$  – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

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

$B_i$  – средневзвешенное значение  $i$ -го показателя.

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{cp}} = & 0,09*0,09+0,049*0,07+0,048*0,08+0,09*0,09+0,042*0,06+ \\ & +0,036*0,06+0,064*0,08+0,056*0,08+0,015*0,05+0,014*0,07+0,035*0,05+ \\ & 0,064*0,08+0,066*0,07+0,008*0,04+0,09*0,03=76,7 \end{aligned}$$

Полученное значение  $\Pi_{\text{cp}} = 76,7$  говорит о то, что перспективность разработки проведенного исследования является выше средней [9].

#### 4.1.5 SWOT-анализ

*SWOT* – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 9 – Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологий. С2. Экологичность технологии. С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С4. Удобства в использовании. С5. Актуальность проекта	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1. Невозможность точного расчета. Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей ЭВМ. Сл3. Отсутствие компании, которые хотели бы купить продукт. Сл4. Отсутствие опыта работы с программированием. Сл5. Большой срок проведения расчетов программой.
<b>Возможности:</b> В1. Использование на любой ЭВМ. В2. Поддержание проекта министерством чрезвычайных ситуаций Томской области. В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт В4. Низкие требования к вычислительным ресурсам ЭВМ.	- Имея в наличии любую ЭВМ и хоть какой ни будь персонал, можно создать партнерские отношения с организациями мониторинга, а также получение финансирования от них. - Получить дополнительный спрос на дешевый и эффективный продукт.	- Проведение быстрого расчета и мгновенного результата. - Испытания на местности для получения точных результатов.
<b>Угрозы:</b> У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий программы. У3. Ограничения на экспорт технологии У4. Невозможность учета всех параметров для точного расчёта.	- Продвижение проекта с указанием на его достоинства. - В дальнейшем планируется доработка программы для более точного расчета.	- Испытание проектной разработки для увеличения учета параметров. -доказательство наибольшей эффективности, чем у конкурентов.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта. Представлен в виде интерактивных матриц в таблицах 10, 11, 12, 13

Таблица 10 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	0	+	+	0
	B2	+	0	+	+	0
	B3	0	+	+	+	0
	B4	+	+	0	+	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и возможности: B1C1C3C4; B2C1C3C4; B3C2C4; B4C1C2C4.

Таблица 11 – Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	+	+	-	0	+
	B2	+	+	0	+	+
	B3	+	+	+	0	-
	B4	0	+	0	+	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможности: B1Сл1Сл2Сл5; B2Сл2Сл4Сл5; B3Сл5; B4Сл2Сл5.

Таблица 12 – Интерактивная матрица проекта

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

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и угрозы: У1С1С2С3С4; У2С1С2С3С4С5; У3С3.

Таблица 13 – Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	0	+	0	-
	У2	+	-	+	+	+
	У3	-	+	+	0	-
	У4	+	0	-	+	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и угрозы: У1Сл3; У2Сл1Сл3Сл4Сл5; У3Сл2Сл3; У4Сл1Сл4Сл5. [9]

## 4.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл. 14.

Таблица 14 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Создание темы проекта	1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель
	2	Анализ актуальности темы	
Выбор направления исследования	3	Поиск и изучение материала по теме	Студент

	4	Выбор направления исследований	Научный руководитель, студент
	5	Календарное планирование работ	
Теоретические исследования	6	Изучение литературы по теме	Студент
	7	Подбор нормативных документов	
Практические исследования	9	Составление сравнительной таблицы	Студент
	10	Проведение расчетов по теме	
Оценка полученных результатов	12	Оценка и анализ полученных результатов	Студент
	13	Эффективность предложенных идей	Научный руководитель, студент

#### 4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{мин}i} + 2t_{\text{макс}i}}{5}, \quad (4.2)$$

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

$t_{\text{мин}i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\text{макс}i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое



вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (4.3)$$

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

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

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, человек [8].

#### 4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

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

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (4.4)$$

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

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

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (4.5)$$

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

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

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

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{\text{К}i}$

необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу (табл. 15).

Таблица 15– Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ									Исполнители	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$			Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$		
	$t_{min}$ , чел-дни			$t_{max}$ , чел-дни			$t_{ожi}$ , чел-дни				Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3							
Составление и утверждение темы ВКР	1	2	3	3	4	4	2	3	3	Студент и научный руководитель	1	1	1	1	1	1
Анализ актуальности темы	2	1	2	3	2	3	2	1	2	Студент и научный руководитель	1	1	1	1	1	1
Постановка задач	1	2	2	2	3	4	1	2	3	Студент и научный руководитель	1	2	2	1	3	3
Определение, этапов и сроков написания ВКР	3	2	4	3	3	5	3	2	4	Студент, научный руководитель	1	1	2	1	1	3
Анализ литературы по тематике работы	3	5	4	7	5	6	5	5	5	Студент	5	5	5	7	7	7
Сбор материалов и выбор одного из существующих методов программирования	7	10	12	10	15	15	8	12	13	Студент	8	12	13	12	18	19
Анализ конкурентных методик	3	6	6	7	9	11	5	7	8	Студент	5	7	8	7	10	12
Проведение расчетов по теме	17	8	10	20	10	15	18	9	12	Студент	18	9	12	26	13	18
Анализ полученных результатов	5	4	5	7	6	9	6	5	7	Студент	6	5	7	9	7	10
Выводы по проекту	4	2	7	5	3	8	4	2	7	Студент, научный руководитель	2	1	4	3	1	6

Таблица 16 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	T <sub>кп</sub> , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				февр.		март			апрель			май			июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение темы ВКР	Студент и научный руководитель	1	■												
2	Анализ актуальности темы	Студент и научный руководитель	1	■	■											
3	Постановка задач	Студент и научный руководитель	3		■											
4	Определение, этапов и сроков написания ВКР	Студент и научный руководитель	3			■										
5	Анализ литературы по тематике работы	Студент	7			■	■									
6	Сбор материалов и выбор одного из существующих методов программирования	Студент	19				■	■	■							
7	Анализ конкурентных методик	Студент	12					■	■	■						
8	Проведение расчетов по теме	Студент	26						■	■	■	■	■			
9	Анализ полученных результатов	Студент	10									■	■			
10	Выводы по проекту	Студент и научный руководитель	6											■	■	



– руководитель



– студент

#### 4.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы. [9]

##### 4.2.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi} , \quad (4.6)$$

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

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

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

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (15%).

Таблица 17 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), руб.		
		Final	Arc Map	Phoenix	Final	ArcMap	Phoenix	Final	ArcMap	Phoenix
Бумага	Лист.	300	250	320	2,50	2,50	3	750	625	960
Картридж	Шт.	1	1	2	1000	1200	1000	1000	1200	2000
Дополнительная литература	Шт.	1	1	1	130	200	160	130	200	160
<b>ИТОГО</b>								<b>1880</b>	<b>2025</b>	<b>3120</b>

#### 4.2.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 12.

Основная заработная плата исполнителей, непосредственно участвующих в проектировании разработки:

$$C_{осн/зн} = \sum t_i \cdot C_{зн_i}, \quad (4.7)$$

где  $t_i$  - затраты труда, необходимые для выполнения  $i$ -го вида работ, в рабочих днях,  $C_{зн_i}$  - среднедневная заработная плата работника, выполняющего  $i$ -ый вид работ, (руб./день).

Среднедневная заработная плата определяется по формуле:

$$C_{зн_i} = \frac{D + D \cdot K}{F}, \quad (4.8)$$

где  $D$  - месячный оклад работника (в соответствии с квалификационным уровнем профессиональной квалификационной группы),  $K$  - районный коэффициент (для Томска – 30%),  $F$  – количество рабочих дней в месяце (в среднем 22 дня).

Таблица 18 – Расчет основной заработной платы

Исполнитель	Оклад, руб.	Средняя заработная плата, руб./дн.	Трудоемкость, раб. дн.			Основная заработная плата, руб.		
			Final	ArcMap	Phoenix	Final	ArcMap	Phoenix
Руководитель	36000	2127,27	6	6	10	12763,64	12763,64	21272,7
Студент	17000	1004,54	48	44	55	48218,18	44200	55250
<b>ИТОГО</b>						<b>60981,82</b>	<b>56963,64</b>	<b>76522,7</b>

#### 4.2.4.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (4.9)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Таблица 19 – Расчет дополнительной заработной платы

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Коэффициент дополнительной заработной платы	Дополнительная заработная плата, руб.		
	Final	ArcMap	Phoenix		Final	ArcMap	Phoenix
Руководитель	12763,64	12763,64	21272,73	<b>0,15</b>	1914,545	1914,545	3190,909
Студент	48218,18	44200	55250		7232,727	6630	8287,5
<b>ИТОГО</b>					<b>9147,273</b>	<b>8544,545</b>	<b>11478,41</b>

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (4.10)$$

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

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представлять в табличной форме (табл. 20).

Таблица 20 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.		
	Final	ArcMap	Phoenix	Final	ArcMap	Phoenix
Руководитель проекта	12763,64	12763,64	21272,73	1914,545	1914,545	3190,909
Студент-дипломник	48218,18	44200	55250	7232,727	6630	8287,5
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,302					
<b>Итого</b>						
<b>Исполнение 1</b>	<b>21178,99</b>					
<b>Исполнение 2</b>	<b>19783,47</b>					
<b>Исполнение 3</b>	<b>26576,34</b>					

#### 4.2.4.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (4.11)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 50%.

$$Z_{\text{накл(исп1)}} = (1880 + 25724,4 + 3858,6 + 8016,9) \times 0,5 = 19739,9$$

$$Z_{\text{накл(исп2)}} = (2025 + 24075,6 + 3611,3 + 7503,1) \times 0,5 = 18607,5$$

$$Z_{\text{накл(исп3)}} = (3120 + 32569 + 4885,3 + 10150,1) \times 0,5 = 25362,2$$



#### 4.2.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 21. [9]

Таблица 21 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Final	ArcMap	Phoenix
1. Материальные затраты НИИ	1880	2025	3120
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	60981,82	56963,64	76522,7
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	9147,273	8544,545	11478,41
4. Отчисления во внебюджетные фонды	21178,99	19783,47	26576,34
5. Накладные расходы	46594,04	43658,33	58848,73
6. Бюджет затрат НИИ	139782,1	130975	176546,2

Минимальный бюджет НИИ представлен компанией “ArcMap” и составляет 130975 рублей

### 4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.12)$$

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

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

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

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{139782,1}{176546,2} = 0,79; I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{130975}{176546,2} = 0,74; I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{176546,2}{176546,2} = 1;$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (4.13)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 22).

Таблица 22 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Final	ArcMap	Phoenix
1. Способствует росту производительности пользователя	0,1	5	4	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	3	2
3. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,15	5	4	4
4. Энергосбережение	0,20	3	4	3
5. Надежность	0,25	4	5	2
6. Качество интеллектуального интерфейса	0,15	5	4	4
ИТОГО	1	4,35	4,1	2,9

$$I_{p-исп1} = 5*0,1 + 5*0,15 + 5*0,15 + 3*0,2 + 4*0,25 + 5*0,15 = 4,35;$$

$$I_{p-исп2} = 4*0,1 + 3*0,15 + 4*0,15 + 4*0,2 + 5*0,25 + 4*0,15 = 4,1;$$

$$I_{p-исп3} = 3*0,1 + 2*0,15 + 4*0,15 + 3*0,2 + 2*0,25 + 4*0,15 = 2,9.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения

разработки ( $I_{исп.i}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.исп.1}}, \quad \text{и т.д.} \quad (4.14)$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,35}{0,8} = 5,4; \quad I_{исп.2} = \frac{4,1}{0,7} = 5,8; \quad I_{исп.3} = \frac{2,9}{1} = 2,9$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.17) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта ( $\Theta_{сп}$ ):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (4.15)$$

Таблица 23 – Сравнительная эффективность разработки

<b>№ п/п</b>	<b>Показатели</b>	<b>Final</b>	<b>ArcMap</b>	<b>Phoenix</b>
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,8	0,7	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,35	4,1	2,9
3	Интегральный показатель эффективности	5,4	5,8	2,9
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,9	1	0,5

[9].

#### 4.4 Вывод

В результате проделанного анализа экономической эффективности было проведено сегментирование рынка, по результатам которого были выбраны наиболее перспективные сегменты. В результате анализа конкурентных технических решений наиболее конкурентоспособным с моим проектом оказался конкурент, компания “Final”. Анализ качества и перспективности данной разработки показал, что она является весьма перспективной, средневзвешенное значение показателя качества и перспективности составило 76.7%.

В ходе выполнения работы был составлен перечень этапов и работ, а также распределены исполнители. В качестве исполнителей выступили: научный руководитель и студент. А также был составлен календарный план-график проведения НИОКР, на котором представлены временные интервалы выполнения различных этапов работ.

Был произведен расчет материальных затрат, минимальные затраты составили 1880 рублей (Final). А также произведен расчет основной и дополнительной заработной платы, отчислений во внебюджетные фонды и расчет накладных расходов. По результатам расчетов получили, что минимальный бюджет НТИ составил 130975 рубля (ArcMap).

Были рассчитаны интегральные финансовые показатели разработок, интегральные показатели ресурсоэффективности и сравнительная эффективность различных компаний.

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

### **5.1 Введение**

Социальная ответственность - ответственность отдельного ученого и научного сообщества перед обществом. Первостепенное значение при этом имеет безопасность применения технологий, которые создаются на основе достижений науки, предотвращение или минимизация возможных негативных последствий их применения, обеспечение безопасного как для испытуемых, как и для окружающей среды проведения исследований.

В ходе данной работы разработка и исследование высокоэффективного источника питания для телекоммуникационного оборудования. Работа выполнялась в лаборатории ИОА СО РАН. Все работы выполнялись с использованием компьютера. Раздел также включает в себя оценку условий труда на рабочем месте, анализ вредных и опасных факторов труда, разработку мер защиты от них. [10]

### **5.2. Производственная безопасность**

#### **5.2.1 Отклонение показателей микроклимата в помещении**

Проанализируем микроклимат в помещении, где находится рабочее место. Микроклимат производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Эти факторы влияют на организм человека, определяя его самочувствие.

Оптимальные и допустимые значения параметров микроклимата приведены в таблице 1 и 2. [11]

Таблица 24 - Оптимальные нормы микроклимата

Период года	Температура воздуха, С°	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	19-23	40-60	0.1
Теплый	23-25		0.1

Таблица 25 - Допустимые нормы микроклимата

Период года	Температура воздуха, С°		Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
	Нижняя допустимая граница	Верхняя допустимая граница		
Холодный	15	24	20-80	<0.5
Теплый	22	28	20-80	<0.5

Температура в теплый период года 23-25°С, в холодный период года 19-23°С, относительная влажность воздуха 40-60%, скорость движения воздуха 0,1 м/с.

Общая площадь рабочего помещения составляет 42м<sup>2</sup>, объем составляет 147м<sup>3</sup>. По СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 санитарные нормы составляют 6,5 м<sup>2</sup> и 20 м<sup>3</sup> объема на одного человека. Исходя из приведенных выше данных, можно сказать, что количество рабочих мест соответствует размерам помещения по санитарным нормам.

После анализа габаритных размеров рассмотрим микроклимат в этой комнате. В качестве параметров микроклимата рассмотрим температуру, влажность воздуха, скорость ветра.

В помещении осуществляется естественная вентиляция посредством наличия легко открываемого оконного проема (форточки), а также дверного проема. По зоне действия такая вентиляция является обще обменной. Основной

недостаток - приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания. Согласно нормам, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 объем воздуха необходимый на одного человека в помещении без дополнительной вентиляции должен быть более 40м<sup>3</sup>[12]. В нашем случае объем воздуха на одного человека составляет 42 м<sup>3</sup>, из этого следует, что дополнительная вентиляция не требуется. Параметры микроклимата поддерживаются в холодное время года за счет систем водяного отопления с нагревом воды до 100°С, а в теплое время года – за счет кондиционирования, с параметрами согласно [12]. Нормируемые параметры микроклимата, ионного состава воздуха, содержания вредных веществ должны соответствовать требованиям [12].

### **5.2.2. Превышение уровней шума**

Одним из наиболее распространенных в производстве вредных факторов является шум. Он создается рабочим оборудованием, преобразователями напряжения, рабочими лампами дневного света, а также проникает снаружи. Шум вызывает головную боль, усталость, бессонницу или сонливость, ослабляет внимание, память ухудшается, реакция уменьшается.

Основным источником шума в комнате являются компьютерные охлаждающие вентиляторы и. Уровень шума варьируется от 35 до 42 дБА. Согласно СанПиН 2.2.2 / 2.4.1340-03, при выполнении основных работ на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 82 дБА [4].

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть средства индивидуальной защиты(СИЗ) и средства коллективной защиты (СКЗ) от шума.

Средства коллективной защиты:

устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;

изоляция источников шума от окружающей среды (применение глушителей, экранов, звукопоглощающих строительных материалов);



применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения;

Средства индивидуальной защиты;

применение спецодежды и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны. [13]

### **5.2.3. Повышенный уровень электромагнитных излучений**

Источником электромагнитных излучений в нашем случае являются дисплеи ПЭВМ. Монитор компьютера включает в себя излучения рентгеновской, ультрафиолетовой и инфракрасной области, а также широкий диапазон электромагнитных волн других частот. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50 см вокруг ВДТ не должна превышать 25В/м в диапазоне от 5Гц до 2кГц, 2,5В/м в диапазоне от 2 до 400кГц [14]. Плотность магнитного потока не должна превышать в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц 250нТл, и 25нТл в диапазоне от 2 до 400кГц. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500В [15]. В ходе работы использовалась ПЭВМ типа Acer VN7-791 со следующими характеристиками: напряженность электромагнитного поля 2,5В/м; поверхностный потенциал составляет 450 В (основы противопожарной защиты предприятий ГОСТ 12.1.004 и ГОСТ 12.1.010 – 76.)

При длительном постоянном воздействии электромагнитного поля (ЭМП) радиочастотного диапазона при работе на ПЭВМ у человеческого организма сердечно-сосудистые, респираторные и нервные расстройства, головные боли, усталость, ухудшение состояния здоровья, гипотония, изменения сердечной мышцы проводимости. Тепловой эффект ЭМП характеризуется увеличением температуры тела, локальным селективным нагревом тканей, органов, клеток за счет перехода ЭМП на теплую энергию. [16]

Предельно допустимые уровни облучения (по *ОСТ 54 30013-83*):

а) до 10 мкВт/см<sup>2</sup>, время работы (8 часов);

- б) от 10 до 100 мкВт/см<sup>2</sup>, время работы не более 2 часов;
- в) от 100 до 1000 мкВт/см<sup>2</sup>, время работы не более 20 мин. при условии пользования защитными очками;
- г) для населения в целом ППМ не должен превышать 1 мкВт/см<sup>2</sup>.

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

- СКЗ
- защита временем;
- защита расстоянием;
- снижение интенсивности излучения непосредственно в самом источнике излучения;
- экранирование источника;
- защита рабочего места от излучения;
- СИЗ

Очки и специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани (кольчуга). При этом следует отметить, что использование СИЗ возможно при кратковременных работах и является мерой аварийного характера. Ежедневная защита обслуживающего персонала должна обеспечиваться другими средствами.

Вместо обычных стекол используют стекла, покрытые тонким слоем золота или диоксида олова (SnO<sub>2</sub>). [17]

#### **5.2.4. Поражение электрическим током**

К опасным факторам можно отнести наличие в помещении большого количества аппаратуры, использующей однофазный электрический ток напряжением 220 В и частотой 50Гц. По опасности электропоражения комната относится к помещениям без повышенной опасности, так как отсутствует повышенная влажность, высокая температура, токопроводящая пыль и возможность одновременного сприкосновения токоведущих элементов с заземленными металлическими корпусами оборудования [18].

Лаборатория относится к помещению с без повышенной опасностью поражения электрическим током. Безопасными номиналами являются:  $I < 0,1$  А;  $U < (2-36)$  В;  $R_{\text{зазем}} < 4$  Ом. В помещении применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены. Недоступность токоведущих частей достигается путем их надежной изоляции, применения защитных ограждений (кожухов, крышек, сеток и т.д.), расположения токоведущих частей на недоступной высоте.

Каждому необходимо знать меры медицинской помощи при поражении электрическим током. В любом рабочем помещении необходимо иметь медицинскую аптечку для оказания первой медицинской помощи.

Поражение электрическим током чаще всего наступает при небрежном обращении с приборами, при неисправности электроустановок или при их повреждении.

Для освобождения пострадавшего от токоведущих частей необходимо использовать непроводящие материалы. Если после освобождения пострадавшего из-под напряжения он не дышит, или дыхание слабое, необходимо вызвать бригаду скорой медицинской помощи и оказать пострадавшему доврачебную медицинскую помощь:

- обеспечить доступ свежего воздуха (снять с пострадавшего стесняющую одежду, расстегнуть ворот);
- очистить дыхательные пути;
- приступить к искусственной вентиляции легких (искусственное дыхание);
- в случае необходимости приступить к непрямому массажу сердца.

Любой электроприбор должен быть немедленно обесточен в случае:

- возникновения угрозы жизни или здоровью человека;
- появления запаха, характерного для горящей изоляции или пластмассы;
- появления дыма или огня;
- появления искрения;

- обнаружения видимого повреждения силовых кабелей или коммутационных устройств.

Для защиты от поражения электрическим током используют СИЗ и СКЗ.

- Средства коллективной защиты:
- Заземление источников электрического тока;
- Использование щитов, барьеров, клеток, ширм, а также заземляющих и шунтирующих штанг, специальных знаков и плакатов.
- Средства индивидуальной защиты:
- Использование диэлектрических перчаток, изолирующих клещей и штанг, слесарных инструментов с изолированными рукоятками, указатели величины напряжения, калоши, боты, подставки и коврики.

#### **5.2.5. Освещенность**

Согласно СНиП 23-05-95 в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 300 Лк.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Для защиты от слепящей яркости видимого излучения (факел плазмы в камере с катализатором) применяют защитные очки, щитки, шлемы. Очки на должны ограничивать поле зрения, должны быть легкими, не раздражать кожу, хорошо прилегать к лицу и не покрываться влагой. [19]

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения  $A = 7$  м, ширина  $B = 6$  м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом  $h_p = 1,0$  м. Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 150 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:

$$S = A \times B,$$

где  $A$  – длина, м;

$B$  – ширина, м.

$$S = 7 \times 6 = 42 \text{ м}^2$$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор  $\rho_c = 50\%$ , свежепобеленного потолка  $\rho_{\Pi} = 70\%$ . Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен  $K_z = 1,5$ . Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп  $Z = 1,1$ .

Выбираем лампу дневного света ЛД-40, световой поток которой равен  $\Phi_{ЛД} = 2600$  Лм.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина  $\lambda$ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем  $\lambda = 1,1$ , расстояние светильников от перекрытия (свес)  $h_c = 0,3$  м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p,$$

где  $h_n$  – высота светильника над полом, высота подвеса,

$h_p$  – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР:  $h_n = 3,5$  м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2,0 \text{ м.}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 2 = 2,2 \text{ м}$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Nb = \frac{B}{L} = \frac{6}{2,2} = 2,72 \approx 3$$

Число светильников в ряду:

$$Na = \frac{A}{L} = \frac{7}{2,2} = 3,2 \approx 3$$

Общее число светильников:

$$N = Na \cdot Nb = 3 \cdot 3 = 9$$

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

$$l = \frac{L}{3} = \frac{2,2}{3} = 0,7 \text{ м}$$

Размещаем светильники в три ряда. На рисунке изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

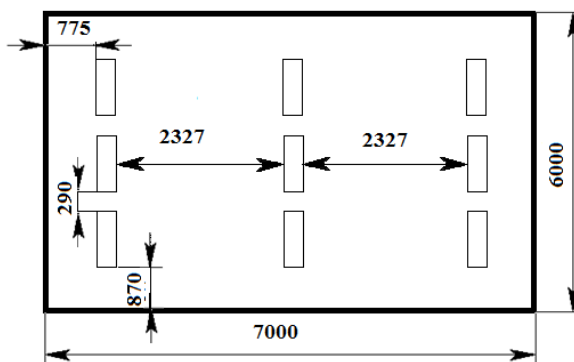


Рисунок 10– План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{7 \cdot 6}{2,0 \cdot (7 + 6)} = 1,6$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при  $\rho_{П} = 70\%$ ,  $\rho_{С} = 50\%$  и индексе помещения  $i = 1,6$  равен  $\eta = 0,47$ .

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{л} = (E \cdot S \cdot K_{з} \cdot Z) / N \cdot \eta = (300 \cdot 42 \cdot 1,5 \cdot 1,1) / 18 \cdot 0,47 = 2457,44 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

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

$$\frac{\Phi_{ЛД} - \Phi_{П}}{\Phi_{ЛД}} \cdot 100\% = \frac{2600 - 2457,44}{2600} \cdot 100\% = 5,5\%.$$

Таким образом, мы получили, что необходимый световой поток не выходит за пределы требуемого диапазона. Теперь рассчитаем мощность осветительной установки:

$$P = 18 \cdot 40 = 720 \text{ Вт [20]}$$

### 5.2.6 Пожарная опасность

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1-В4, Г и Д, а здания на категории А, Б, В, Г и Д.

Согласно НПБ 105-03 лаборатория относится к категории В– горючие и трудно горючие жидкости, твердые горючие и трудно горючие вещества и материалы, вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых находится, не относятся к категории наиболее опасных А или Б.

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНиП 2.01.02-85 (выполнено из кирпича, которое относится к трудносгораемым материалам). [21]

Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

а) халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) используют для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000В. Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например, ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

Для предупреждения пожара и взрыва необходимо предусмотреть:

специальные изолированные помещения для хранения и разлива легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ), оборудованные приточно-вытяжной вентиляцией во взрывобезопасном исполнении - соответствии с ГОСТ 12.4.021-75 и СНиП 2.04.05-86;



специальные помещения (для хранения в таре пылеобразной канифоли), изолированные от нагревательных приборов и нагретых частей оборудования;

первичные средства пожаротушения на производственных участках (передвижные углекислые огнетушители ГОСТ 9230-77, пенные огнетушители ТУ 22-4720-80, ящики с песком, войлок, кошма или асбестовое полотно);

автоматические сигнализаторы (типа СВК-3 М 1) для сигнализации о присутствии в воздухе помещений до взрывных концентраций горючих паров растворителей и их смесей.

Лаборатория полностью соответствует требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, изображенного на рисунке 11, порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу. [22, 23]

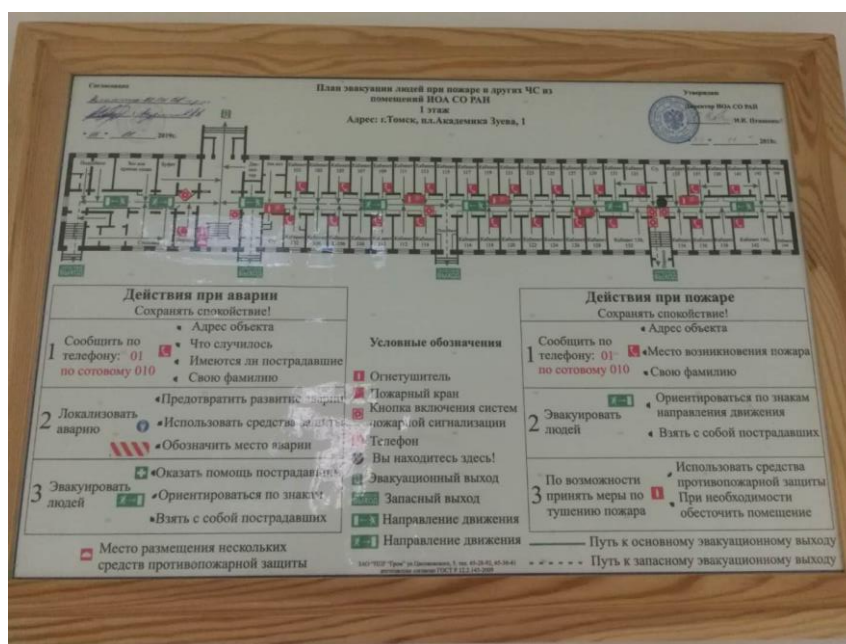


Рисунок 11 – План эвакуации

### 5.2.7 Экологическая безопасность

В компьютерах огромное количество компонентов, которые содержат токсичные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды.

К таким веществам относятся:

- свинец (накапливается в организме, поражая почки, нервную систему);
- ртуть (поражает мозг и нервную систему);
- никель и цинк (могут вызывать дерматит);
- щелочи (прожигают слизистые оболочки и кожу);

Поэтому компьютер требует специальных комплексных методов утилизации. В этот комплекс мероприятий входят:

- отделение металлических частей от неметаллических;
- металлические части переплавляются для последующего производства;
- неметаллические части компьютера подвергаются специально переработке [24];

Исходя из сказанного выше перед планированием покупки компьютера необходимо:

- Побеспокоится заранее о том, каким образом будет утилизирована имеющаяся техника, перед покупкой новой.
- Узнать насколько новая техника соответствует современным эко-стандартам и примут ее на утилизацию после окончания срока службы.

Утилизировать оргтехнику, а не просто выбрасывать на «свалку» необходимо по следующим причинам:

Во-первых, в любой компьютерной и организационной технике содержится некоторое количество драгоценных металлов. Российским законодательством предусмотрен пункт, согласно которому все организации обязаны вести учет и движение драгоценных металлов, в том числе тех, которые входят в состав основных средств. За несоблюдение правил учета, организация может быть оштрафована на сумму от 20000 до 30000 руб. (согласно ст. 19.14. КоАП РФ);

Во-вторых, предприятие также может быть оштрафовано за несанкционированный вывоз техники или оборудования на «свалку»;

Стадия утилизации, утилизируя технику мы заботимся об экологии: количество не перерабатываемых отходов минимизируется, а такие отходы, как пластик, пластмассы, лом черных и цветных металлов, используются во

вторичном производстве. Электронные платы, в которых содержатся драгметаллы, после переработки отправляются на аффинажный завод, после чего чистые металлы сдаются в Госфонд, а не оседают на свалках.

Таким образом утилизацию компьютера можно провести следующим образом:

1.Использовать услуги профессиональной компании по рециклингу, которая может приехать и забрать все приборы, которые планируется сдать в переработку.

2.Можно обратиться в местный муниципалитет по вопросу переработки электроники. [25]

### **5.2.8 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Природная чрезвычайная ситуация – обстановка на определенной территории или акватории, сложившейся в результате возникновения источника природной чрезвычайной ситуации, который может повлечь или повлек за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей и (или) окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась.

В лаборатории ИОА СО РАН наиболее вероятно возникновение чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера.

ЧС техногенного характера — это ситуации, которые возникают в результате производственных аварий и катастроф на объектах, транспортных магистралях и продуктопроводах; пожаров, взрывов на объектах.

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Раздел 1 Theoretical part

Студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1EM81	Толмачев Григорий Александрович		

Консультант ОКД:

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

Консультант ОИЯ ШБИП:

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

## 1. LITERATURE REVIEW

Natural disasters are referred to as various natural phenomena that cause sudden disruption of normal life activities of the population, as well as the destruction and destruction of material values. As a rule, they also have a negative impact on the surrounding nature.

Natural disasters include earthquakes, droughts, floods, snow drifts, debris flows, volcanic eruptions, landslides, storms, landslides and hurricanes. Fires, especially forest and peat fires, can certainly be classified as natural disasters.

The result of fires is a decrease in the protective, water-protective and other useful properties of the forest, as well as destruction of structures surrounding the fauna and in some cases, settlements. Trees, shrubs, wood harvested in the forest all this becomes a good springboard for the spread of fires. In addition, forest fires pose a serious danger to humans and farm animals. [26]

A forest fire is a natural, uncontrolled spread of fire over forest areas. The causes of fires in the forest are usually divided into natural and anthropogenic. The most common natural causes of large forest fires on Earth are usually lightning. The size of fires makes their visual observation possible even from space.

The age of the forest is very important, because in young forests, where there is a lot of greenery, the possibility of fire from lightning is much lower than in young forests, where there is a lot of dryness and sick trees. Despite the problem of forest fires, they are a factor of natural forest renewal, maintaining the balance in nature [3].

Unfortunately, at present the main reason of fires in forest areas is the lack of observance of safety measures by people. After all, the share of natural fires (from lightning) is only about 7%-8%. Such situation leads to the fact that there is an urgent need for the work of fire prevention services, as well as control over compliance with fire safety regulations.

There is such a concept as "artificial fires" or controlled fires. The need for managed fires is to destroy fire-hazardous combustible materials in the forest, waste logging, prepare sites for planting young tree seedlings, and control forest diseases and

pests. Sometimes fires are caused artificially for the purpose of its subsequent felling (for example, in the regions of the Russian Far East bordering China).

Fire at forest fires can spread on three levels. If lichens, grasses, forest litter, mosses, fallen leaves and branches burn, we observe a grassroots fire. In a grassroots fire, its wind speed is between 0.25 and 5 kilometres per hour, its flame height is up to 2.5 metres and its combustion temperature is around 700 °C and higher. Low-lying fires can be stable and fluent: [27]

If undergrowth, topsoil and teenagers burn first, the fire spreads quickly, excluding areas with a high humidity factor, so that part of the area remains untouched by the fire, we see a fugitive bottom fire. Such a fire is typical for spring periods, as only the upper forest cover starts to dry out.

If a fire spreads slowly, burning everything in its path, burns out the living and dead ground cover, completely burned teenagers and undergrowth, strongly burned roots and tree bark, these signs characterize a steady grassroots fire. Most often, stable fires occur in mid-summer.

If the grassroots fire is not eliminated, it can lead to a top fire as the next stage of its development. The main peculiarity of an upper forest fire is that it covers the forest canopy, with the lower fire being an integral part of it. Upper forest fires most often occur in summer, as it is a time of drought combined with strong winds. In such a fire, the propagation speed is between 5 and 30 kilometres per hour, the temperature in the fire zone is between 900°C and 1200°C, and the egg-shaped area is typical. If the forest is in a riparian fire, the trees die completely.

High fires, as well as grassroots fires, can be fluent (hurricane) and steady (flat): if at fire there is a sudden movement of the runaway top fire connected with heating of a canopy by heat, distribution of burning on a canopy is ahead of movement of edge of bottom fire, the fire very quickly extends, and it has arisen in conditions of a strong wind, it is a runaway (hurricane) fire. Characteristic speed of propagation is from 7 to 30 kilometers per hour, during the jump period burning spreads along the canopy at a speed of 3-5 meters per second, the flame is able to 15-20 seconds to go 80 meters;

if the fire moves in a continuous wall from the top of the ground to the tree crown, with the tree crown burning as the edge of the bottom fire progresses, but the fire does not spread out on its own in the canopy, then we see a swinging top fire. The characteristic spreading speed is up to 8 kilometres per hour. The wildfire is destroying the forest completely.

Now on the territory of Russia the spread of top fires is more often observed. Such fires form large masses of sparks from burning needles and branches, which create grassroots fires on several tens and hundreds of meters from the main fire source.

Peat-related fires that have the property of spreading at a rate of 1 km per day are called underground or soil fires. They can be subtle and spread up to a few meters deep, making them difficult to extinguish and particularly dangerous because peatlands can burn without air or even in high humidity. Exploration is necessary before extinguishing soil fires [3].

### **1.1 Forest fires classification by force**

Forest fires are divided into soil fires, high fires and low fires, while low fires and high fires can be fugitive and stable in terms of their speed of propagation. According to the analysis, the propagation speed of a weak low fire does not exceed 1 meter per minute, and the height of a weak low fire reaches 0.5 meters. An average grassroots fire can spread at a speed of 1 meter per minute to 3 meters and its height is at least 1.5 meters. A strong grassroots fire spreads over 3 meters per minute, with a height of over 1.5 meters.

The rate of spread of top fires exceeds that of bottom fires. According to the data, a weak top fire can spread up to 3 meters per minute, average up to 100 meters per minute, and a strong top fire can reach over 100 meters per minute.

Soil fires burn deep. Consequently, weak soil fires are characterized by a burnout not exceeding 25 centimetres in depth, the average 25-50 centimetres, and strong fires exceeding 50 centimetres.

Assessing forest fires in terms of area, a fire is considered to occur when it covers 0.1-2 hectares, a small fire covers 2 to 20 hectares, an average fire covers 20 to



200 hectares, a large fire covers 200 to 2,000 hectares and a fire exceeding 2,000 hectares is considered catastrophic.

The average duration of large forest fires is 10-15 days, during which time an area of 450-500 hectares is burned out [28].

### **1.2 Causes of forest fires**

Self-ignition of peat chips, human activity, thunderstorms and agricultural sticks in hot weather can cause forest fires.

Forest and agricultural workers, shepherds, hunters, fishermen, berry and mushroom pickers often make fires in the forest and, leaving them unquenchable, go away, throw unburned matches and cigarette butts, resulting in forest fires; finally, there are rare cases of deliberate forest fires and lightning fires.

Such factors determine the fire hazard of forest plantations: 1) ability of forest plantations to burn (to serve as a place and material for forest fires); 2) availability of fire sources (fire hazardous industries in the forest); high attendance of the forest by hunters, shepherds, vacationers, pickers of mushrooms and berries and medicinal plants; availability of railways in the forest; 3) conditions for extinguishing forest fires (remoteness of sites from settlements and other sources of labor and fire extinguishing means).

Coniferous plantations - pine, spruce, fir, cedar and larch with coniferous growth and undergrowth, with a soil cover of lichens, mosses, heather, dried out herbaceous plants and in the presence of forest rubbish - are the most flammable. Deciduous forests - oaks on fresh and damp soils, birch forests, alder forests - are less burnt. The mountainous nature of forests also depends on the season and meteorological conditions. In spring before the appearance of green vegetation and in autumn after its drying out, mass forest fires are more frequent. In summer it is of great importance with respect to forest fires (increase in fire hazard), the length of the non-availability period is of great importance: the more days after rain, the higher the risk of fire and vice versa.

Forests also depend on temperature and dryness of air (humidity deficit): the higher the temperature and dryness of air, the lower fire safety and vice versa. The

highest level of forest flammability is observed in the middle and beginning of the afternoon from 12 to 15 hours; by evening the risk decreases [28].

### **1.3 Consequences and prevention of forest fires**

The effects of forest fires are often devastating to the environment. As a result of forest fires, wood-destroying fungi and pests may spread in the forest, and soil conditions may deteriorate. Since forest fires use fluorinated surfactants (surfactants), this can destroy the Earth's ozone layer and cause irreversible genetic changes in animals. Forest fires also kill many animals, and those who manage to escape go to other areas in search of food.

As a result of fires, 80 to 100 tons of smoke particles are emitted into the atmosphere, 10 tons of such gases may contain sulfur oxide, nitrogen and carbohydrate.

Raging forest fires in Russia not only destroy buildings, destroy animals and people, but also destroy valuable trees and destroy the ecosystem. Over 110 natural fires were registered in May 2016 in eight regions of Russia. "On the territory of the Russian Federation, according to Rosleskhoz, in eight regions of Russia there are 116 natural fire sources. The Amur Region, Buryatia and Trans-Baikal Territory have the largest number of fire hotspots and areas. Management bodies and forces of the Ministry of Emergency Situations of Russia in these regions operate in the "emergency situation" mode, - said the head of the National Center for Management in Crisis Situations of the Ministry of Emergency Situations Viktor Yatsutsenko during a teleconference with Russian President V. Putin.

He said that the rescuers, supported by aviation, defended more than 70 settlements from fires in just one day. At the same time, four settlements suffered from natural fires this year. "Since the beginning of the fire-hazardous period, there have been cases of transition of fires to residential houses in four settlements in three subjects of the Russian Federation," he said.

Mikhail Kreindlin, head of the Greenpeace Specially Protected Areas Program, answering a question about the timeframe for restoring forests damaged by riding fires, during which not only the forest litter - grass and needles - are burning, but the whole

tree said: "If no additional measures are taken, in any case, it will take hundreds of thousands of years to restore the forest.

Nikolai Shmatkov, Forest Policy Project Coordinator of the World Wildlife Fund of Russia, notes that: "If the forest is passed by a high fire, in the first years after the fire there will be only desert".

Ecologists believe that the most vulnerable species of trees are deciduous trees such as ash, oak and linden, as well as spruce forests, because after the fire the spruce is not restored. The fire in a pine forest is the least lost because the pine tree is less exposed to burnout than other trees and is able to withstand fires from below. Fires are more easily tolerated by large trees and their bark burns, but since small trees have less bark, they will burn first. With this tendency, the forest will grow old.

To reduce the fire hazard situation in the forests, it is necessary to take measures to prevent and spread forest fires and to carry out a number of forestry activities. As a preventive measure, it is recommended to carry out sanitary logging, clean up logging sites, create fire protection barrier systems and build special fire protection facilities.

To reduce the risk of fire in the forest, it is necessary to clean it from dryness and deadwood, lay about three mineralized strips with a distance of 50-60 meters between them, remove undergrowth, and periodically burn out the above-ground cover.

It is very important to develop measures to effectively extinguish large fires. The given work can be divided into several stages such as: fire reconnaissance, or specification of borders of a fire with revealing of a kind and force of burning at different times of day; fire localization, i.e. elimination of possibilities of new distribution of a fire; fire liquidation, i.e. extinguishing of seats of burning; supervision over a place of a fire.

According to the results of exploration predict the possible position of the edge of the fire, its nature, the force of combustion and the required time for complete extinguishing of the fire. On the basis of the forecast of fire development and taking into account the forest pathological characteristics of the areas surrounding the fire, possible support lines (rivers, streams, hollows, roads, etc.) a plan of fire stopping is drawn up, methods and techniques of stopping the fire are determined. [29]

The second stage is fire localization. At this stage, it is important to stop the spread of the fire by influencing its burning edge, and after the laying of barrier strips and ditches. It is important to prevent the resumption and spread of forest fires.

Since forest fires are not only dangerous for vegetation and animals, but also for people, it is necessary to know the basic methods of protecting the population. It is very important to exclude people from the fire zone, evacuation from settlements is carried out, entry into fire dangerous areas is restricted and emergency rescue of people and agricultural animals from the fire areas is carried out. The fires are then extinguished in a safe manner.

When organizing work in the fire zone all participants of its liquidation should be provided with special clothes, helmets, smoke masks or gas masks with special cartridges to protect against carbon monoxide. Each group shall be provided with a conductor with good knowledge of the terrain; an observer who monitors the direction of fire propagation, falling trees and communicates with the fire-fighting headquarters by means of communication. Participants in forest fire extinguishing operations should know the possible shelter from the fire, how to approach it and how to evacuate it from the fire zone, as well as characteristic landmarks.

It is important to observe special safety precautions when using fire extinguishing equipment to avoid the risk of fire from this equipment. It is necessary to ensure that the machines are not located between the annealing line and the front of the fire. Patrol officers should be left behind to eliminate possible fire sources in the rear of the annealing line. Only specially trained people should be allowed to work with special devices and equipment, and special safety rules should be observed when carrying out blasting operations.

If a fire is extinguished with water, it must not be directed to electrical installations or power lines. If there is a need to pass through a burning area, hold your breath to prevent burning of the respiratory tract.

It is forbidden to spend the night in the zone of active fire. Appropriate precautions must be taken in the event of a sudden breakthrough or a change in the

direction of fire when arranging accommodation and resting places for people involved in fire extinguishing.

In the forest it is forbidden to use open fire (throwing burning matches, cigarette butts and shaking hot ashes out of smoking tubes), to use wads made of flammable or smouldering materials when hunting, to leave (except for specially designated places) oiled or soaked with gasoline, kerosene and other combustible materials, fill the fuel tanks of running internal combustion engines with combustible materials, use machines with a faulty system and smoke or use open fire near machines filled with combustible materials. It is not recommended to leave bottles or shards of glass in a sunlit forest meadow, as they can work as ignition lenses by focusing the rays. In order to prevent fires during the fire-hazardous period in the forest, it is forbidden to burn grass under trees, in forest glades, glades and meadows, as well as stubble in fields located in the forest, and to build fires in coniferous young growths, peat bogs, loggers with cuttings and harvested wood, in places with dried out grass, under tree crowns [29].

Mathematical model and algorithm for calculation of the current pollutant emissions into the atmosphere during top forest fires

The same general mathematical model for determining pollutant and heat emissions as in annex A is valid for mounted forest fires if contour S is understood as the contour of the mounted forest fire.

A wildfire occurs if the following condition is met:

$$h_2 < h_n = , u > 2.0 \text{ m/s},$$

where  $h_2$  is the height of the lower edge of the forest canopy;

$k = 1.6$  is an empirical coefficient;

$u$  - wind speed in tree crowns.

The speed of propagation of the top forest fire in case the direction of propagation coincides with the direction of wind is determined by the formula:

$$\omega = \frac{u_\infty [\bar{q} + \sqrt{\bar{q}^2 - 8\bar{q}\varepsilon(\pi+1)(\theta_0 - 1)}]}{2\bar{q}(\pi+1)}, \pi = \sum_{i=1}^4 \frac{\rho_i \varphi_{ih} C_{pi}}{\rho_{5\infty} C_{p5}},$$

$$\bar{q} = (\rho_{5\infty} C_{p5} T_{\infty})^{-1} \left\{ \left[ \frac{q_3 M_1 \alpha_c}{M_c} + q_5 (1 - \alpha_c) v_T \right] \rho_1 \phi_{1H} - q_2 \rho_2 \phi_{2H} \right\},$$

$$\varepsilon = \frac{\alpha \lambda_T}{\Delta h (\rho_{5\infty} C_{p5} u_{* \infty}^2)^2}, \theta_0 = \frac{T_0}{T_{\infty}} = 1 + \frac{k \bar{q}_0}{1 + \pi}, \bar{q}_0 = q |_{\phi_{2H} = 0}$$

where  $c$  is a coke number;

$M_1, M_c$  is the molecular and atomic mass of oxygen and carbon;

$q_5$  - heat of combustion of gaseous pyrolysis products;

$d$  - mass fraction of gaseous combustible pyrolysis products;

$q_2$  - heat of bound water evaporation;

$k = 1.6$  - empirical constant;

$q_3$  - heat of coke combustion;

1, 2, 3 and 5 - density of dry organic matter, bound water, coke and air;

heat transfer coefficient of the forest canopy with the surface atmosphere layer;

$t$  - coefficient of turbulent heat conductivity;

$T_0$  - maximum temperature in the front of the top forest fire;

the index is attributed to values for normal environment far from the front;

$n$  - initial values of the state parameters in the forest fire zone.

The application of the formula (B.2) is only possible with  $W < W^*$ , where  $W^*$  is the ultimate average moisture content in crowns. With  $W > W^*$ , the top fire does not spread.

Formulas (B.2), (B.3) are derived from analytical and numerical studies. At  $2 \text{ m/s} < u^* < 4 \text{ m/s}$ ,  $d = 0.7$ ,  $s = 0.06$ ,  $0\% < W < 90\%$  ( $W^* = 90\%$  - the limiting moisture content of LHM in crowns),  $0.15 \text{ kg/m}^3 < < 0.3 \text{ kg/m}^3$  expression approximates the results of numerical calculations with an error not exceeding 10%.

For definition of the contour of a swept forest fire it is possible to use the same formula (A.5), as for the lower forest fires with axes  $a_v, b_v$  and coordinate  $x_0$ .

$$a_B = \frac{(\omega_A^{(B)} + \omega_B^{(H)})t}{2}, b_B = \omega_C^{(H)}t, x_0 = \frac{(\omega_A^{(B)} - \omega_B^{(H)})t}{2}.$$

Here the  $x$ -axis is directed towards the wind.  $v$  - the speed of the top forest fire defined by the formula (B.2) - the speed of the bottom forest fire spreading

perpendicular to the wind speed and defined by the formula (A. 12) - the speed of the bottom forest fire spreading against the wind speed.

The same method as for a low forest fire can be used to define M for a low forest fire. Obviously, in this case not only the ground cover burns but also the mass of LMG in the tree crowns. Therefore, a formula should be used to determine emissions from top forest fires:

$$M_{\text{top}} = \frac{K_{\text{top}} \pi m_{3B}}{2N^*} \left\{ 1.5 \left[ \frac{(\omega_A^{(B)} + \omega_B^{(H)})}{2} + \omega_C^{(H)} \right] - \sqrt{\frac{(\omega_A^{(B)} + \omega_B^{(H)})}{2} \omega_C^{(H)}} \right\} t^2 \sum_{j=1}^N \omega_n(\alpha_j)$$

In contrast to the low forest fire, the horse does not spread against the wind. Therefore, in formula (B.5), the sum of j is limited to  $N^* < N$ , where N is the total number of breaks for the entire ellipse that simulates the contour of the low forest fire. It is known that the top forest fire occurs and spreads only when the equilibrium wind speed in the forest canopy in one-dimensional case meets the condition:

$$u > u^* = 2 \text{ m/s.}$$

In two-dimensional case, this condition assumes the form:

$$u_n(j) > u^*.$$

From the condition of equality.

$$u_n(j) = u^*$$

it is easy to find the limit angle  $j^*$  at which the forest fire is still spreading. This angle corresponds to the value  $N^*$ .

The total number of pollutants emitted during the spread of avalanche forest fire is equal:

$$M = Mv + Mn,$$

where Mn is determined by the formula.

It is easy to see that in case of a wildfire  $M \sim t$ , as in case of a low forest fire.

The area of the forest fire is determined by the formula:

$$A_B = \frac{\pi}{2} (\omega_A^{(B)} + \omega_B^{(H)}) \omega_C^{(H)} t^2.$$

If the area of the top forest fire is known "v, the burning time can be easily determined by the formula:

$$t_{\Gamma} = \sqrt{\frac{2S_B}{\pi(\omega_A^{(B)} + \omega_B^{(H)})\omega_C^{(H)}}}$$

#### 1.4 physico-mathematical problem definition

The following terms with their respective definitions and designations are used in this methodology:

Forest fuels (LHM) are natural hydrocarbon fuels, which include thin twigs, needles or leaves in the tree crown and fallen to the ground, as well as ground cover (grass, shrubs, moss, lichen), marsh plants and peat.

Forest fire is a phenomenon of uncontrolled multistage combustion in the open space on the covered forest area, in which there are interconnected processes of convection and radiation energy transfer, heating, drying and pyrolysis of forest combustible materials (LFM), as well as gaseous combustion and afterburning of condensed LFM pyrolysis products.

At any moment of time it is possible to allocate on the territory covered by a forest, rather large control volume of the environment - a fire zone, inside of which the parameters of the environment as a result of physical and chemical transformations caused by a forest fire, differ from the undisturbed values determined by weather conditions and vegetation type. The scheme of the forest fire zone is presented in Fig. 1, 2.

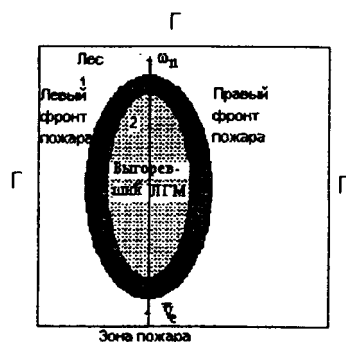


Fig. 1. Scheme of forest fire zone (view from above)



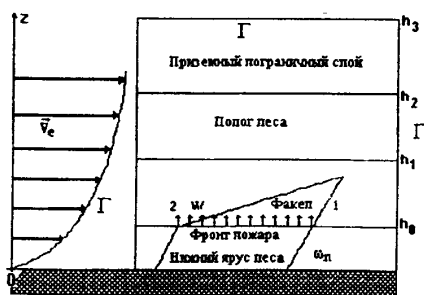


Fig. 2. Scheme of forest fire zone (view in vertical plane)

The strongest change in the parameters of the environment occurs in some part of the forest fire zone called the fire front, which spreads with some speed over the forested area. This speed is determined by mass and energy transfer processes, as well as by physical and chemical processes - drying, LMG pyrolysis, combustion of gaseous and condensed LMG pyrolysis products. Visually, the forest fire front is observed as a luminous forest fire zone.

Surface 1, which separates the front from the unburned LMG, is called the outer edge of the forest fire front. Its projection on the underlying surface will be called the contour of the forest fire. Obviously, the latter separates the LMGs affected by the fire from the unburned materials. The outer edge spreading in the wind is called the front edge, and against the wind - the back edge. On the scheme of forest fire zone (fig. 1 and 2) D - forest fire zone boundary, 1 - forest fire zone boundary (fig. 1) and external edge of forest fire front (fig. 2), 2 - internal edge of forest fire front (fig. 2) and projection of this edge on horizontal underlying surface (fig. 3.1); horizontal arrows on fig. 1). 2 denote the speed (in size and direction) of undisturbed wind for different heights, and vertical  $w$  the speed of blowing gaseous and dispersed combustible products of combustion from the front of the fire into the surface layer of the atmosphere.

The rate of spread of forest fire is directed to the normal circuit of forest fire, so it is called the normal rate of spread and is determined by the formula:

$$\omega_n = \lim \frac{\Delta n}{\Delta t},$$

where the increase in the fire circuit is normal for a period of time  $t$ .

Surface 2 (see Figures 1, 2) separating the fire front from the burned out LMG is called the inner edge of the forest fire. It can move both in and out of the wind and therefore at a slower speed than the front outer edge, which propagates in the wind direction. As a result, the thickness (width) of the front for different fires may vary depending on the time, wind speed and LMG reserve, which differs little from the undisturbed values.

In the forest fire zone there is a porous-dispersed medium, which is called a fire environment and consists of dry organic matter (volume fraction 1), water in the state associated with this substance (2), condensed pyrolysis product - coke (3), condensed combustion product - ash (4), gas phase (5), which includes air components, and gaseous pyrolysis products (5), and dispersed combustion products, which consist of soot particles (volume fraction 6), and ash particles (7).

The boundary of the forest fire zone G is the surface on which the parameters of the state of the medium (temperature, wind speed, concentrations of components) do not differ from the parameters of the state of the undisturbed medium. Obviously, parameters of the state of environment in the fire zone asymptotically tend to non-disturbed values. Therefore, for the specific definition of the boundary of the fire zone it is necessary to determine a priori the degree of allowed differences between E of the undisturbed and perturbed values of the state parameters on the boundary of the fire zone D.

An emission of a pollutant into the atmosphere is the inflow or formation of physical and chemical agents and substances that adversely affect people and the environment during a certain time. The emission of any pollutant is denoted by M and is measured in mass units (g, kg, mole). A distinction is made between total and current emissions of pollutants. The total emission is the emission of pollutants during the whole burning period. The current emission is the emission corresponding to the point in time considered, which is less than the total burning time. The current emission is therefore always smaller than the total emission.

Specific emission (coefficient of emission) - a substance in a fire is called a ratio:

$$K_{\alpha} = \frac{m_{\alpha}}{m_r}, [K_{\alpha}] = \text{кг}/\text{кг}, \alpha = 1, 2, \dots, N,$$

where  $m_g$  is the mass of LMG in a unit of forest area burned in a forest fire;  
 $m$  - mass of an LHM component produced by burning in the same unit of the forest area;

index varies from 1 to  $N$ , where  $N$  is the total number of pollutants (harmful substances) that occur during a forest fire.

If the LMG chemical formula is known, in case of organized combustion it is possible to determine the emission coefficients by means of stoichiometry - the science of quantitative relations, in which different substances enter into chemical reaction with each other. For uncontrolled combustion  $K$  instead of (3.2) it is more convenient to determine in an experimental way.

Undigested LMG is the mass of unburned fuel under conditions of uncontrolled combustion  $m_n$  per unit area. Along with  $m_n$  the coefficient of underburn is used, which is determined by the formula

$$K_H = \frac{m_H}{m_0},$$

$m_0$  - LMG stock in absolutely dry condition,  $\text{kg}/\text{m}^2$ .

The amount of burned LMG  $m_g$  can be determined by using the law of mass conservation.

$$m_r = m_0 - m_H.$$

where  $m_g$  is measured in  $\text{kg}/\text{m}^2$ .

Pollutant - a substance that pollutes the environment. The Russian synonym for this word is pollutant. The mass of Pollutant - a variety emitted when a unit of LMG plant cover area burns on the basis of (3.3) and (3.4) is determined by a formula:

$$m_{\alpha} = K_{\alpha} (m_0 - m_H).$$

The value of  $m$  is measured in  $\text{kg}/\text{m}^2$ .

The amount of heat released into the atmosphere is the amount of heat  $Q_p$  emitted when the mass of  $m_g$  LMG burns. The heat release to the atmosphere is determined by the formula

$$Q_{II} = q (m_0 - m_H)$$

The  $Q_p$  value is measured in J/m<sup>2</sup>.

$q$  is the thermal effect of LMG combustion, J/kg;

$S_i$  - the area of forest area covered by fire, m<sup>2</sup>;

$M_n$  is the mass of an unburned LGBP fire in  $S_i$ , kg;

$M_g$  - mass of an unburned LMG fire on the area  $S_i$ , kg;

$K$  - the coefficient of completeness of combustion, which determines what part of the initial mass of fuel burned in a fire:

$$K = \frac{m_r}{m_0}, \quad K = 1 - K_H.$$

$W$  is the moisture content of LMG, as a percentage;

$W^*$  is the limit value of moisture content above which the LHM does not burn, in percent;

$x, y$  - coordinates of fire contour;

$a, b$  - large and small axis of the ellipse corresponding to the fire contour;

$x_0, y_0$  - coordinates of the ellipse center;

$v_e$  - wind speed, m/s;

$A$  - speed of fire front spreading in wind direction, m/s;

$B$  - fire front propagation speed against wind speed, m/s;

$C$  - fire front propagation speed perpendicular to wind speed, m/s;

$t$  - current burning time, p;

$t^*$  - total LHM burning time, s;

$M^*$  - full value of pollutant emissions by time  $t^*$ , kg;

$Q^*$  - the total value of heat emission by the time  $t^*$ , J.J., LGM;

$Y_r$  - open combustion area of peat deposit, through which pollutant emission into the atmosphere occurs, m<sup>2</sup>. [29]

### **1.5 Description of the methodology for calculation of the total emissions of harmful substances and heat from forest fires.**

Employees of regional aviation bases for forest protection and defence and regional forest administrations of the Federal Forest Service of Russia shall fill in a forest fire registration card after each forest fire (see Annex D). It indicates the type of

forest fire (lower, upper or underground), burnt-out area and a number of other data that are of service nature.

The value of  $K$ , as shown in the second formula (3.7), is expressed through the underburn  $K_n$  coefficient, which can be determined by examining the consequences of a forest fire.

Having a forest fire map and knowing  $K$  and  $K$  the total mass-component and heat release  $Q_p$  for any type of forest fire should be determined by the formula:

$$M_{\alpha i} = S_i K_i K_{\alpha i} m_{30i}, Q_{\eta i} = q_i k_i m_{30i}, i = 1, 2, 3.$$

$S_i$  - the area of forest area, passed by fire.

$Q_{\eta i}$  - the warmth that came out of the fire in J. S.

$q_i$  - thermal effect of LFM burning in J/kg,

index  $i$  equal

1 - corresponds to the parameters of a low forest fire;

2 - corresponds to the parameters of a low forest fire;

3 - a fire on peatlands.

The rest of the letter designations have the same meaning as in the previous formulas.

The number of pollyutants is determined not only by the rate of combustion and the size of the combustion area, but also by the emission factors  $K$  pollyutants, which depend on the type of vegetation and combustion conditions. Table 4.1 shows the  $K$

Table 1: Average values of emission factors  $K$

Name of pollyutant	Value $K$ , kg/kg
Carbon oxide (carbon monoxide)	0.135
Carbon dioxide	0.094
Nitric oxide	0.000405
Soot (elementary carbon) on fire	0.0014
Smoke (combustion mode)	0.014
Smoke (smouldering mode)	0.055
Soot on smoldering	0.011

Methane 0.075

Other hydrocarbons 0.011

Ozone 0.001

Mathematical modeling - a means of studying a real object, process or system by replacing them with a mathematical model more convenient for experimental study with a computer.

Mathematical modeling is a mathematical representation of reality. It is a special case of the concept of model, as a system, the study of which allows to obtain information about some other system.

The process of building and studying mathematical models is called mathematical modeling.

All natural and social sciences using the mathematical apparatus, as a matter of fact, are engaged in mathematical modeling: they replace the object with its mathematical model and then study the latter. The link between mathematical model and reality is made by means of a chain of hypotheses, idealizations and simplifications. By means of mathematical methods, as a rule, an ideal object built at the stage of meaningful modeling is described.

The purpose of modeling is to obtain, process, present and use information about objects that interact between themselves and the environment, and the model acts as a means of learning the properties and laws of the object.

The theory of modeling is a section of science that studies the ways of studying the properties of original objects, based on their replacement by other objects-models. The theory of modeling is based on the theory of similarity, allowing to transfer results of research to models in real life.

Mathematical modeling, apart from studying an object, process or system and compiling their mathematical description, also includes:

- building an algorithm that simulates the behavior of an object, process or system;
- checking the adequacy of the model and the object, process or system on the basis of a computational or natural experiment;

- model correction;
- investigation of the obtained model.

As a result of research of dynamics of fires, the method of mathematical modeling allows to describe adequately the state of forest biogeocenosis and ground layer of atmosphere at fires, and therefore finds wide application in the process of forecasting forest fires and their consequences.

### Control volume method

The paper presents the results of mathematical modeling of impurities distribution in the atmosphere

For the numerical integration of the initial system of equations the control volume method is used.

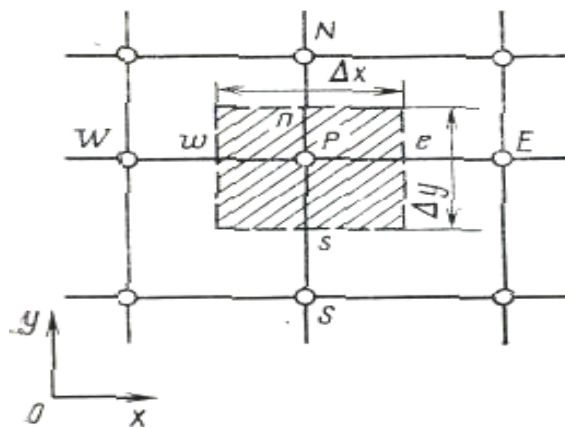


Fig. 3. Test volume (shaded area) for 2D cases

We divide the calculation area into a number of control volumes that do not intersect. Then we integrate initial system of the equations on each control volume.

A discrete analogue for two measurements.

A part of the two-dimensional grid is shown in Fig.2. For the node point P the neighboring points W and E are in the direction of the x axis, the points N and S (indicating north and south) are in the direction of the y axis. The reference volume surrounding point P is shown as dashed lines. The volume depth in the z direction is assumed to be one. The designations introduced in Fig. 2. for distances  $\Delta x$ ,  $(\delta x)e$ , etc., apply here to two dimensions. The question of the location of the edges of the reference volume with respect to the nodes is still open. It is possible to place them exactly in the

middle between adjacent points, but other methods can be applied, some of them will be considered below. The discrete analogue obtained here can be used in any such case.

Let's assume that the value obtained in this way "e is extended to the whole surface area  $\Delta y \times 1$ . The intensity of heat transfer through other surfaces of the reference volume can be determined in a similar way. In this case, the differential equation

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + S$$

can quickly lead to a discrete analogue

$$a_P T_P = a_E T_E + a_W T_W + a_N T_N + a_S T_S + b$$

Where

$$\begin{aligned} a_E &= \frac{k_e \Delta y}{(\Delta x)_e}; \quad a_W = \frac{k_w \Delta y}{(\Delta x)_w}; \quad a_N = \frac{k_n \Delta x}{(\Delta y)_n}; \\ a_S &= \frac{k_s \Delta x}{(\Delta y)_s}; \quad a_P^0 = \rho c \Delta x \Delta y / \Delta t; \quad b = S_C \Delta x \Delta y + a_P^0 T_P^0; \\ a_P &= a_E + a_W + a_N + a_S + a_P^0 - S_P \Delta x \Delta y. \end{aligned}$$

The production of  $\Delta x \Delta y$  is a reference volume.

Note one of the properties of the convective-diffusion problem. Since a given flow field must satisfy the continuity equation

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j) = 0$$

then the general differential equation

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\rho \Phi) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j \Phi) &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma \frac{\partial \Phi}{\partial x_j} \right) + S \\ \rho \frac{\partial \Phi}{\partial t} + \rho u_j \frac{\partial \Phi}{\partial x_j} &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma \frac{\partial \Phi}{\partial x_j} \right) + S \end{aligned}$$

It follows from equation form (3) that for given distributions  $\rho$ , and, D and S any solution F and its modification (F plus constant) must satisfy equation. Under this condition, the basic rule regarding the sum of coefficients remains valid.



At this stage, all the components required to produce a discrete analogue corresponding to the general differential equation are available. We will find an approximation of the two-dimensional equation.

Equation (2) can be presented in two-dimensional form as follows

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\Phi) + \frac{\partial J_x}{\partial t} + \frac{\partial J_y}{\partial t} = S$$

where  $J_x$  and  $J_y$  are total (convection plus diffusion) flows defined as follows:

$$J_x \equiv \rho u \Phi - \Gamma \frac{\partial \Phi}{\partial x},$$

$$J_y \equiv \rho v \Phi - \Gamma \frac{\partial \Phi}{\partial y}$$

where  $u$  and  $v$  is the speed components in the  $x$  and  $y$  directions. The integration of equation (4) by the reference volume shown in Fig. 2, gives

$$\frac{(\rho_P \Phi_P - \rho_P^0 \Phi_P^0) \Delta x \Delta y}{\Delta t} + J_e - J_w + J_n - J_s = (S_C + S_P \Phi_P) \Delta x \Delta y,$$

Similarly, the continuity equation (1) can be integrated by reference volume

$$\frac{(\rho_P - \rho_P^0) \Delta x \Delta y}{\Delta t} + F_e - F_w + F_n - F_s = 0,$$

where  $F_e$ ,  $F_w$ ,  $F_n$  and  $F_s$  are the mass flow rates across the limits of the reference volume. If  $\rho u$  at point  $e$  is considered to be the dominant flow rate across the entire reference volume boundary, then

$$F_e = (\rho u)_e \Delta y.$$

in a similar vein to

$$F_w = (\rho u)_w \Delta y;$$

$$F_n = (\rho v)_n \Delta x;$$

$$F_s = (\rho v)_s \Delta x.$$

If we multiply equation (7) by  $\Phi_P$  and subtract it from equation (6), we get

$$(\Phi_P - \Phi_P^0) \frac{\rho_P^0 \Delta x \Delta y}{\Delta t} + (J_e - F_e \Phi_P) - (J_w - F_w \Phi_P) + (J_n - F_n \Phi_P) - (J_s - F_s \Phi_P) = (S_C + S_P \Phi_P) \Delta x \Delta y,$$

This method using (6) and (7) allows to obtain (9), which is a discrete analogue of the combination of equations (1) and (2) from which (3) is derived. Another way is to obtain a discrete analogue of equation (3), but this method is not so convenient.

The assumption of the constancy of a series of values on the facets of a control volume makes it possible to apply the experience obtained in the analysis of a one-dimensional problem to a two-dimensional case. Recall here that the equations

$$\begin{aligned} J^* - P\Phi_i &= A(\Phi_i - \Phi_{i+1}); \\ J^* - P\Phi_{i+1} &= B(\Phi_i - \Phi_{i+1}). \end{aligned}$$

provide a way to express members such as GeFP and Jw - Fw, FR. We use this as follows:

$$\begin{aligned} (J_e - F_e\Phi_P) &= a_e(\Phi_P - \Phi_E); \\ (J_w - F_w\Phi_P) &= a_w(\Phi_W - \Phi_P), \end{aligned}$$

Where

$$\begin{aligned} a_E &= D_e A(|P_e|) + [|-F_e, 0|]; \\ a_w &= D_w A(|P_w|) + [|F_w, 0|]. \end{aligned}$$

Here D and Dw, like Fe and Fw, contain an area  $\Delta y \times 1$  faces e and w. Using expressions for Jn-FnFR and Js-FsFP, one can record the final form of the discrete analogue. Equations show that the rule with respect to the sum of neighboring coefficients can be easily executed.

The final form of the discrete analogue. The two-dimensional discrete analogue can be written in the following form:

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

Where

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

Here  $FR_0$  and  $\rho P_0$  denote known values for time  $t$ , and all other values ( $FR$ ,  $EF$ ,  $F_w$ ,  $FN$ ,  $FS$ , etc.) are unknown values for time  $t+\Delta t$ . Mass costs  $F_e$ ,  $F_w$ ,  $F_n$  and  $F_s$  are determined by equations (8.1.). Let us present the corresponding conductivities as

$$D_e = \frac{\Gamma_e \Delta y}{(\delta x)_e}; \quad D_w = \frac{\Gamma_w \Delta y}{(\delta x)_w};$$

$$D_n = \frac{\Gamma_n \Delta x}{(\delta y)_n}; \quad D_s = \frac{\Gamma_s \Delta x}{(\delta y)_s}.$$

and the number Pекle

$$P_e = \frac{F_e}{D_e}; \quad P_w = \frac{F_w}{D_w};$$

$$P_n = \frac{F_n}{D_n}; \quad P_s = \frac{F_s}{D_s};$$

It should be noted that even at this stage the physical meaning of the various coefficients is clear. The coefficients at the adjacent points  $aE$ ,  $a_w$ ,  $aN$  and  $a''$  take into account the influence of convection and diffusion for the four edges of the control volume, which depend on the mass flow rate  $F$  and conductivity  $D$ . The member  $AR_0$  characterizes the known value  $F$  for the reference volume (for time  $t$ ), referred to the time step. The remaining members may be interpreted in a similar manner. [30]

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

```
cd c:/barrier
load x1.dat
load x2.dat
load t.dat
load levt.dat
contour(x1,x2,t,levt,'k')
>> %рисование разрыва (полянки) - прямоугольника
>> load gr.dat
>> load levb.dat
>> hold on
>> contour(x1,x2, gr,levb,'k')
```

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проделанной работы были выполнены следующие задачи:

Проведён анализ научной работы доктора физико-математических наук В. А. Перминова для подробного изучения математической модели и результатов численных расчётов возникновения верхового лесного пожара и последующего его распространения.

В процессе исследования проводилась теоретическая подготовка в исследовании лесных пожаров, анализ статей известных ученых в области моделирования распространения лесных пожаров, освоение программного обеспечения для создания моделей распространения контуров лесного верхового пожара. Так же был создан интерфейс для удобного пользования программным обеспечением.

В результате исследования процесс возникновения и развития верхового лесного пожара описан в рамках математической постановки, т.е. учитывается взаимное влияние приземного слоя атмосферы и процессов горения в лесном массиве. Изучено влияние метеоусловий и других факторов на скорость распространение верхового пожара. А также было создано программное обеспечение для расчета контуров распространения верховых лесных пожаров.

В результате, цель работы достигнута, все задачи выполнены. В работе были выявлены недостатки математического моделирования, которые могут повлечь за собой некорректные расчеты, следовательно, программа требует дальнейшей доработки.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гришин А.М., Зятнин В.И., Перминов В.А. Экспериментальное исследование перехода низового лесного пожара в верховой [Текст] // ВИНТИ – 1991. – № 982-91 – С.22.
2. Патанкар С.В. Численные метода решения задач теплообмена и динамики жидкости. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 152 с .
3. Гришин А.М. Анализ действия лесных и степных пожаров на города и поселки и новая детерминированно-вероятностная модель прогноза пожарной опасности в населенных пунктах // Вестник Томского Государственного Университета. – 2009. – №1(6). – С. 41-48.
4. Методические указания к изучению темы «Чрезвычайные ситуации, связанные с пожарами и взрывами» /Сост. С.М. Сербии, Г.А. Колупаев. М.: Изд-во Рос. экон. акад., 1999 г.
5. Лесные пожары: классификация, прогнозирование, организация тушения [Электронный ресурс] / URL: <http://www.wood.ru/ru/lofire.html>, свободный.
  - а. Загл. с экрана. – яз. рус., англ. Дата обращения: 27.02.2020 г.
6. Зайцев А.П. «Стихийные бедствия, аварии, катастрофы». М. 2002 г.
7. Зайцев А.П. «Чрезвычайные ситуации». М. 2002 г.
8. ИДСМ-Рослесхоз-Авиалесоохрана [Электронный ресурс] / URL: <https://aviales.ru/>, свободный. – Загл. с экрана. – яз. рус., англ. Дата обращения: 10.03.2020 г.
9. И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В. Криницына Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
10. Романенко С.В. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» выпускной квалификационной работы магистра,

специалиста и бакалавра всех направлений (специальностей) и форм обучения ТПУ/Сост. С.В. Романенко, Ю.В. Анищенко – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 11 с.

11. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны

12. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

13. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

14. ГОСТ 54 30013-83 Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности

15. ГОСТ 12.4.154-85 “ССБТ. Устройства, экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты”

16. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 "Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)".

17. ГОСТ 12.4.123-83. Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования

18. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

19. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.

20. ГОСТ 12.4.154. Система стандартов безопасности труда. Устройства, экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования, основные параметры и размеры

21. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.

22. ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности

23. СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы.

24. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха

25. ГОСТ 30775-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов.
26. E. Pastor, L. Zarate, E. Planas and J. Arnaldos. Mathematical models and calculation systems for the study of wildland fire behaviour. *Progress in Energy and Combustion Science*, 29:139–153, 2003. Doi:10.1016/S0360-1285(03)00017-0
27. ^ Jump up to:<sup>a b</sup> Richard C. Rothermel. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fires. USDA Forest Service Research Paper INT-115, 1972.
28. Jump up^ Forestry Canada Fire Danger Group. Development and structure of the Canadian forest fire behavior prediction system. Forestry Canada, Science and Sustainable Development Directorate, Ottawa, ON, Information Report ST-X-3, 1992.
29. Jump up^ I. R. Noble, G. A. V. Bary, and A. M. Gill. McArthur's fire danger meters expressed as equations. *Australian Journal of Ecology*, 5:201--203, 1980.
30. Jump up^ N. P. Cheney, J. S. Gould, and W. R. Catchpole. The influence of fuel, weather, and fire shape variables on fire-spread in grasslands. *International Journal of Wildland Fire*, 3:31--44, 1993.