

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

Институт –Энергетический
Направление подготовки –Теплоэнергетика и теплотехника
Кафедра –Теоретической и промышленной теплотехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Математическое моделирование режимов теплового воздействия лесных пожаров на ствол хвойного дерева

УДК 633.877:536.3-047.37:630'435

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ4В	Андреева Ксения Николаевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Барановский Николай Викторович	к.ф-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Василевский М.В.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Теоретической и промышленной теплотехники	Кузнецов Г.В.	д.ф-м.н.		

Томск – 2016 г.

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы магистра по направлению 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	Универсальные компетенции	
P1	Использовать представления о методологических основах научного познания и творчества, анализировать, синтезировать и критически оценивать знания	Требования ФГОС (ОК- 8, 9; ПК-4), Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P2	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-3; ПК-8, 24), Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации, осуществлять педагогическую деятельность в области профессиональной подготовки	Требования ФГОС (ОК-4, 5; ПК-3, 16, 17, 25, 27, 28, 32), Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P4	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития.	Требования ФГОС (ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P5	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1, 2, 6), Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
	Профессиональные компетенции	
P6	Использовать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания для создания и применения инновационных технологий в теплоэнергетике	Требования ФГОС (ПК-1, 5), Критерии 5 АИОР (п.1.1), согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P7	Применять глубокие знания в области современных технологий теплоэнергетического производства для постановки и решения задач инженерного анализа, связанных с созданием и эксплуатацией теплотехнического и теплотехнологического оборудования и установок, с использованием системного анализа и моделирования объектов и	Требования ФГОС (ПК-2, 7, 11, 18 – 20, 29, 31), Критерий 5 АИОР (пп.1.1, 1.2, 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

	процессов теплоэнергетики	
P8	Разрабатывать и планировать к разработке технологические процессы, проектировать и использовать новое теплотехнологическое оборудование и теплотехнические установки, в том числе с применением компьютерных и информационных технологий	Требования ФГОС (ПК-9, 10, 12 – 15, 30), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P9	Использовать современные достижения науки и передовой технологии в теоретических и экспериментальных научных исследованиях, интерпретировать и представлять их результаты, давать практические рекомендации по внедрению в производство	Требования ФГОС (ПК-6, 22 – 24,), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P10	Применять методы и средства автоматизированных систем управления производства, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на теплоэнергетическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС (ПК-21, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P11	Готовность к педагогической деятельности в области профессиональной подготовки	Требования ФГОС (ПК-32), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ**
Направление подготовки (специальность) **Теплоэнергетика и теплотехника**
Кафедра **Теоретической и промышленной теплотехники**

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой ТПТ

(Подпись) (Дата) Кузнецов Г.В.

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группы	ФИО
5БМ4В	Андреевой Ксении Николаевне

Тема работы:

Математическое моделирование режимов теплового воздействия лесных пожаров на ствол хвойного дерева

Утверждена приказом директора (дата, номер)	3753/с от 20.05.2016
---	----------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2016 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Объектом исследования является ствол хвойного дерева. Ствол дерева имеет слоистую структуру, поэтому рассмотрению подлежит трехслойная модель. Предмет исследования – теплоперенос в слоистой структуре ствола хвойного дерева при воздействии теплового потока от фронта лесного пожара.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Аналитический обзор литературы по тематике исследования. Формулировка физической и математической моделей теплового воздействия на ствол хвойного дерева. Анализ результатов математического моделирования. Формулировка выводов по результатам численного исследования.
Перечень графического материала	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Попова Светлана Николаевна
«Социальная ответственность»	Василевский Михаил Викторович
«Раздел на английском языке»	Крайнов Александр Валерьевич
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Введение	
Геометрическая постановка задачи, математическая постановка задачи	
Результаты численного моделирования процессов теплопереноса в стволе хвойного дерева	
Заключение	
Список используемой литературы	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	23.09.2014г.
--	---------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Барановский Николай Викторович	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ4В	Андреева К.Н.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ4В	Андреевой Ксении Николаевне

Институт	Кафедра	Направление/специальность	Тепломассообменные процессы и установки
Уровень образования	ЭНИН		

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

Объектом исследования является элемент хвойного дерева на который действует лучистый тепловой поток от фронта лесного пожара. Дерево имеет слоистую структуру, поэтому рассмотрению подлежит трехслойная модель. Предмет исследования – теплоперенос в слоистой структуре ствола хвойного дерева при воздействии излучения от фронта лесного пожара. Исходные данные – теплофизические характеристики хвойных деревьев. Данные разработки могут применяться при создании усовершенствованных систем геомониторинга лесных массивов.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность

- 1.1. На работников лаборатории возможно влияние различных вредных факторов, а именно: физические (несоответствие микроклимата рабочей зоны, недостаточная освещенность, повышенный уровень электромагнитных излучений), психофизические (зрительное напряжение, монотонность труда). Действие этих факторов может негативно сказаться на здоровье работников лаборатории. Расчет освещенности проектируемой среды.
 - 1.2. При работе человека в лаборатории целесообразно рассмотреть действие следующих опасных факторов: электрического характера, источником поражения могут быть незащищенные и неизолированные электропровода, не заземленное оборудование и др.; возгорания в рабочей зоне.
1. ГОСТ 12.0.003–74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
 2. ГОСТ 12.1.005–88 (с изм. №1 от 2000 г.). ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (01. 01.89). ГОСТ
 3. ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность. Общие требования.
 4. ГОСТ 12.3.032 – 78 Рабочее место при выполнении работ сидя.
 5. ГОСТ 12.1.019 – 79 Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
 6. СанПиН 2.2.1 /2.1.1.1278-03 Естественное и искусственное освещение.
 7. СанПиН 2.2.4.548-96 Санитарные правила и нормы. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
 8. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение.

	9. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
2. Экологическая безопасность:	При тушении вода, соприкасаясь с раскаленными веществами, превращается в пар. И пар, и вода насыщаются отравляющими веществами. Пар попадает в атмосферу и дополнительно участвует в круговороте веществ между сушей и океаном, выпадая в виде кислотных дождей и снега. Процесс горения любого вещества сопровождается не только выбросом в атмосферу раскаленных продуктов сгорания и тепловым излучением, но и потреблением значительных объемов воздуха. К числу наиболее опасных веществ в продуктах горения при пожарах относятся оксид углерода (угарный газ), диоксид углерода (углекислый газ), хлористый водород, уксусная и синильная кислота и многие другие вещества.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	В лаборатории возможно возникновение возгораний или взрывов вследствие несоблюдения техники безопасности при работе с оборудованием. Необходимо выявление угроз пожара и оповещение персонала, также в лаборатории должны быть средства защиты от ЧС, правила поведения при возникновении ЧС и план эвакуации.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Обеспечение защиты населения и территорий от ЧС на уровне предприятия; Создание запасов средств индивидуальной защиты и поддержание их в готовности; Выявление угроз пожара и оповещение персонала; Подготовка персонала к действиям в условиях ЧС; Подготовка и поддержание в постоянной готовности сил и средств для ликвидации ЧС.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.04.2016
---	-------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Василевский М.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ4В	Андреева Ксения Николаевна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ4В	Андреева Ксения Николаевна

Институт		Кафедра	
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Тепломассообменные процессы и установки

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Определение и анализ трудовых и денежных затрат, направленных на реализацию исследования. Приблизительная стоимость ресурсов научного исследования, в том числе научно-технического оборудования, составляет 854 010,77 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Рассчитать социальные отчисления по упрощенной схеме (27% от суммы заработной и дополнительной платы)

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Технико-экономическое обоснование НИР
2. Разработка устава научно-технического проекта	Не разрабатывается
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Определение этапов работы, трудоемкости работы, составление план-графика, сметы затрат, расчет нарастания технической готовности работ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка научно-технического уровня НИР.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.04.2016
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова Светлана Николаевна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ4В	Андреева Ксения Николаевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 167 с., 54 рис., 41 табл., 90 источника, 1 прил.

Ключевые слова: лесной пожар, тепловое воздействие, моделирование, системы геомониторинга, хвойные деревья, лучистый тепловой поток, теплоперенос, термическое повреждение.

Объектом исследования является ствол хвойного дерева.

Цель работы – численное моделирование процессов теплопереноса в слоистой структуре ствола хвойного дерева при воздействии лучистого теплового потока от фронта лесного пожара.

В процессе исследования сформулированы физическая и математическая модели теплопереноса в слоистой структуре ствола хвойного дерева при воздействии излучения от фронта лесного пожара.

В результате исследования получены распределения температуры в слоях хвойного дерева при воздействии лучистого теплового потока от фронта лесного пожара, что позволяет оценить степень термического повреждения и прогнозировать экологические последствия лесных пожаров

Основные технологические характеристики: программные реализации математических моделей теплопереноса в слоистой структуре ствола хвойного дерева и оценки термического повреждения деревьев выполнены на языке программирования высокого уровня Pascal.

Степень внедрения: результаты внедрены в учебный процесс.

Область применения: Полученные результаты могут быть применены при создании информационно-вычислительных систем геомониторинга лесных массивов.

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в разработке технологии прогнозирования негативного влияния на древостой в результате действия лесных пожаров, которые приводят к экономическому ущербу в лесном хозяйстве.

В будущем планируется осуществить интеграцию разработанных математических моделей в системы геоэкологического мониторинга.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	14
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОБЛАСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	17
1.1 Характеристика и виды лесных пожаров.....	17
1.2 Влияние лесных пожаров на древостой	21
1.3 Виды лесных горючих материалов.....	26
1.4 Системы геомониторинга лесных пожаров	31
1.5 Выводы по результатам аналитического обзора	34
ГЛАВА 2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	35
2.1 Объект исследования	35
2.2 Алгоритм решения задачи теплопроводности	36
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	41
3.1 Физическая модель теплопереноса в слоистой структуре хвойного дерева при воздействии излучения от фронта лесного пожара.....	41
3.2. Одномерная постановка задачи исследования процесса теплопереноса в слоистой структуре ствола хвойного дерева при воздействии излучения от фронта лесного пожара.....	42
3.2.1. Геометрия области решения	42
3.2.2. Математическая модель теплопереноса в стволе хвойного дерева при воздействии излучения от фронта лесного пожара.....	43
3.2.3. Основные закономерности теплопереноса в стволе хвойного дерева при воздействии излучения от фронта лесного пожара.....	45
3.3. Двумерная постановка задачи исследования процесса теплопереноса в слоистой структуре ствола хвойного дерева при воздействии излучения от фронта лесного пожара.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.3.1. Геометрия области решения	Ошибка! Закладка не определена.

- 3.3.2. Математическая модель теплопереноса в стволе хвойного дерева при воздействии излучения от фронта лесного пожара.**Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.3.3. Основные закономерности теплопереноса в стволе хвойного дерева при воздействии излучения от фронта лесного пожара.**Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.4. Двумерная постановка задачи исследования процесса теплопереноса в слоистой структуре ствола хвойного дерева при воздействии излучения от фронта лесного пожара с учетом локального воздействия лучистого теплового потока. **Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.4.1. Геометрия области решения **Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.4.2. Математическая модель теплопереноса в стволе хвойного дерева при воздействии излучения от фронта лесного пожара с учетом локального воздействия лучистого теплового потока.. **Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.4.3. Основные закономерности теплопереноса в стволе хвойного дерева при воздействии излучения от фронта лесного пожара с учетом локального воздействия лучистого теплового потока.. **Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.5. Двумерная постановка задачи исследования процесса теплопереноса в слоистой структуре ствола хвойного дерева при воздействии излучения от фронта лесного пожара с учетом термического разложения древесины.
..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.5.1. Геометрия области решения **Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.5.2. Математическая модель теплопереноса в стволе хвойного дерева при воздействии излучения от фронта лесного пожара с учетом термического разложения древесины. **Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.5.3. Критерии термического разложения **Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.5.4. Основные закономерности теплопереноса в стволе хвойного дерева при воздействии излучения от фронта лесного пожара с учетом термического разложения древесины. **Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.6. Обсуждение результатов..... **Ошибка! Закладка не определена.**

ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	50
4.1 Организация и планирование работ	50
4.2 Расчет сметы затрат	58
4.3 Оценка научно-технической результативности НИР	65
ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	69
5.1. Профессиональная социальная безопасность	70
5.1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации исследуемого объекта	70
5.1.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований	71
5.1.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.	73
5.2. Экологическая безопасность.....	76
5.2.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	76
5.2.2. Экологическое сознание	80
5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	81
5.3.1. Анализ вероятных ЧС, которые могут при проведении исследований .	81
5.3.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	83
5.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	86
5.4.1. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства	86
5.5 Заключение	87
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	Ошибка! Закладка не определена.
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ.....	90
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	91
ПРИЛОЖЕНИЕ А	100

ВВЕДЕНИЕ

Лесные пожары – явление достаточно обычное для большей части таежной зоны России, они имеют огромное значение в жизни леса [1,2]. Огонь является мощным экологическим фактором, изменяющим окружающую среду [2,3].

Воздействие пожара на древесные растения проявляется чаще всего в образовании термических повреждений (травм). Термические повреждения влекут за собой ослабление, усыхание древостоя, вследствие чего они более подвержены воздействию насекомых и грибов.

В результате теплового воздействия деревья получают различные повреждения, которые проявляются в виде [3]:

1. ожогов ствола;
2. ожогов и перегорания корней;
3. ожогов кроны.

При кратковременном воздействии низового пожара на стволы деревьев за частую можно ограничиться ожогом поверхностных слоев или опалом корковой зоны. Если же в результате теплового воздействия затрагивается камбий, то это может привести к усыханию и вывалу деревьев. [3].

Так как проведение экспериментальных исследований является проблемой, вследствие того, что степень и вид повреждения деревьев зависит не только от характеристик лесного пожара, но и определяется пирологическими свойствами каждой породы и насаждений их в целом. Следовательно, рациональным является исследование влияния тепловых режимов на древесные растения с применением методов численного моделирования [4].

Цель работы - численное моделирование процессов теплопереноса в слоистой структуре ствола хвойного дерева при воздействии теплового излучения от фронта лесного пожара.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Аналитический обзор отечественной и зарубежной литературы по выбранной тематике;
2. Выбор направления исследований и обоснование актуальности работы;
3. Формулировка физической и математической моделей теплового воздействия на ствол хвойного дерева;
4. Численное исследование тепловых режимов воздействия на ствол хвойного дерева;
5. Анализ результатов математического моделирования;
6. Формулировка выводов по результатам численного исследования.

Научная новизна работы - разработаны новые детерминированные математические модели в отличии от статистических и аналитических моделей представленные системой нестационарных дифференциальных уравнений теплопроводности с учетом трехслойной структуры хвойного дерева. Аналогичных моделей для определения условий термического повреждения ствола хвойного дерева лучистым тепловым потоком от фронта лесного пожара в российской и мировой литературе не обнаружено. Созданы программные реализации математических моделей, которые могут быть использованы в новых системах геомониторинга лесных массивов.

Теоритическая и практическая значимость работы

В результате исследования разработаны математические модели теплопереноса и образования термических травм в стволе хвойного дерева. Разработка данных моделей открывает перспективы создания более совершенных математических моделей прогнозирования экологических последствий лесных пожаров и условий пожароопасных ситуаций. Полученные результаты могут быть применены при создании информационно-вычислительных систем геомониторинга лесных массивов.

Достоверность полученных результатов

Достоверность полученных в процессе исследования результатов подтверждается использованием хорошо апробированных численных методов решения дифференциальных уравнений в частных производных (на основе метода А.А. Самарского, решение менее сложных задач), анализом численных результатов на последовательности сгущающихся сеток, сравнением полученных результатов с результатами ранее полученными другими исследователями.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОБЛАСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ.

1.1 Характеристика и виды лесных пожаров

Ежегодно лесные пожары в различных регионах РФ уничтожают государственный лесной фонд, загрязняют атмосферу и приводят к гибели людей и повреждению сельских населенных пунктов [4].

Леса в Российской Федерации занимают 1,2 млрд Га, что составляет около 30% всех лесных ресурсов планеты. Со стороны лесов значительно влияние оказывается на процессы регулирования состояния окружающей среды, климат, биоразнообразие и тд.

Дымовые и тепловые выбросы от лесных пожаров вносят свои коррективы в динамику атмосферы Земли, перемещение воздушных масс. Длительная задымленность может нанести урон здоровью населения в районах обширных лесных пожаров.

Помимо глобального влияния пожаров на климат Земли, возможно и возникновение региональных катастроф, например, массовые городские пожары (Лос-Аламос, США, май 2000 г.) [8,9], катастрофическая задымленность огромных территорий, включая г. Москву осенью 2002 г. в результате горения торфяников на территории Московской области [10], а также многочисленные локальные пожары в поселках и на складах древесины, расположенных на территориях, охваченных лесными пожарами [11].

Томская область, в особенности ее северная часть, является достаточно типичной лесопокрытой территорией лесной зоны. По данным Томской базы авиационной охраны лесов, за период 1993—2002 гг. было зафиксировано 2363 лесопожарных происшествия [12]. Ежегодно на территории области возникает от 55 до 350 пожаров [5].

По масштабу воздействия лесные пожары можно отнести к глобальным явлениям. Природные пожары - важный экологический фактор динамики лесного покрова. Они значительно влияют на биоразнообразие, возрастную

структуру древостоев, соотношение видов, биогеохимические циклы в лесных экосистемах [16].

Лесные пожары подразделяются на низовые, повальные верховые, вершинные верховые, подземные (торфяные) и массовые [17, 18]. При низовых пожарах сгорает напочвенный покров. При повальных верховых и напочвенный покров, и кроны деревьев. При вершинном верховом горят только кроны деревьев. Подземные пожары характеризуются наличием очага горения в толще слоя [19].

Более полную классификацию лесных пожаров, существующую уже шесть десятилетий и служащую научным работникам и производству ориентиром в работе и опорой в обмене мнениями, предложил И.С. Мелехов в 1947г. (табл.1.1.1) [20].

Таблица 1.1.1 – Классификация лесных пожаров И.С. Мелехова (1947) [20].

Низовые пожары	Верховые пожары	Подземные пожары
Подстилично-гумусовые: – устойчивые	Вершинные: – устойчивые, – беглые	Торфяные: – устойчивые
Напочвенные: – устойчивые – беглые	Повальные: – устойчивые, – беглые	
Подлесно-кустарниковые: – устойчивые, – беглые	Стволовые: – устойчивые	
Валежные и пневые: – устойчивые, – беглые		

Лесные пожары по интенсивности подразделяются на три группы: слабые, средние и сильные. Интенсивность горения зависит от вида горючих материалов, уклона местности, времени суток и силы ветра [15].

Наиболее опасным видом пожаров являются верховые. На их долю приходится до 70% выгоревшей площади [17,21].

Особенностью лесов Томской области является наличие горючего материала во всех насаждениях. В области развиваются преимущественно низовые пожары (98,5 %), на долю верховых пожаров приходится 1,1 % происшествий и 12,5 % выгоревшей площади, еще реже возникают подземные пожары [12]. Горимость лесов значительно изменяется по месяцам пожароопасного сезона. Наиболее «горимые» месяцы — июнь и июль. Продолжительность пожароопасного сезона по условиям погоды составляет от 137 до 161 дня [12].

Причины возникновения лесных пожаров обусловлены не только условиями погоды, типом лесной растительности и влагосодержанием лесных горючих материалов. Статистические данные говорят о том, что до 90% лесных пожаров возникают по вине человека, до 10 % – от сухих гроз [22].

Воздействие лесных пожаров на окружающую среду и человека обуславливает экономические, экологические и социальные ущербы (рис.1.1.1) [7].

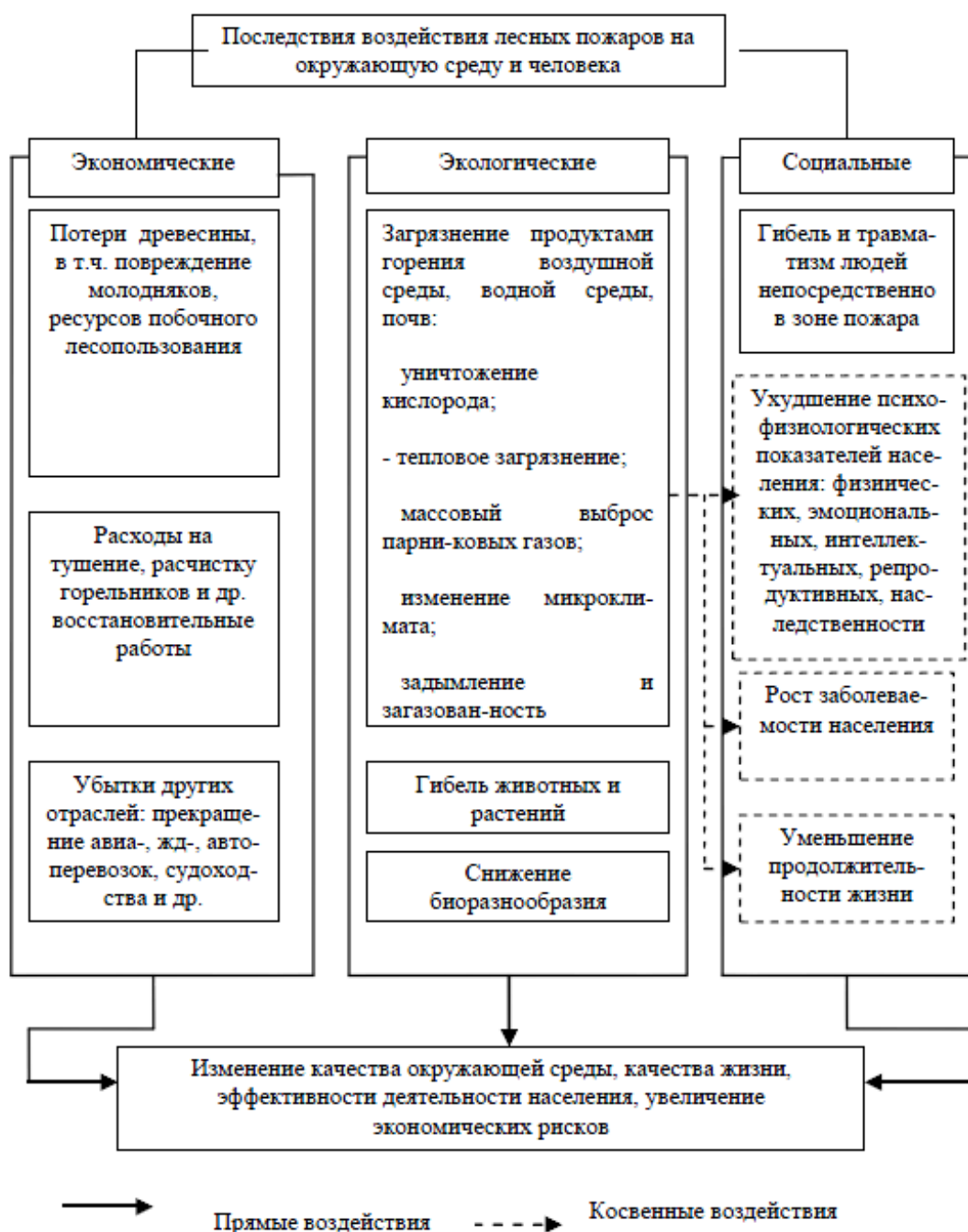


Рисунок 1.1.1 – Структура последствий лесных пожаров [7].

Суммарный эколого-экономический ущерб от лесного пожара включает: стоимость потерь древесины на корню в средневозрастных, приспевающих, спелых и перестойных насаждениях; ущерб от повреждения молодняков естественного и искусственного происхождения; ущерб от повреждения ресурсов побочного лесопользования; расходы на тушение лесных пожаров; стоимость сгоревших объектов и готовой продукции в лесу; расходы на расчистку горельников и дополнительные санитарные рубки в насаждениях,

поврежденных лесными пожарами; ущерб от снижения почвозащитных, санитарно-гигиенических, водоохраных и других средообразующих функций леса; ущерб от загрязнения воздушной среды продуктами горения; ущерб от гибели животных и растений, включая занесенных в Красную книгу Российской Федерации; другие потери [22].

Лесные пожары прямо и косвенно влияют на здоровье населения [24]. Следствием действия поражающих факторов лесного пожара являются возникновение и обострение различных заболеваний. Качество атмосферного воздуха, содержащего частицы дыма и газообразные соединения от лесных пожаров является фактором, который увеличивает риск смертности и влияет на возникновение хронических болезней легких.

Важнейшим экологическим последствием является влияние на углеродный баланс атмосферы Земли и запас углеводорода в целом в экосистеме.

Выбросы углерода от пожаров варьируется в зависимости от биомов; например, на пожары в саваннах и на лугах приходится примерно 50 % от годового объема выбросов, а для тропических пожаров (около 38 %) и пожаров в умеренных и бореальных лесах (около 6 % каждый) [26].

1.2 Влияние лесных пожаров на древостой

Лесные пожары - явление достаточно обычное для большей части таежной зоны России, они имеют огромное значение в жизни леса [1,2].

Леса в Российской Федерации занимают 1,2 млрд Га, что составляет около 30% всех лесных ресурсов планеты [5]. Со стороны лесов значительно влияние оказывается на процессы регулирования состояния окружающей среды, климат, биоразнообразие и т.д.

Воздействие пожара на древесные растения проявляется чаще всего в образовании термических повреждений. Термические повреждения влекут за

собой ослабление, усыхание древостоя, вследствие чего они более подвержены воздействию насекомых и грибов.

В результате теплового воздействия деревья получают различные повреждения, которые проявляются в виде [3]:

1. ожогов ствола;
2. ожогов и перегорания корней;
3. ожогов кроны.

Исследованием влияния пожаров на лесные массивы занималось множество ученых, начиная с двадцатых годов прошлого столетия Д.Н. Шмыков (1927), Л.А. Юницкий (1927), А.А. Мочалин (1954), М.Л. Дворецкий, И.А. Алексеев (1976), Ю.П. Демаков, К.К. Калинин (2003). В основном эти работы были посвящены лесоводческим и экологическим факторам воздействия пожаров на лес. Очень важными были исследования по влиянию пожаров на древостой, которые были проведены И.С. Мелеховым (1948) [3].

Наряду с основными аспектами влияния пожаров на лес исследованы свойства древесины после воздействия огня на дерево. Изучено строение древесины горельников, определены изменения в строении на микро и макроуровнях, изменение прироста древесины и т. д. [16].

В работе Ю. П. Демакова и К. К. Калинина [19] была дана оценка влияния пожаров на состояние лесных экосистем, предложена методика определения товарности поврежденных огнем деревьев. В 2010 году на территории РФ пожаром было повреждено около 3100 Га, в том числе 1200 Га подверглось верховому пожару и 1900 га низовому пожару различной степени [46].



Рисунок 1.2.1 – Выгорание древесины внутри ствола [48]



Рисунок 1.2.2 – Сильный низовой и беглый верховой пожар [48]

Повреждение нижней, наиболее ценной части ствола огнем происходит также при наличии таких пороков, как сухобокость, повреждение коры и морозные трещины. Распространение огня внутри ствола от его средней или вершинной части при наличии стволовой или вершинной гнили, гнилых пасынков и табачных сучков [46].



Рисунок 1.2.3 - Сильный верховой и низовой пожар [48]



Рисунок 1.2.4 – Слабый верховой сильный низовой пожар [48]

Воздействие огня ослабляет защитные функции коры дерева, что в последствии является предпосылкой для интенсивного поражения дереворазрушающими грибами и насекомыми. После слабого верхового и сильного низового пожаров (рис. 1.2.4) при осмотре древостоя проявляется грибница (сосновая прикорневая губка) на значительной большой площади лесной подстилки. Активное развитие грибницы отмечено на корневой и прикорневой части ствола сосны (рис.1.2.5). На деревьях дуба и березы наличие грибницы отмечено по всей высоте ствола (рис. 1.2.6). Поражение сосновой прикорневой губкой способствует интенсивному поражению дереворазрушающими грибами и насекомыми, образующими червоточину [46].



Рисунок 1.2.5 – грибница на корневой и прикорневой части ствола сосны [48]



Рисунок 1.2.6 – Поражение ствола дуба сосновой прикорневой губкой [48]

На территории, где прошел слабый низовой пожар, при осмотре деревьев проявляется поражение луба у корневой шейки, у некоторых деревьев по всей окружности ствола (рис. 1.2.8), а у некоторых частично по окружности ствола. Поэтому у части деревьев в течение следующего года произойдет отмирание корней, что приведет к их гибели. По результатам проведенных исследований установлено, что при всех видах пожара происходит отмирание луба. Следовательно, возможного восстановления древостоев на этих участках

ожидать сложно. Кроме того, наличие грибницы на значительной площади лесной подстилки на корневой и прикорневой части ствола сосны и у дуба и березы по всей высоте ствола будет резко снижать качество древесины, так как созданы благоприятные условия для интенсивного развития различных грибов и поражения древесины насекомыми [46].



Рисунок 1.2.7 – Слабый низовой пожар шейки [48]



Рисунок 1.2.8 – Поражение луба у корневой по окружности ствола (слабый низовой пожар) [48]

Подгар является одним из важных диагностических признаков не только вида пожара жизненного состояния древостоя, но и качества древесины у деревьев поврежденных огнем. Под воздействием высокой температуры в древесине происходит ряд изменений, которые в дальнейшем будут оказывать влияние на качество древесины. Сильное термическое воздействие, прежде всего, изменяет характер распределения влаги по высоте и радиусу ствола, что в свою очередь будет влиять на технические свойства древесины.

Высокая температура разрушает смоляные ходы из которых истекает смола вниз и изменяет плотность древесины по высоте ствола. Плотность является одним из основных показателей качества и механических свойств древесины [46].

1.3 Виды лесных горючих материалов

Наиболее распространенные ЛГМ объединяются в комплексы [20].

1. Кустистые лишайники и мхи. Оказывают существенное влияние на возникновение и распространение пожаров в случаях, когда они доминируют в живом напочвенном покрове и определяют специфику типа леса. Высока доля их участия в комплексах горючих материалов многих типов леса; обладают большой влагоемкостью; характерны колебания влажности в широких пределах и гигроскопичность; способны быстро высыхать; обладают структурой, способствующей распространению по ним горения.

2. Кустарники и травы. Напочвенный покров с преобладанием кустарников и трав распространен в таежной зоне не меньше, чем покров из мхов и лишайников. Он характерен для непокрытых лесом площадей (вырубок и гарей) [21]. В Сибири и на Дальнем Востоке покров с преобладанием трав формируется в результате изреживания светлохвойных лесов под влиянием пожаров.

3. Подлесок и подрост. Во многих типах леса образуется густой ярус, имеющий существенное пирологическое значение. Отмечается повышенная пожарная опасность подлеска из можжевельника обыкновенного. Его кусты сгорают с разлетанием множества искр — догорающих хвоинок. Пирологическая роль подлеска еще недостаточно изучена. В приводятся данные о распространении лесов с подлеском и о значении подлеска в возникновении пожаров на основании наблюдений на пожарах и пожарищах [20].

4. Опад. При изучении природы пожаров опад интересует как составная часть комплекса напочвенных горючих материалов. Наличное количество опада на поверхности почвы определяется соотношением скорости его поступления и скорости превращения в подстилку. В литературе отмечается широкое варьирование количества опада.

5. Подстилка. Подстилкой в почвоведении принято называть верхний горизонт почвы (A0), состоящий из отмерших частей растений с различной степенью разложения и потерей естественной структуры [22]. В таежной зоне чем выше влажность почвы, тем толще подстилка. Подстилка, увлажненная осадками, длительное время остается влажной и постепенно передает влагу горючим материалам, расположенным на ней. Высыхает подстилка послойно сверху.

6. Торф. Как природный объект горения при пожарах встречается в виде почвенного горизонта в заболоченных и болотных лесах и в виде торфяной залежи, сформированной болотной растительностью. Пожары на болотах существенно отличаются от лесных.

7. Валежник и пни. Валежник — упавшие на поверхность почвы стволы деревьев, отмершие в процессе естественного изреживания древостоя, в результате ветровала, бурелома или снеголома. Отпад деревьев увеличивается после повреждения древостоев пожарами и вредителями. Пни как горючий материал характерны для вырубок. При низовых напочвенных пожарах древесина одиночных валежин и пней не сгорает.

8. Полог древостоя. При верховых пожарах в пологе древостоя в основном сгорают хвоя, листья, живые веточки, несущие хвою, и тонкие (до 7 мм) отмершие веточки.

9. Стволы и ветви деревьев составляют большую часть фитомассы лесного биогеоценоза. Однако при пожарах они сгорают очень редко. Иногда полностью сгорают деревца при верховых пожарах в густых сосновых молодняках, возникших на рубках, сильно захламленных порубочными остатками. В древостоях же старших возрастов на стволах и ветвях сгорают мхи и лишайники, обгорают поверхность корки. Горение может происходить в дуплах стволов с гнилой древесиной. Древостои гибнут от пожаров, но не сгорают.

Большое значение для прогнозирования ЛПО имеют свойства ЛГМ. Для их описания используют так называемые топливные модели. Известна

достаточно подробная характеристика типов ЛГМ, вовлекаемых в процесс низового лесного пожара. Горючими материалами в лесу служат растения и их остатки различной степени разложения, которые могут гореть при пожарах [44]. Практически к горючим материалам в лесном биогеоценозе относятся все растения, живые и мертвые, а также опад, валежник, подстилка, перегнойный и торфяной горизонты.

В классификации ЛГМ можно рассматривать три уровня [23]:

1. классификация элементарных частей из комплексов ЛГМ, включая отдельные растения из напочвенного покрова, подлеска и подроста, невысокие кустарники, морфологические части деревьев (ветви, сучья, валеж) и т. п.;
2. классификация простых комплексов (слоев ЛГМ) внутри биогеоценозов;
3. классификация самих биогеоценозов как сложных комплексов ЛГМ.

Такое деление справедливо для основной территории США, так как там в лесах практически отсутствует мохово-лишайниковый покров. В бореальной зоне России мохово-лишайниковые покровы распространены очень широко, и поэтому американское деление для территории нашего государства является некорректным [23].

Скорость высыхания слоев опада и подстилки зависит не только от глубины их расположения, но также от режима их почвенного увлажнения. В американской системе вообще не фигурируют слои из мхов и лишайников.

В канадской системе CFFDRS [25] в качестве эталона для оценки пожарной опасности по условиям погоды выбран трехслойный комплекс ЛГМ [45], соответствующий напочвенному покрову из зеленого перистого мха с включением в него опада сосновой хвои при достаточно мощном нижнем слое подстилки. Указанный напочвенный покров достаточно типичен для широко распространенных в Канаде лесов. Канадский эталонный комплекс ЛГМ сходен с тем, который использовался при разработке российских лесопожарных

показателей засухи [26, 27]. Это покров из зеленых мхов в сосняках на дренированных почвах, состоящий из трех слоев: 1) верхний слой мха толщиной 3—4 см, 2) нижний слой мха толщиной 2—4 см, 3) слой подстилки толщиной 2,5—4,5 см.

Слои ЛГМ классифицируют и по их пространственному расположению в биогеоценозах [23]. Некоторые российские пирологи выделяют три слоя, из которых нас интересует средний (мхи, лишайники, мелкий опад, усохшая трава), так как именно он подвергается действию источников огня. В то же время, в [28] выделяется целых девять ярусов в структуре лесного массива (с учетом слоя атмосферы).

В канадской классификации ЛГМ тоже делят на три большие группы: 1) почвенные ЛГМ (ground fuels), включая перегной, торф, корни; 2) напочвенные ЛГМ (surface fuels), включая опад листвы, хвой, травы, мелкие кустарники, крупный валеж; 3) кроновое горючее (crown fuels), куда входят ветки с хвоей и листвой и отмершие сучья [29]. В США ЛГМ делят с учетом не только их местоположения в биогеоценозе, но также возможности и характера распространения по ним горения [30].

В классификации Н. П. Курбатского [20,31] при делении всех слоев ЛГМ на группы учитывается не только их местоположение в биогеоценозе, но также и выполняемая ими функция при пожаре. Все ЛГМ разделены на три категории [20]:

1. проводники горения
2. поддерживающие горение
3. задерживающие горение

К проводникам горения отнесены ЛГМ, образующие непрерывные слои, по которым может распространяться горение. Главным образом, это слои мхов, лишайников и мелких растительных остатков (опад, травяная ветошь, порубочные остатки). По ним распространяется пламенное горение при низовых пожарах.

Кроме того, если запас вегетирующих трав в абсолютно сухом состоянии превосходит запас травяной ветоши, пламенное горение становится невозможным [32]. Главную роль при возникновении и распространении низовых пожаров играют ЛГМ I категории. Эта группа разделена на 11 типов напочвенного покрова [33] в связи с геоботаническими биоморфоциклами.

Однако, напочвенные покровы, значительно различающиеся в геоботаническом плане, могут быть однотипны в пирологическом [23].

Позднее данная классификация была усовершенствована посредством выделения 10 пирологических типов мохово-лишайникового и мертвого покровов [43]. Кроме того, свои классификации предлагали Э. В. Конев [34], А. П. Яковлев [35] и М. А. Шешуков [36, 37].

Для физико-математического и прогностического моделирования задач теории лесных пожаров большое значение имеют теплофизические характеристики слоя ЛГМ, а также термокинетические постоянные процессов сушки и пиролиза ЛГМ [38]. Предпринимались попытки развить теоретически обоснованный подход к классификации ЛГМ [23] и учесть сведения по физическим свойствам и теплотворной способности различных видов ЛГМ [20]. В качестве типичных примеров можно привести результаты наблюдений за пожарным созреванием основных проводников горения в следующих регионах — Ленинградская область, Архангельская область, европейская часть России, Томская область [39], Горный Алтай, Красноярское Приангарье, Эвенкия, Западный Саян и хр. Танну-Ола в Туве, Красноярская лесостепь, хр. Хамар-Дабан в Бурятии, Читинская область, юго-запад Якутии, юг Хабаровского края.

Как для оценки природной пожарной опасности биогеоценозов, так и для расчетов возможного поведения лесных пожаров [23] необходимы сведения о запасах ЛГМ [20, 34, 40]. Используя карты растительных горючих материалов (РГМ), можно прогнозировать предотвращение лесных пожаров [42].

1.4 Системы геомониторинга лесных пожаров

Ведение лесного пожара сильно зависит от правильного мониторинга пространственных распределений природных и техногенных комплексов топлива на ландшафтном уровне. Пространственные закономерности видов топлива, а также трехмерной структуры и состояния растительности необходимы для оценки и прогнозирования опасности лесных пожаров и поведения пожаров [87].

Мониторинг лесов представляет собой систему наблюдений, оценки и прогноза состояния и динамики лесного фонда в целях государственного управления в области использования, охраны, защиты лесного фонда и воспроизводства лесов, а также же повышения их экологических функций. Порядок осуществления мониторинга лесов устанавливается Федеральным органом управления лесным хозяйством совместно и специально уполномоченным Государственным органом в области охраны окружающей среды [87].

Геомониторинг – это система наблюдений за состоянием лесов, нарушением их устойчивости, повреждением (поражением) вредителями, болезнями и другими природными и антропогенными факторами среды и за динамикой этих процессов, обеспечивающая ранее выявленные неблагоприятного состояния насаждений, оценку и прогноз развития экологически неблагоприятных ситуаций для своевременного принятия решений по планированию и осуществлению эффективных и лесозащитных мероприятий [89].

Геомониторинг является информационной основой государственного контроля за санитарным состоянием лесов на территории лесного фонда Российской Федерации и лесов, не входящих в лесной фонд Российской

Федерации. Он включает в себя систему сбора, хранения и использования информации.

Целью организаций геомониторинга является своевременное обнаружение неблагоприятных по санитарному состоянию участков леса, выявление и прогнозирование массового ослабления и усыхания лесов под влиянием стихийных бедствий, пожаров, насекомых, болезней, прочих факторов воздействия на окружающую среду природного и антропогенного характера, получение своевременной и достоверной информации от нежелательных изменений в состоянии лесов под влиянием антропогенных процессов и материалов для обоснования решений по охране, защите леса, способствующих повышению его средоохранных и сфероформирующих функций, предотвращению ущерба, сохранению биологического разнообразия лесных экосистем, рациональному использованию лесных ресурсов и устойчивому развитию лесного сектора экономики России.

Первоочередными объектами мониторинга являются особо ценные леса, леса особо охраняемых природных территорий, леса в районах техногенного загрязнения, пострадавшие от стихийных бедствий, подвергающихся интенсивному хозяйственному воздействию, рекреационной нагрузки, поврежденные огнем, вредными организмами и другими факторами, неблагоприятного воздействия природного и антропогенного происхождения [88].

Наиболее важной характеристикой крупных лесных пожаров, с социальной точки зрения, являются серьезные и необратимые последствия которые ведут к уничтожению лесных массивов. Кроме того, степень и тяжесть подобных инцидентов может существенно повлиять на население и окружающую среду прилегающих территорий. Управление лесными пожарами должно быть основано на реальной обстановке лесного массива. Для получения такой информации была разработана операционная система для управления

крупномасштабными лесным пожарам. Она включает в себя комплексную систему ГИС и технологии СУБД системы оборудованы интерактивными возможностями связи. Моделирование оценки лесных пожаров зависит от множества факторов, например, от характеристик местности, вида растительности, метеорологических условий и т.д. Один из самых важных факторов, который возникает каждое лето в большинстве стран Средиземное море, и, в частности Греции, являются лесные пожары. Лесные пожары могут поставить жизнь человека в опасность и вызвать непоправимые повреждения окружающей среды [88].

ГИС-технологии могут служить в качестве важной технологической основы для разработки комплексной оперативной системы в случае управления лесными пожарами. Такие системы могут мобилизовать работу пожарных служб задолго до того, как начнется сильный пожар [89].

Такая система включает в себя процесс моделирования распространения лесного пожара. Моделирование распространения лесного пожара имеет первостепенное значение из-за двух основных причин:

1. Проводится оценка распространения огня для того чтобы управлять имеющимися ресурсами во время пожара.
2. Моделирование поведения пожара при самом худшем варианте поведения огня для того чтобы определить наиболее эффективный путь тушения лесного пожара и предотвратить возможные последствия.

Лесные пожары не только могут навредить ландшафту лесного массива, но и поставить под угрозу жизнь и здоровье человека. Стихийное распространение огня может затронуть, например, транспортную сеть, коммунальное хозяйство прилегающей территории и другие важные сооружения. Информация, связанная с распространением огня должна отражаться в физической, социальной и финансовой сферах. Критические параметры, которого должны быть зарегистрированы в:

1. топография района,
2. расположение растительности топлива (тип и плотность),
3. метеорологические условия,
4. транспортные сети,
5. общественные услуги и льготы, и т.д.

1.5 Выводы по результатам аналитического обзора

Анализ литературы в области исследования позволяет сделать следующие выводы:

1. Подавляющее большинство работ посвящено анализу фактического и статистического материала по состоянию лесных древостоев в послепожарный период.
2. Ввиду невозможности проведения натурных экспериментов актуальна разработка математических моделей и проведение численного анализа процессов воздействия лучистого теплового потока от фронта лесных пожаров на хвойные деревья.
3. Природоохранными службами и подразделениями МЧС востребовано использование геоэкологических информационных систем для поддержки принятия решения в случае ЧС, происшествиях на промышленных объектах и в лесных массивах;

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Объект исследования

Объектом исследования является ствол хвойного дерева. Ствол дерева имеет слоистую структуру, поэтому рассмотрению подлежит трехслойная модель. Предмет исследования – теплоперенос в слоистой структуре ствола хвойного дерева при воздействии теплового потока от фронта лесного пожара.

Ежегодно лесные пожары в различных регионах уничтожают государственный лесной фонд, загрязняют атмосферу и приводят к гибели людей и повреждению сельских населенных пунктов [5].

Леса в Российской Федерации занимают 1,2 млрд Га, что составляет около 30% всех лесных ресурсов планеты[5]. Со стороны лесов значительно влияние оказывается на процессы регулирования состояния окружающей среды, климат, биоразнообразие и т.д.

Воздействие пожара на древесные растения проявляется чаще всего в нанесении термических повреждений (травм). Термические повреждения влекут за собой ослабление, усыхание древостоя, вследствие чего они более подвержены воздействию насекомых и грибов.

В результате теплового воздействия деревья получают различные повреждения, которые проявляются в виде [3]:

1. ожогов ствола;
2. ожогов и перегорания корней;
3. ожогов кроны.

Тепловые и дымовые выбросы обширных лесных пожаров меняют динамику атмосферы, процессы циркуляции воздушных масс и, тем самым, погодные условия в отдельных регионах. Интенсивная и длительная задымленность от лесных пожаров создают серьезные угрозы для здоровья населения.

Определения лесного пожара различны. Например, 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, а также горение газообразных и догорание конденсированных продуктов пиролиза ЛГМ [9,10]. Более простое определение лесного пожара: горение растительности, стихийно распространяющееся по лесной территории [11].

Так как проведение экспериментальных исследований является проблемой, вследствие того, что степень и вид повреждения деревьев зависит не только от характеристик лесного пожара, но и определяется пирологическими свойствами каждой породы и насаждений их в целом. Следовательно, рациональным является исследование влияния тепловых режимов на древесные растения с применением методов численного моделирования [4].

2.2 Алгоритм решения задачи теплопроводности

Для исследования воздействия излучения от фронта пожара на ствол древесного растения в настоящей работе используется математическое моделирование.

Математическая модель – это приближенное описание каких-либо явлений или объектов реального мира с помощью математического языка. По Самарскому и Михайлову математическая модель – это «эквивалент» объекта, отражающий в математической форме важнейшие его свойства – законы, которым он подчиняется, связи, присущие составляющим его частям, и т. д.

Основной целью моделирования является исследование этих явлений и объектов, и попытка предсказать результаты будущих наблюдений. С помощью моделирования можно управлять процессом познания окружающего мира.

В моделировании можно выделить несколько этапов:

1. Построение модели. Задается некоторый «нематематический» объект, его основные особенности, свойства. Затем строится его математическая

модель, учитывающая качественные зависимости, существующие между особенностями данного объекта или явления.

2. Решение математической задачи. На данном этапе разрабатываются алгоритмы и численные методы решения задач на ЭВМ.
3. Интерпретация полученных сведений из математической модели.
4. Проверка адекватности модели. Необходимо, чтобы полученные результаты эксперимента согласовывались с теоретическими следствиями из модели в пределах определенной точности.
5. Модификация модели (усложнение или упрощение модели).

В данном исследовании в качестве объекта рассматривается ствол древесного растения, на который действуют поражающие факторы открытого пламени в условиях лесного пожара.

Математическое моделирование сведено к решению системы нестационарных уравнений теплопроводности с граничными и начальными условиями.

Для решения системы нестационарных дифференциальных уравнений с соответствующими начальными и граничными условиями применен метод конечных разностей. Разностные аналоги дифференциальных уравнений решены локально—одномерным методом. Одномерные разностные уравнения решены методом прогонки с использованием неявной четырехточечной разностной схемы

Идея метода конечных разностей (метода сеток) известна давно, с соответствующих трудов Эйлера. Однако практическое применение этого метода было тогда весьма ограничено из-за огромного объема ручных вычислений, связанных с размерностью получаемых систем алгебраических уравнений, на решение которых требовались годы. В настоящее время, с появлением быстродействующих компьютеров, ситуация в корне изменилась. Этот метод стал удобен для практического использования и является одним из наиболее эффективных при решении различных задач математической физики.

Основная идея метода конечных разностей для приближенного численного решения краевой задачи для двумерного дифференциального уравнения в частных производных состоит в том, что производные дифференциальных уравнений заменяются конечноразностными аппроксимациями.

Таким образом при решении задач теплопроводности тело разбивается на совокупность узлов. Далее частные производные ДУ заменяют на их конечноразностные аналоги, получая систему линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Температура определяется как локальная характеристика в каждом узле сетки (рис. 2.2.1). Полученную систему уравнений замыкают граничными условиями и решают численными методами с помощью ЭВМ [68].

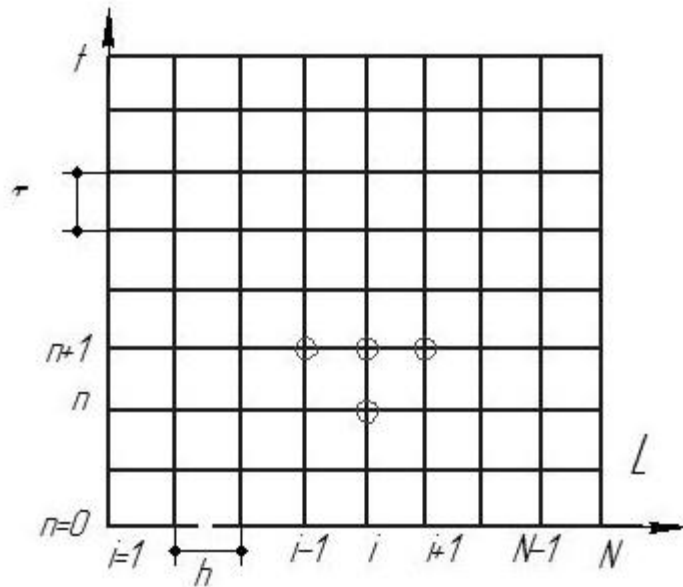


Рисунок 2.2.1 –Разностная схема

Рассмотрим уравнение теплопроводности:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad (2.2.1)$$

Заменяем дифференциальные операторы на их конечноразностные аналоги:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\tau} \quad (2.2.2)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T_{i+1}^{n+1} - 2 \cdot T_i^{n+1} + T_{i-1}^{n+1}}{h^2} \quad (2.2.3)$$

При использовании аппроксимации второго порядка выполнялся переход к разностной форме дифференциального уравнения [68]:

$$\rho \cdot c \cdot \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\tau} = \lambda \left(\frac{T_{i+1}^{n+1} - 2 \cdot T_i^{n+1} + T_{i-1}^{n+1}}{h^2} \right), \quad i = 2, \dots, N-1, \quad n \geq 0 \quad (2.2.4)$$

Разностные уравнения сводились к трехдиагональному виду и решались методом прогонки.

$$A_i \cdot T_{i+1}^{n+1} - B_i \cdot T_i^{n+1} + C_i \cdot T_{i-1}^{n+1} = F_i, \quad (2.2.5)$$

где $A_i = C_i = \frac{\lambda}{h^2}$, $B_i = \frac{2 \cdot \lambda}{h^2} + \frac{\rho \cdot c}{\tau}$, $F_i = -\frac{\rho \cdot c}{\tau} T_i^n$.

Далее трехточечное уравнение второго порядка преобразуется в двухточечное уравнение первого порядка [68]:

$$T_i^{n+1} = \alpha_i \cdot T_{i+1}^{n+1} + \beta_i, \quad (2.2.6)$$

Уменьшая в (2.2.6) индекс на единицу, получим: $T_{i-1}^{n+1} = \alpha_{i-1} \cdot T_i^{n+1} + \beta_{i-1}$ и подставим в (2.2.5):

$$A_i \cdot T_{i+1}^{n+1} - B_i \cdot T_i^{n+1} + C_i \cdot \alpha_{i-1} \cdot T_i^{n+1} + C_i \cdot \beta_{i-1} = F_i, \quad (2.2.7)$$

Откуда получаем:

$$T_i^{n+1} = \frac{A_i}{B_i - C_i \cdot \alpha_{i-1}} T_{i+1}^{n+1} + \frac{C_i \cdot \beta_{i-1} - F_i}{B_i - C_i \cdot \alpha_{i-1}}, \quad (2.2.8)$$

где $\alpha_i = \frac{A_i}{B_i - C_i \cdot \alpha_{i-1}}$, $\beta_i = \frac{C_i \cdot \beta_{i-1} - F_i}{B_i - C_i \cdot \alpha_{i-1}}$.

Для определения α_i и β_i необходимо α_1 и β_1 , которые находятся из левого граничного условия.

Далее по формулам (2.2.6) находятся последовательно $T_{N-1}^{n+1}, T_{N-2}^{n+1}, \dots, T_2^{n+1}$, при условии, что T_N^{n+1} найдено из правого граничного условия.

Таким образом, решение методом прогонки сводится к вычислениям по трем формулам: нахождение прогоночных коэффициентов α_i, β_i при $i = \overline{2, N-1}$ (прямая прогонка) и затем получение неизвестных T_i^{n+1} при $i = N-1, N-2, \dots, 2$ (обратная прогонка).

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 Физическая модель теплопереноса в слоистой структуре хвойного дерева при воздействии излучения от фронта лесного пожара.

В настоящее время подавляющее большинство работ посвящено анализу фактического статистического материала по лесопожарным происшествиям и их экологическим последствиям [5,6]. Однако, одним из перспективных направлений может стать разработка информационно-вычислительных систем геоэкологического мониторинга лесных массивов при активных лесных пожарах на основе физически обоснованных математических моделей теплопереноса в структуре деревьев, формирующих древостой. Ранее разработан сценарный подход к прогнозу лесной пожарной опасности [7]. Его применение оправдано и для оценки вреда деревьям от лесных пожаров [8,9].

Математическая модель разработана с учетом следующих предположений и допущений:

1. Рассматривается отдельно стоящее дерево хвойной породы.
2. Рассматривается только ствол дерева.
3. Наличие ветвей не учитывается.
4. Ствол принят трехслойной структурой, в состав которой входят кора, подкорковый слой и сердцевина.
5. Теплофизические характеристики материала слоев не зависят от температуры.
6. Влиянием испарения влаги из внешних и внутренних слоев ствола пренебрегается.

Таблица 3.1.1 – Теплофизические свойства различных пород хвойных деревьев [90].

Порода дерева	Теплоемкость, Дж/(кг·К)	Плотность, кг/м ³	Теплопроводность, Вт/(м ² ·К)
Сосна обыкновенная	896	512	0,139
Ель обыкновенная	812	472	0,127
Пихта	757	440	0,118

Например, эффективная теплопроводность слоев может быть рассчитана по ниже приведенным формулам:

$$\lambda_1 = \lambda \cdot \varphi_1 + \lambda \cdot \varphi_3 - \text{сердцевина}$$

$$\lambda_2 = \lambda \cdot \varphi_1 + \lambda \cdot \varphi_2 + \lambda \cdot \varphi_3 - \text{подкорковый слой}$$

$$\lambda_3 = \lambda \cdot \varphi_1 + \lambda \cdot \varphi_3 - \text{корковый слой}$$

λ – теплопроводность хвойного дерева

φ_1 – объемная доля сухого органического вещества

φ_2 – объемная доля влаги

φ_3 – объемная доля газа

3.2. Одномерная постановка задачи исследования процесса теплопереноса в слоистой структуре ствола хвойного дерева при воздействии излучения от фронта лесного пожара.

3.2.1. Геометрия области решения

В целях математического моделирования ствол хвойного дерева можно упрощенно представить, как слоистую структуру, на которую оказывают воздействия тепловой поток от фронта лесного пожара. Так как ствол хвойного дерева состоит из трех основных слоев – кора, подкорковый слой и сердцевина, то в качестве идеальной модели рассмотрим одномерную трехслойную модель

ствола дерева (рис.3.2.1), в которой тепло передается посредством теплопроводности.

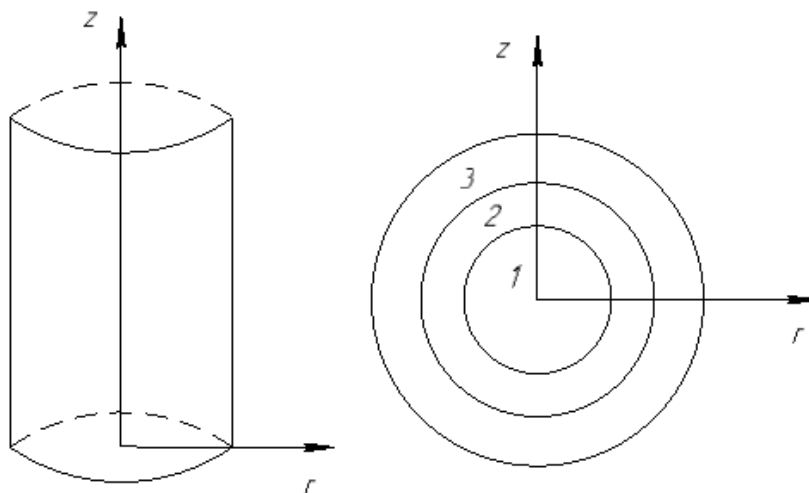


Рисунок 3.2.1 – Геометрическая постановка задачи

1 - Сердцевина; 2 – Подкорковый слой; 3- Кора

3.2.2. Математическая модель теплопереноса в стволе хвойного дерева при воздействии излучения от фронта лесного пожара.

Математически процессы теплопереноса в слоистой структуре дерева могут быть описаны нестационарными дифференциальными уравнениями теплопроводности с соответствующими краевыми условиями:

$$\rho_1 c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \frac{\lambda_1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_1}{\partial r} \right) \quad (3.2.2.1)$$

$$\rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \frac{\lambda_2}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_2}{\partial r} \right) \quad (3.2.2.2)$$

$$\rho_3 c_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = \frac{\lambda_3}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_3}{\partial r} \right) \quad (3.2.2.3)$$

1,2,3 - сердцевина, подкорковый слой, кора;

C_i - удельная теплоемкость, $\text{кДж} / (\text{кг} \cdot \text{K})$;

ρ_i - плотность, $\text{кг} / \text{м}^3$;

λ_i - коэффициент теплопроводности, $\text{Вт} / \text{м} \cdot \text{K}$;

T_i - температура, $^{\circ}\text{C}$;

Начальные условия имеют следующий вид:

$$t = 0: T = T_0, \quad 0 \leq r \leq R \quad (3.2.2.4)$$

$$r = 0: \frac{\partial T}{\partial r} = 0, \quad t > 0 \quad (3.2.2.5)$$

На поверхности объекта для каждого момента времени и каждой точки задаются значения теплового потока $q=q(x,y,z,t)$, где q - плотность теплового потока на поверхности тела.

На границах $r = 0, r = R$ применяем граничные условия II рода, т.к. учитываем влияние теплового потока:

$$r = R: q_{II} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r} \quad (3.2.2.6)$$

$$r = 0: \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r} = 0 \quad (3.2.2.7)$$

q_{II} - тепловой поток от фронта пожара, $\text{Вт} / \text{м}^2$;

Граничные условия на внутренних границах ствола хвойного дерева:

На границах кора – подкорковый слой и подкорковый слой – сердцевина в связи с различными теплофизическими характеристиками для определения теплового взаимодействия на границе двух сред необходимо выполнение условия равенства температур и тепловых потоков по обе стороны от границы раздела, поэтому применяются граничные условия IV рода:

$$r = r_1: -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} \quad (3.2.2.8)$$

при $T_1 = T_2$

$$r = r_2: -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r} \quad (3.2.2.9)$$

при $T_2 = T_3$

Для решения сформулированной краевой задачи был применен метод конечных разностей. Получившаяся система алгебраических уравнений решена методом прогонки. Если результаты вычисления прогоночных коэффициентов находятся в промежутке от $0 < r < r_1$, то используем характеристики 1 слоя, при $r_1 < r < r_2$ - 2 слоя, а при $r_2 < r < R$ используются характеристики 3 слоя.

3.2.3. Основные закономерности теплопереноса в стволе хвойного дерева при воздействии излучения от фронта лесного пожара.

Таблица 3.2.3.1. – Исходные данные для численного моделирования

Период года	Порода хвойного дерева	Тепловой поток, кВт/м ²	Радиус сердцевины дерева, м	Радиус подкоркового слоя дерева, м	Время воздействия теплового потока, с
Лето	Пихта	0,4	0,05	0,08	500
	Сосна				
	Ель				

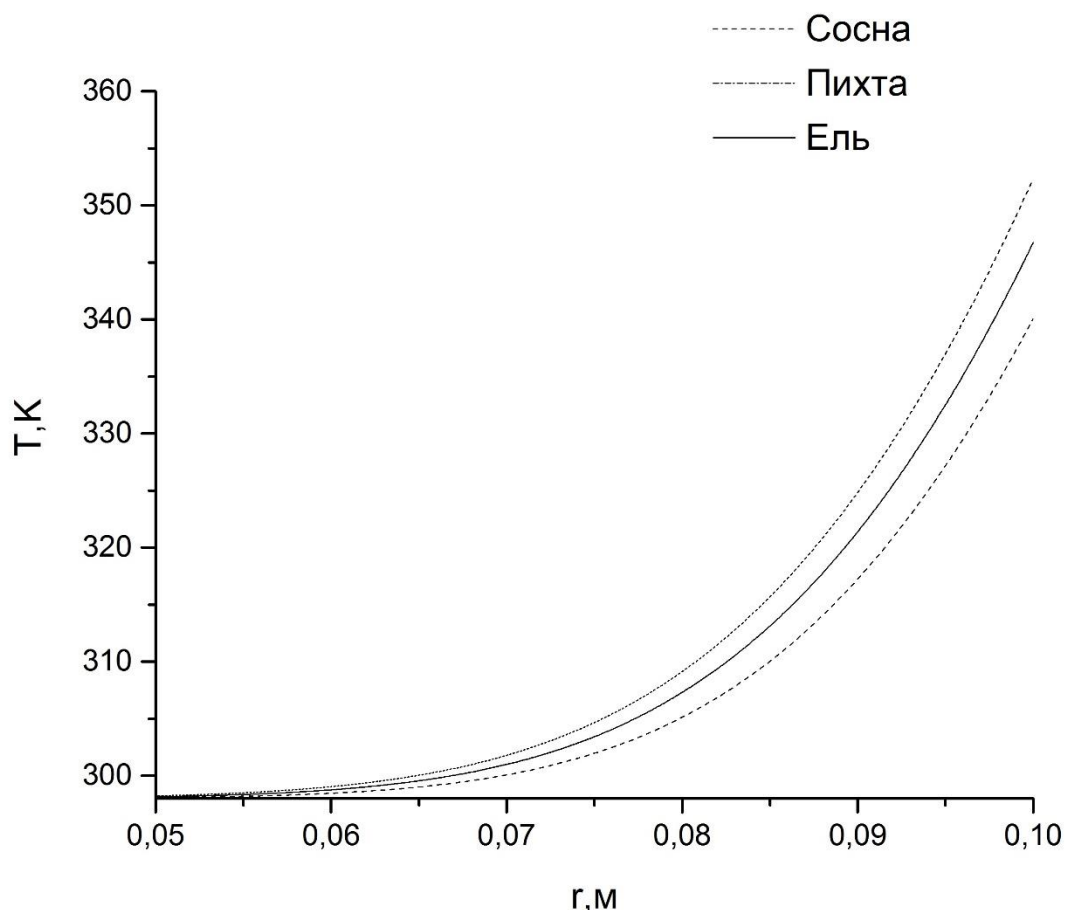


Рисунок 3.2.3.1. – Распределение температуры в слоистой структуре ствола дерева для различных пород хвойных деревьев при условии низового пожара и времени воздействия 500 сек.

Анализ распределений температур показал, что при низовом пожаре малой интенсивности прогревается лишь корковый слой древесины, появляется опал коры или обугливание. При кратковременном воздействии теплового потока на ствол хвойного дерева (менее 500 сек) огневые повреждения не влекут за собой тяжелых последствий таких как, например, усыхание или гибель деревьев. На основании зависимости распределения температур, можно судить о степени восприятия высоких температур различными породами хвойных деревьев. Так можно сделать вывод, что при одинаковых условиях более восприимчива к воздействию высоких температур от фронта лесного пожара является пихта. При относительно кратковременном воздействии теплового потока (250 сек) корковый слой пихты прогрелся до порядка 323 К,

что близко к летальным температурам при которых возможны анатомические изменения в древесине. Анализируя, получение зависимости, при кратковременном воздействии теплового потока от фронта лесного пожара на ствол хвойного дерева будет прогреваться лишь корковый слой ствола дерева на глубину порядка 10 мм.

Таблица 3.2.3.2. – Исходные данные для численного моделирования

Период года	Порода хвойного дерева	Тепловой поток, кВт/м ²	Радиус сердцевины дерева, м	Радиус подкоркового слоя дерева, м	Время воздействия теплового потока, с
Лето	Ель	80	0,15	0,22	500
	Сосна				
	Пихта				

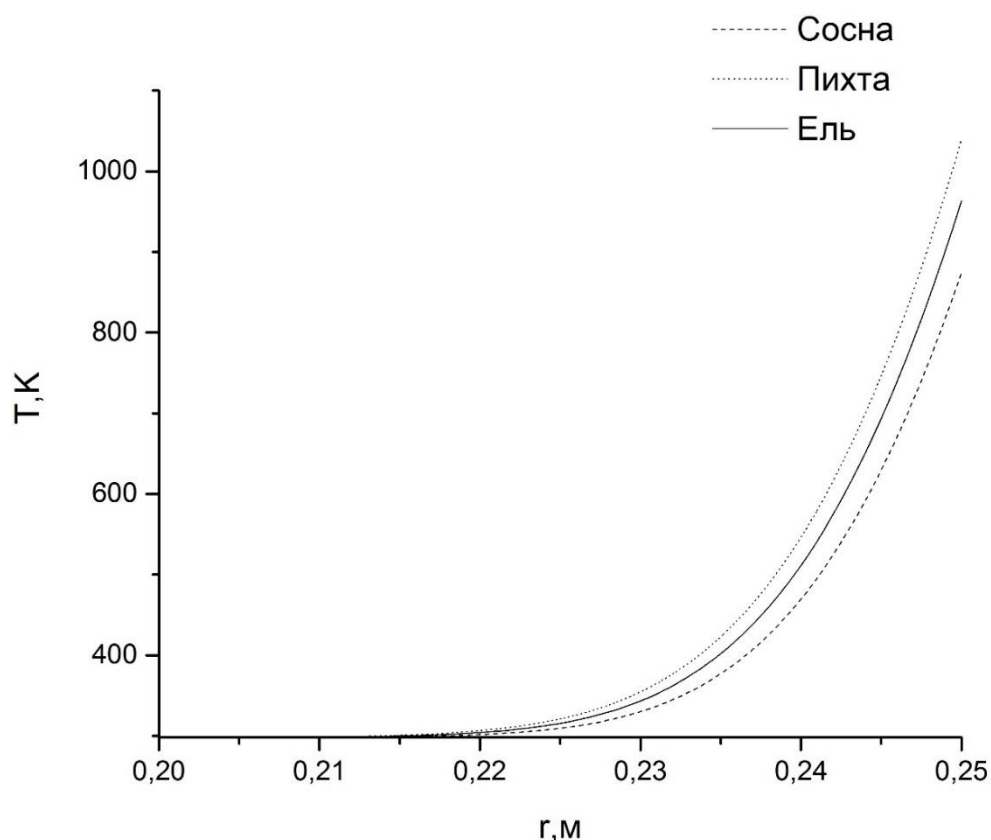


Рисунок 3.2.3.2. – Распределение температуры в слоистой структуре ствола дерева для различных пород хвойных деревьев при условии верхового пожара на момент времени 250 сек.

Из зависимости 3.2.3.2 видно, что при большем значении теплового потока 80 кВт/м^2 от фронта лесного пожара наблюдается рост температуры в корковом слое ствола хвойного дерева по сравнению с тепловым воздействием от низового пожара слабой интенсивности ($0,4 \text{ кВт/м}^2$). С увеличением времени воздействия теплового потока от кромки пожара (более 500 сек) вероятность повреждения приповерхностного слоя подкорковой зоны, где расположен камбий, возрастает. На момент времени 250 секунд глубина прогрева древесины составляет около 30 мм. Как видно из получившихся распределений температур, самой устойчивой породой хвойных деревьев к воздействию повышенных температур является сосна, на момент времени 250 сек корковая зона сосны прогрелась до температуры 870 К, в то время как, например, пихта за тоже время прогрелась до температуры около 1050 К, что свидетельствует о возможности повреждения подкоркового слоя древесины.

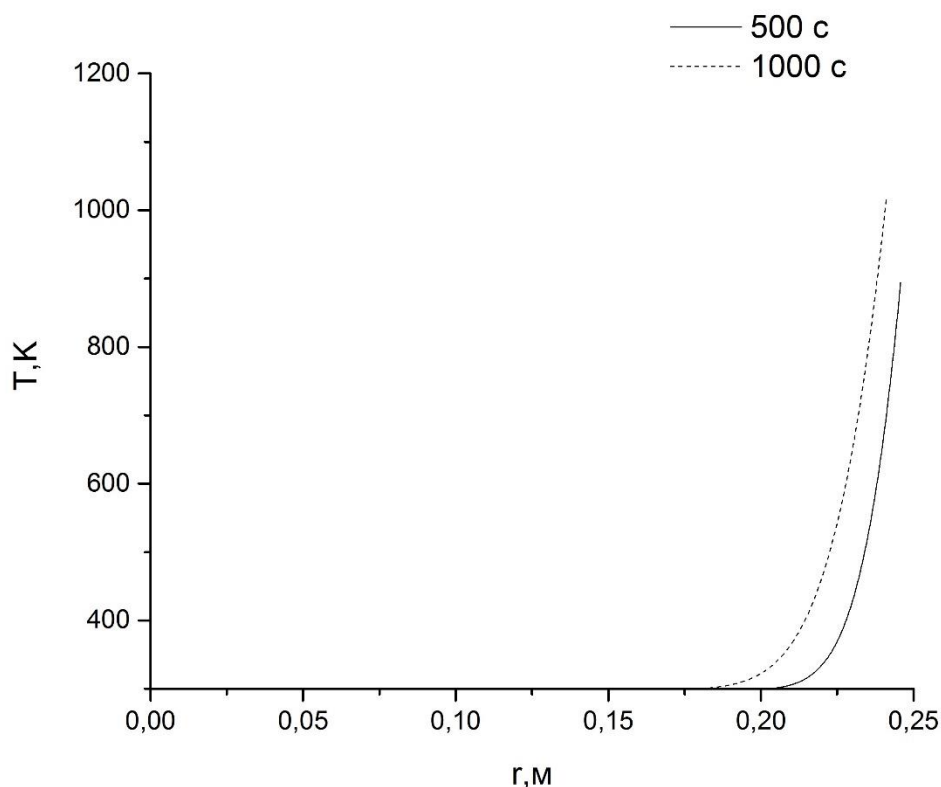


Рисунок 3.2.3.3. – Зависимость распределения температуры в глубине ствола дерева в зависимости от времени воздействия теплового потока.

Данная зависимость наглядно отображает, что с увеличением времени воздействия излучения теплового потока от фронта лесного пожара растёт вероятность термического повреждения дерева. Так при времени воздействия 500 секунд происходит интенсивный разогрев корковой зоны ствола хвойного дерева, при увеличении времени воздействия до 1000 секунд происходит увеличение температуры в подкорковом слое ствола хвойного дерева, что может привести к гибели дерева.

ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела является экономическое обоснование технического решения научно-исследовательской работы (НИР), которое состоит в соотношении затрат на осуществление технического решения и получаемого эффекта. В экономической части разрабатывают основные вопросы организации производства, его важнейшие технико-экономические показатели, выполняют расчеты по определению себестоимости продукции, экономической эффективности производства.

В данной работе рассматривается математическое моделирование процесса теплопереноса в слоистой структуре ствола хвойного дерева при воздействии излучения от фронта лесного пожара. Для математического моделирования использовалась среда программирования Delphi. Все графические результаты обрабатывались в пакете программы OriginPro 8.5. Результаты НИР представлены в виде диссертационной работы с применением пакета программ Microsoft Office.

Для достижения поставленной цели сформулировали задачи:

1. Определение этапов работы;
2. Определение продолжительности этапов работы;
3. Расчет затрат необходимых для НИР;
4. Расчет рентабельности проекта;
5. Оценка научно-технической результативности НИР.

4.1 Организация и планирование работ

Планирование представляет собой процесс формирования целей, определения приоритетов, средств и методов их достижения. Оно часто рассматривается как завершающий этап прогнозирования, в процессе которого

принимаются решения на основе выбора тех или иных альтернатив развития. С точки зрения математики, планирование – это функция, одним из аргументов которой является время.

В целях планирования необходимо составить перечень этапов работ, указать участников и продолжительность этих этапов. Результат планирования представляется в виде линейного или сетевого графика проекта.

Этапы проекта и их продолжительность представлена в табл. 4.1.1. Основными исполнителями проекта являются студент (С) и научный руководитель (НР).

Таблица 4.1.1 – Перечень работ и оценка времени их выполнения

№ п/п	Этапы работы	Загрузка исполнителей, %		Продолжит ельность, дни
		С	НР	
1	Формулирование задания и темы работы	0	100	1
2	Аналитический обзор отечественной и зарубежной литературы по теме работы	100	0	35
3	Выбор направления исследований и обоснование актуальности работы	50	50	6
4	Формулировка физической модели теплого воздействия на ствол хвойного дерева	90	10	5
5	Формулировка математической модели теплового воздействия на ствол хвойного дерева	100	0	10
6	Численное исследование тепловых режимов воздействия на ствол хвойного дерева	90	10	185

7	Вычислительные эксперименты по моделированию тепловых режимов воздействия фронта лесного пожара на древостой	80	20	60
---	--	----	----	----

8	Анализ результатов математического моделирования	90	10	10
9	Написание статей, составление докладов по материалам работы, участие в конференциях	60	40	65
10	Сравнительный анализ с результатами экспериментов других авторов	100	0	5
11	Формулировка выводов по результатам численного исследования	70	30	5
12	Работа над разделами «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	100	0	14
13	Оформление заключительной части работы	100	0	7
14	Перевод части диссертации на английский язык	100	0	7
15	Подготовка рукописи диссертации	90	10	15
	Итого:			430

Важным моментом какой-либо разработки является определение трудоемкости работ каждого из участников, т.к. зачастую трудовые затраты составляют основную часть стоимости научного исследования.

Трудоемкость является вероятностной характеристикой, которая оценивается экспертным путем в человеко-днях и зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Расчет продолжительности этапов работ осуществляется опытно-статистическим методом, который реализуется вероятностным способом.

Расчет ожидаемого значения продолжительности работ $t_{ож}$ осуществляется по формуле [48]:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (4.1.1)$$

где t_{min} – минимальная трудоемкость работ, чел/дн.;

t_{max} – максимальная трудоемкость работ, чел/дн.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести в календарные дни.

Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях произведем по формуле:

$$T_{рд} = \frac{t_{ож}}{K_{вн}} \cdot K_{д}, \quad (4.1.2)$$

где $T_{рд}$ – трудоемкость работы, чел/дн.;

$K_{вн}$ – коэффициент выполнения работ ($K_{вн} = 1$);

$K_{д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ ($K_{д} = 1, 2$).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях:

$$T_{кд} = T_{рд} \cdot T_{к}, \quad (4.1.3)$$

где $T_{к}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется:

$$T_{к} = T_{кал} / (T_{кал} - T_{вд} - T_{пд}) = 365 / (365 - 52 - 12) = 1,213, \quad (4.1.4)$$

где $T_{кал}$ – календарные дни ($T_{кал} = 365$);

$T_{\text{вд}}$ – выходные дни ($T_{\text{вд}}=52$);

$T_{\text{пд}}$ – праздничные дни ($T_{\text{пд}}=12$).

Формулы (4.1.2) – (4.1.4) приведены из источника [48].

Таблица 4.1.2 – Трудозатраты на выполнение проекта [48]

№ п/п	Этапы работы	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Длительность работ $T_{рд}$, чел./дн.		Длительность работ $T_{кд}$, чел./дн.	
			t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	С	НР	С	НР
1	Получение задания и темы работы	НР	1	1	1	0	1,2	0	1,46
2	Аналитический обзор отечественной и зарубежной литературы по теме работы	С	25	35	29	34,8	0	42,21	0
3	Выбор направления исследований и обоснование актуальности работы	НР, С	4	6	4,8	2,88	2,88	3,49	3,49
4	Формулировка физической модели теплового воздействия на ствол хвойного дерева	НР, С	3	5	3,8	4,1	0,456	4,98	0,55
5	Формулировка математической модели теплового воздействия на человека	С	7	10	8,2	9,84	0	11,94	0
6	Численное исследование тепловых режимов воздействия на ствол хвойного дерева	НР, С	165	185	173	186,84	20,76	226,6	25,2
7	Вычислительные эксперименты по моделированию тепловых режимов воздействия фронта лесного пожара на древостой	НР, С	50	60	54	51,84	12,96	62,88	15,7
8	Анализ результатов математического моделирования	НР, С	7	10	8,2	10,74	0,984	10,74	1,19
9	Написание статей, составление докладов по материалам работы, участие в конференциях	НР, С	50	65	56	40,32	26,88	48,91	32,6

10	Сравнительный анализ с результатами экспериментов других авторов	С	3	5	3,8	4,56	0	5,53	0
11	Формулировка выводов по результатам численного исследования	НР, С	3	5	3,8	3,19	1,368	3,87	1,66
12	Работа над разделами «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	С	12	14	12,8	15,36	0	18,63	0
13	Оформление заключительной части работы	С	5	7	5,8	6,96	0	8,44	0
14	Перевод части диссертации на английский язык	С	5	7	5,8	6,96	0	8,44	0
15	Подготовка рукописи диссертации	НР, С	12	15	13,2	14,26	1,58	17,29	1,92
	Итого:		352	430	383,2	392,65	69,07	474	83,8

На основании табл. 4.1.2 строим линейный график работ (рис. 4.1.1).

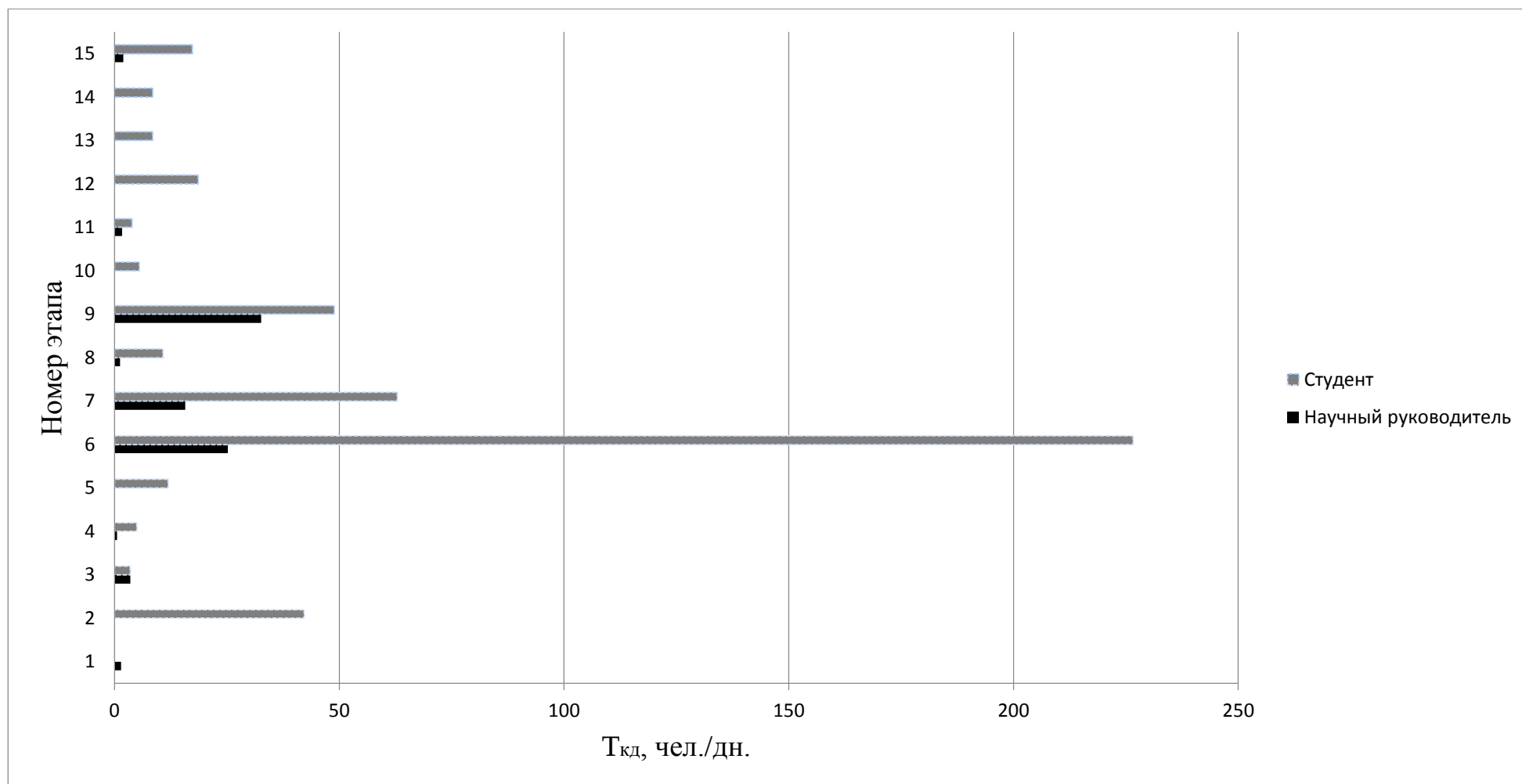


Рисунок 4.1.1 – Линейный график работ на основе рассчитанного для студента и научного руководителя времени $T_{\text{кд}}$

4.2 Расчет сметы затрат

Смета затрат представляет собой сводный план всех расходов, стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта.

Затраты на реализацию проекта представляют собой сумму основных расходов и складываются из следующих элементов [49]:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{мат}} + Z_{\text{ам}} + Z_{\text{з.п}} + Z_{\text{с.о}} + Z_{\text{пр}} + Z_{\text{эл}}, \quad (4.2.1)$$

где $Z_{\text{мат}}$ – материальные затраты;

$Z_{\text{з.п}}$ – заработная плата (основная и дополнительная);

$Z_{\text{ам}}$ – амортизационные расходы;

$Z_{\text{с.о}}$ – социальные отчисления;

$Z_{\text{эл}}$ – затраты на электроэнергию;

$Z_{\text{пр}}$ – прочие затраты.

Материальные затраты представляют собой элемент себестоимости, в котором отражается стоимость покупных материалов, используемых в процессе работы для обеспечения нормального рабочего процесса. Цена материальных ресурсов определяется по средней рыночной стоимости на 2016 год (табл. 4.2.1).

Материальные затраты на данный проект представлены в табл.4.2.1. Стоимость оборудования принималось согласно [50], канцелярские товары – [51], офисная мебель – [52], программное обеспечение – [53, 54].

Таблица 4.2.1 – Материальные затраты на проект

№ п/п	Наименование	Количество	Цена, руб.	Сумма, руб.
Канцелярские товары				
1	Бумага для принтера А4	2	250	500
2	Картридж для принтера	1	866	866
3	Ручка шариковая	2	59,8	119,6

4	Карандаш механический	1	49	49
Продолжение табл. 4.2.1				
5	Грифели для карандаша	1	38,9	38,9
6	Резинка стирательная	1	12	12
Офисная техника				
7	Ноутбук	1	25000	25000
8	Мышка	1	710	710
Офисная мебель				
9	Стол	1	3500	3500
10	Стул	1	1800	1800
Программное обеспечение				
11	Embarcadero Delphi 2010	1	56500	56500
12	Microsoft Office 2007	1	16700	16700
Итого:		105795,5		

Расходы на материалы составили $З_{\text{мат}} = 105795,5$ руб.

Следующей статьей расходов НИР для оценки затрат является заработная плата исполнителей. Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и студента, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная заработная плата рассчитывается:

$$З_{\text{дн}} = З_{\text{м}} / F_{\text{д}}, \quad (4.2.2)$$

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

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

Расчет затрат на основную заработную плату приведен в табл. 4.2.2.

Таблица 4.2.2 – Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес	Среднедневная ставка, руб./день	Затраты времени, дни	$k_{рк}$	Фонд з/платы, руб.
НР	23300	925,7	352	1,3	423600,3
С	1900	75,49	429	1,3	42100,8
Итого:			465701,1		

При расчете учитывалось, что в году 302 рабочих дня и, следовательно, в месяце 25,17 рабочих дня. Также был принят во внимание районный коэффициент $k_{рк}=1,3$.

Как видно из табл. 4.2.2 затраты на основную заработную плату составили $Z_{осн.}=465701,07$ руб.

Дополнительная заработная плата как статья затрат включает сумму выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы)[49].

Дополнительная заработная плата рассчитывается в процентном соотношении от основной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнение проекта (10-15%):

$$Z_{доп} = Z_{осн} \cdot k_{доп} = 465701,1 \cdot 0,1 = 46570,1 \text{ руб.}, \quad (4.2.3)$$

где $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

Фонд заработной платы составляет:

$$З_{з.п.} = З_{доп} + З_{осн} = 46570,1 + 465701,1 = 512271,2 \text{ руб.} \quad (4.2.4)$$

Отчисления на социальные нужды по действующему нормативу единого социального налога (ЕСН) и страхового тарифа предусматриваются от суммы основной и дополнительной заработной платы порядка 30 %:

$$З_{с.о} = k_{внеб} \cdot З_{з.п.} = 0,3 \cdot 512271,2 = 153681,4 \text{ руб.} \quad (4.2.5)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.) [49].

Формулы (4.2.2) – (4.2.5) приведены из источника [49].

Статья расходов на электроэнергию включает в себя затраты на электроэнергию при работе оборудования, а также затраты на электроэнергию, потраченную на освещение.

Затраты на электроэнергию при работе оборудования для технологических целей $\mathcal{E}_{об}$ [55]:

$$\mathcal{E}_{об} = P_{об} \cdot \Pi_{э} \cdot t_{об}, \quad (4.2.6)$$

где $P_{об}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$\Pi_{э}$ – тарифная цена за 1 кВт·час, принимаем $\Pi_{э} = 1,89$ руб./кВт·час [56];

$t_{об}$ – время работы оборудования, час.

Время работы оборудования вычисляется на основе данных табл. 4.1.2 ($T_{рд}$) для студента из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов:

$$t_{об} = T_{рд} \cdot 8 = 393 \cdot 8 = 3144 \text{ ч} \quad (4.2.7)$$

Мощность, потребляемая оборудованием $P_{об}$ принимаем равную мощности ноутбука $P_{об} = 0,09$ кВт [50].

Затраты на электроэнергию при работе оборудования:

$$\mathcal{E}_{об} = 0,09 \cdot 1,89 \cdot 3144 = 534,8 \text{ руб.} \quad (4.2.8)$$

Затраты на электроэнергию для освещения помещения, где осуществлялось выполнение проекта $\mathcal{E}_{ос}$:

$$\mathcal{E}_{\text{ос}} = P_{\text{ос}} \cdot \Pi_{\text{э}} \cdot t_{\text{ос}}, \quad (4.2.9)$$

где $P_{\text{ос}}$ – мощность, потребляемая осветительными приборами, кВт;

$t_{\text{ос}}$ – время работы осветительных приборов, час.

Мощность, потребляемая освещением $P_{\text{ос}}$:

$$P_{\text{ос}} = P_{\text{уст.ос}} \cdot K_{\text{с}} = 0,48 \cdot 0,9 = 0,432 \text{ кВт}, \quad (4.2.10)$$

где $P_{\text{уст.ос}}$ – установленная мощность осветительных приборов, принимаем $P_{\text{уст.ос}} = 0,48$ кВт [57].

$K_{\text{с}} = 0,9$ – коэффициент спроса для внутреннего освещения, принимаем [56].

Время работы освещения $t_{\text{ос}}$:

$$t_{\text{ос}} = T_{\text{рд}} \cdot t_{\text{сут}} = 393 \cdot 5 = 1965 \quad (4.2.11)$$

где $t_{\text{сут}}$ – длительность работы освещения за смену, ч.

$$\mathcal{E}_{\text{ос}} = 0,432 \cdot 1,89 \cdot 1965 = 1604,4 \text{ руб.} \quad (4.2.12)$$

Общие затраты на электроэнергию:

$$\mathcal{Z}_{\text{эл}} = \mathcal{E}_{\text{об}} + \mathcal{E}_{\text{ос}} = 534,8 + 1604,4 = 2139,2 \text{ руб.} \quad (4.2.13)$$

Амортизационные отчисления определяются исходя из стоимости основных фондов (компьютерного оборудования), используемых при проведении научных исследований и годовой нормы амортизационных отчислений:

$$\mathcal{Z}_{\text{ам}} = \frac{H_{\text{а}} \cdot \Pi_{\text{об}}}{F_{\text{д}}} \cdot t_{\text{вт}} = \frac{0,25 \cdot 25000}{2416} \cdot 3440 = 8899 \text{ руб.}, \quad (4.2.14)$$

где $H_{\text{а}}$ – годовая норма амортизации, принимаем $H_{\text{а}} = 25\%$;

$\Pi_{\text{об}}$ – цена оборудования, принимается по табл.3;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени, $F_{\text{д}} = 2416$ ч.;

$t_{\text{вт}}$ – время работы вычислительной техники при создании программного продукта, по табл. 2 $t_{\text{вт}} = 430 \cdot 8 = 3440$ ч.

Прочие расходы составляют 16 % от единовременных затрат на выполнение технического продукта и определяются по формуле:

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат.}} + C_{\text{осн.}} + C_{\text{соц.}} + \mathcal{E} + C_{\text{ам.}}) \cdot 0,16 = (105795,5 + 465701,07 + 153681,4 + 2139,2 + 8899) \cdot 0,16 = 117794,6 \text{ руб.}$$

(4.2.15)

Формулы (4.2.7) – (4.2.15) приведены из источника [55].

Общая себестоимость НИР представлена в табл.4.2.3 путем сведения рассчитанных статей затрат в смету.

Таблица 4.2.3 – Смета затрат на НИР

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
1	2	3
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат.}}$	105795,5
Фонд оплаты труда	$C_{\text{осн.}}$	465701,07
Отчисления из ФОТ	$C_{\text{соц.}}$	153681,4
Расходы на электроэнергию	$\mathcal{E}$	2139,2
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам.}}$	8899
Прочие расходы	$C_{\text{проч.}}$	117794,6
Итого:		854010,77

Таким образом основные затраты на реализацию проекта составили $Z_0 = 854010,77$ руб.

Для экономической оценки проекта необходимо провести расчет основных показателей работ. К основным показателям работ относятся: продолжительность и объем работ, численность персонала, производительность и средняя заработная плата на 1 работника, себестоимость, прибыль и рентабельность.

Сводный сметный расчет представляет собой сумму основных и накладных расходов, компенсационных затрат с учетом сметной прибыли.

Сметная стоимость (С) определяется по формуле[58]:

$$C = Z_o + Z_n + P_c + K_3, \quad (4.2.16)$$

где Z_o - сумма основных расходов;

Z_n - накладные расходы;

P_c - сметная прибыль;

K_3 - компенсационные затраты, принимается равными нулю.

Накладные расходы принимаются в размере 20% от основных расходов:

$$Z_n = 0,2 \cdot Z_o = 0,2 \cdot 854010,77 = 170802,1 \text{ руб.} \quad (4.2.17)$$

Плановые накопления (P_n) представляют собой сметную прибыль (P_c) и определяются умножением утвержденного норматива прибыли в процентах к сумме основных и накладных расходов по формуле:

$$P_n = (Z_n + Z_o) \cdot N_{пн} = (170802,1 + 854010,77) \cdot 0,14 = 143473,8 \text{ руб.}, \quad (4.2.18)$$

где $N_{пн}$ - норматив плановых накоплений, %.

Тогда сметная стоимость составит:

$$C = 854010,77 + 170802,1 + 143473,8 = 1168286,7 \text{ руб.} \quad (4.2.19)$$

Объем работ (Q) в денежном выражении представляет собой сметную стоимость работ (C). Производительность труда одного работника находится по формуле:

$$P_t = \frac{Q}{Ч} = \frac{1168286,7}{2} = 584143,3 \text{ руб.} \quad (4.2.20)$$

Q - объем работ, руб.

$Ч$ - численность работников, человек.

Рентабельность проекта определяется по формуле:

$$P = \frac{P}{C_p} = \frac{143473,8}{1024812,9} = 0,14 \text{ руб.},$$

$$(4.2.21)$$

Где P – прибыль (прибыль от тематических работ, то же, что и плановые накопления);

C_p – себестоимость работ, которая находится по формуле:

$$C_p = 854010,77 + 170802,1 = 1024812,9 \quad (4.2.22)$$

Формулы (4.2.17) – (4.2.22) приведены из источника [58]

4.3 Оценка научно-технической результативности НИР

Таблица 4.3.1 – Характеристики факторов и признаков научной результативности НИР [59]

Фактор научной результативности	Коэф. значимости фактора	Качество фактора	Характеристика фактора	Коэф. достигнутого уровня
Новизна полученных результатов	0,5	Высокая	Некоторые общие закономерности, методы, способы, позволяющие создать принципиально новое программное обеспечение	0,7
Глубина научной проработки	0,35	Средняя	Невысокая сложность расчетов, невозможность проведения эксперимента	0,6
Степень вероятности успеха	0,15	Большая		1

Таблица 4.3.2 – Характеристики факторов и признаков научно-технической результативности НИР [59]

Фактор научной результативности	Коэф. значимости фактора	Качество фактора	Характеристика фактора	Коэф. достигнутого уровня
Перспективность использования результатов	0,5	Важная	Результаты будут использованы при разработке новых программных комплексов технического обеспечения	0,8
Масштаб реализации результатов	0,3	Отрасль	Время реализации: до 3 лет	0,7
Завершенность результатов	0,2	Средняя	Рекомендации, развернутый анализ, предложения	0,6

В этом случае коэффициент научно-технической результативности [59]:

$$K_{\text{нр(нтр)}} = \sum_{i=1}^n K_{\text{вли}} \cdot K_{\text{пи}}, \quad (4.3.1)$$

где $K_{\text{вли}}$ – коэффициент влияния i -го параметра на научно-техническую результативность;

$K_{\text{пи}}$ – коэффициент относительного повышения i -го параметра по сравнению с базовым значением.

Результаты расчета коэффициента научно-технической результативности представлены в виде табл. 4.3.3.

Таблица 4.3.3 – Оценка научно-технической результативности НИР

Параметр	$K_{влі}$	$K_{пі}$	$K_{влі} \cdot K_{пі}$
Коэффициент научной результативности			
Новизна полученных результатов	0,5	0,7	0,35
Глубина научной проработки	0,35	0,6	0,21
Степень вероятности успеха	0,15	1	0,15
Коэффициент научно-технической результативности			
Перспективность использования результатов	0,5	0,8	0,4
Масштаб реализации результатов	0,3	0,7	0,21
Завершенность результатов	0,2	0,6	0,12

Коэффициент научной результативности:

$$K_{нр} = 0,35 + 0,21 + 0,15 = 0,71. \quad (4.3.2)$$

Коэффициент научно-технической результативности:

$$K_{нтр} = 0,4 + 0,21 + 0,12 = 0,73. \quad (4.3.3)$$

Выводы по разделу 4:

В данной главе был произведен расчет продолжительности этапов работы, определена трудоемкость работ каждого из участников и построен линейный график работ. По данному графику можно судить о времени, затраченном на каждый из этапов проекта, вкладе каждого из участников и максимальном по длительности исполнении работ в рамках научно-исследовательского проекта. В целях экономической оценки проекта составлен сводный сметный расчет, который представляет собой сумму основных и накладных расходов с учетом сметной прибыли. Согласно сметы затрат

расходы на НИР составляют 854010,77 руб. Рентабельность проекта составила 14%. Технико-экономическое обоснование НИР свидетельствует о том, что в случае внедрения программного комплекса происходит снижение времени и стоимости на получение объективной информации о степени повреждения лесного массива в условиях ЧС. Эффект от экономии времени за счет оперативного получения объективной информации, снижения степени риска принятия неверных решений приводит к определенной экономии на численности лиц, задействованных в спасательных операциях при ЧС, следовательно должен привести к экономии затрат на оплату труда служащих.

ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Социальная ответственность и охрана труда являются важнейшими составляющими любой деятельности, в особенности производственной, т.к. непосредственно связаны со здоровьем и жизнью человека.

Социальная ответственность – сознательное отношение субъекта социальной деятельности к требованиям социальной необходимости, гражданского долга, социальных задач и, норм и ценностей, понимание осуществляемой деятельности для определенных социальных групп и личностей, для социального прогресса общества.

Охрана труда – совокупность нормативных, технических и правовых актов, мероприятий и правил, целью которых является сохранение здоровья и жизни работника в процессе трудовой деятельности. Данные мероприятия могут быть организационно-технического, санитарно-гигиенического, социально–экономического, лечебно-профилактического, реабилитационного характера.

Условия труда оказывают прямое воздействие на здоровье человека и его состояние в процессе работы, что обуславливает их отвечать всем требованиям безопасности и санитарно-гигиеническим требованиям.

Все факторы, воздействующие на работника в процессе осуществления трудовой деятельности, принято разделять на два типа: вредные и опасные производственные факторы.

В данной главе преследуются несколько задач:

1. Проанализировать рабочее место на предмет возникновения вредных и опасных факторов, а также их влияние на человека; определить предполагаемые средства защиты и меры по снижению их воздействия; рассмотрение возможности возникновения чрезвычайных ситуаций и разработка мер по их предупреждению.

2. Проанализировать перечень вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования, а также влияние исследуемого объекта на человека; рассмотреть возможность возникновения ЧС и разработать ряд мер по их предупреждению

5.1. Профессиональная социальная безопасность

5.1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации исследуемого объекта

Когда человек пребывает в зоне пожара, то он может попасть под воздействие следующих опасных и вредных факторов.

Опасные факторы лесных пожаров по механизму воздействия на организм человека можно разделить на три группы: физико-химические, психофизические и биологические. Физико-химические включают повышенную температуру воздуха рабочей зоны, световое и тепловое излучение, наличие в дыме угарного и углекислого газов, горящих частиц лесных горючих материалов (ЛГМ), психофизические - нервно-психологические и физические нагрузки, биологические - наличие в рабочей зоне кровососущих насекомых, способных вызывать кожные аллергические реакции и являющихся переносчиками таких заболеваний, как клещевой энцефалит, малярия.

Огонь - основная причина травматизма и гибели людей, когда они попадают в его окружение. При тушении кромки низового пожара чаще всего подвергаются ожогам открытые участки тела, загорается одежда. Защитными средствами в этом случае могут служить специальная одежда, палатки, пологи из негорючих тканей. Тушение крупных лесных пожаров влечет за собой и более тяжелые последствия.

Дым - в атмосфере, образующиеся в результате сгорания леса, оказывают отравляющее воздействие на человека. Окись углерода поступает в организм через органы дыхания.

Углекислый газ - менее токсичное соединение. Вызывает раздражение слизистой оболочки глаз и верхних дыхательных путей.

Искры вызывают ожоги открытых участков тела, загорание одежды, обуви. Защитными средствами в этом случае служат одежда из негорючих тканей, специальные очки, экраны для лица.

Постоянный шум, треск приводят к стрессам, панике, страху. Из-за этого снижается внимание и способность правильно слышать и отдавать команды.

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

Для математического моделирования теплопереноса в слоистой структуре ствола хвойного дерева при воздействии излучения от фронта лесного пожара рабочим местом является компьютерный класс.

Рабочее место – пространственная зона, оснащенная необходимыми средствами, в которой совершается трудовая деятельность работника или группы работников, совместно выполняющих производственные задания. Рабочее место является частью производственно-технологической структуры предприятия (организации), оно предназначено для выполнения части технологического (производственного) процесса и определяется на основе трудовых и других действующих норм, и нормативов.

Условия труда пользователя, работающего с персональным компьютером, определяются:

- особенностями организации рабочего места;
- условиями производственной среды;
- характеристиками информационного взаимодействия человека и персональных электронно-вычислительных машин.

Габаритные и компоновочные параметры рабочего места определяются антропологическими характеристиками человека и нормированы в соответствующем документе [91].

Вредным производственным фактором называется такой фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению работоспособности.

Согласно [92] все опасные и вредные производственные факторы подразделяются по природе действия на следующие группы:

- физические;
- химические;
- биологические;
- психофизиологические.

При работе за ПЭВМ возможно воздействие следующих вредных факторов:

- Недостаточная освещенность рабочей зоны;
- Превышение уровня шума работы технического оборудования;
- Постоянное электростатическое поле высокой напряжённости и радиация от компьютерного монитора;
- Повышенная температура поверхностей ПК;
- Стесненная поза;
- Повышенная или пониженная влажность воздуха.

Что касается психологических вредных факторов воздействия, то к ним можно отнести монотонность работы, умственное напряжение и нервно-психическое нагрузки.

Опасный производственный фактор – такой фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме или другому внезапному резкому ухудшению здоровья [98].

В качестве опасных факторов, которые могут возникнуть в компьютерном классе, следует рассмотреть возможность поражения электрическим током и возникновение пожара.

5.1.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.

Одним из вредных факторов воздействия ПЭВМ на оператора является зрительное утомление, что тесно связано с освещенностью помещения, где расположены компьютеры. В поле зрения оператора находятся многочисленные источники прямой и отраженной блёскости (от экрана и клавиатуры, от окон и светильников), неравномерное распределение яркости, низкие уровни освещенности и др. Поэтому очень важно грамотно организовать освещенность рабочей зоны, для этого следует правильно расположить оборудования относительно источников света в помещении. Так же благоразумно не пренебрегать элементарными условиями для защиты органов зрения от утомляющих его факторов.

В компьютерных классах должно быть естественное и искусственное освещение. Естественное освещение обеспечивается через оконные проемы с коэффициентом естественного освещения КЕО не ниже 1,2. Искусственное освещение в помещении и на рабочем месте создает хорошую видимость информации, машинописного и рукописного текста, при этом должна быть исключена отраженная блескость.

Светильники должны располагаться в виде сплошных или прерывистых линий сбоку от рабочих мест параллельно линии зрения пользователя при разном расположении компьютеров. Для обеспечения нормативных значений освещенности в помещениях следует проводить чистку стекол оконных проемов и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп[93].

Компьютер является источником статического электричества и различных излучений: рентгеновских, электромагнитных. Источниками ЭМП являются силовые трансформаторы, система горизонтального отклонения луча электроннолучевой трубки (ЭЛТ) дисплея, блок модуляции луча ЭЛТ, экран

монитора (ИК и УФ излучения), высоковольтные кенотроны и кинескопы (рентгеновское излучение).

Для комфортной работы оператора в помещении должен быть создан микроклимат, отвечающий всем требованиям. Микроклимат характеризуется следующими показателями [94]: температура воздуха; температура поверхностей; относительная влажность воздуха; скорость движения воздуха; интенсивность теплового облучения. Эти параметры по отдельности и в комплексе влияют на организм человека, определяя его самочувствие.

Согласно [95] для категории тяжести работ 1а температура воздуха должна быть в холодный период года не более 22-24°C, в теплый период года 20-25°C. Относительная влажность должна составлять 40-60%, скорость движения воздуха — 0,1 м/с. Для поддержания оптимальных значений микроклимата используется система отопления и кондиционирования воздуха.

На пользователя могут оказывать неблагоприятное влияние также шум от работы самой ПЭВМ и оборудования (принтеров, вентиляторов систем охлаждения и трансформаторов) в помещении. Как известно шум негативно воздействует на нервную и сердечно-сосудистую системы. Уровни шума не должны превышать значений, установленных [76] и составляют не более 50 дБА.

Для предотвращения пагубного воздействия вредных факторов рабочего места следует соблюдать ряд требований к организации рабочего места и рабочего процесса:

- для снижения воздействия электромагнитного излучения следует: установить монитор задней стенкой к стене; исключение пыли в помещении; умывание холодной водой после работы; необходимо хорошо проветривать помещение и, при возможности, установить ионизатор;
- для снижения психического напряжения: регулярные перерывы по 15 минут через каждые 30 минут;
- для снижения утомляемости глаз: правильное расстояние до дисплея (45-60 см); чтобы избавиться от бликов на экране от дополнительных источников света они должны использоваться только для подсветки

документов. Естественный свет должен падать сбоку (слева); время непрерывной работы с монитором для взрослого - 2 часа, перерыв - не менее 15 минут;

– для снижения физического утомления: специальный компьютерный стул на газпатроне, без подлокотников, ширина и глубина поверхности сиденья не менее 400 мм, сиденье должно иметь некоторый наклон назад (на 5-6 градусов), обеспечивающий устойчивость позы, спинка кресла должна иметь вогнутую форму, поверхность сиденья мягкая с закругленным передним краем, расстояние от сиденья до нижнего края рабочей поверхности не менее 150 мм;. **Клавиатура** должна располагаться на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края, обращенного к пользователю [71].

Перед началом работы следует убедиться в отсутствии свешивающихся со стола или висящих под столом проводов электропитания, в целостности вилки и провода электропитания, в отсутствии видимых повреждений аппаратуры и рабочей мебели, в отсутствии повреждений и наличии заземления приэкранного фильтра.

К электрозащитным средствам относятся: изолирующие штанги всех видов (оперативные, измерительные, для наложения заземления); изолирующие и электроизмерительные клещи; указатели напряжения всех видов и классов; диэлектрические перчатки, боты и галоши, ковры, изолирующие подставки; защитные ограждения (щиты, ширмы, изолирующие накладки, колпаки); переносные заземления; устройства и приспособления для обеспечения безопасности труда при проведении испытаний и измерений в электроустановках; плакаты и знаки безопасности; прочие средства защиты.

Основным организационным мероприятием по обеспечению электробезопасности являются: инструктаж и обучение безопасным методам труда, проверка знаний правил безопасности инструкций, поддержание техники в исправном состоянии, проведение планового осмотра, своевременного ремонта электроприборов и качественное исправление поломок.

При работе в компьютерном классе не исключено возгорание, как в случае с невнимательностью и халатностью персонала, так и в результате выхода из строя оборудования, находящегося под напряжением. Этот опасный фактор как следствие приводит к ЧС и требует отдельного рассмотрения.

5.2. Экологическая безопасность

5.2.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Загрязнение атмосферы — привнесение в атмосферу или образование в ней физико-химических агентов и веществ, обусловленное как природными, так и антропогенными факторами. Лесные пожары являются одним из основных источников загрязнения атмосферы.

Главные экологические последствия загрязнения атмосферы — парниковый эффект, кислотные дожди, нарушение озонового слоя. На рисунке 5.2.1. представлены виды стандартов по охране атмосферного воздуха.

Виды источников загрязнения атмосферы:

1. Естественные

- Пыльные бури
- Лесные пожары
- Выветривание
- Вулканизм
- Разложение органических веществ

2. Антропогенные

- Промышленные предприятия
- Транспорт
- Сельское хозяйство
- Теплоэнергетика



Рисунок 5.2.1. Виды стандартов по охране атмосферного воздуха.

Содержание вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест ограничивается величинами ПДК, нормируются средняя суточная концентрация вещества (ПДК_{сс}) и максимальная разовая (ПДК_{мр}).

Основные задачи прогнозирования качества воздуха — выявление особенностей распространения загрязняющих веществ над контролируемой территорией при различных погодных условиях и изучение вклада отдельного источника в общий баланс загрязнения воздушной среды территории, особенно населенных мест.

Можно выделить различные типы источников загрязнения при лесных пожарах. Точечный источник — отдельно взятый очаг лесного пожара. Линейный источник — фронт протяженного по одной из координат пожара. В случае массовых лесных пожаров, которые характеризуются многочисленными очагами на контролируемой лесопокрытой территории, может рассматриваться площадной источник загрязняющих веществ. Рационально объединить отдельные выбросы и перейти к величинам, осредненным по площади.

Продукты сгорания ЛГМ и РГМ, которые загрязняют атмосферный воздух, могут быть разделены на две категории. В первую входят непосредственно выбрасываемые из очага пожара, а во вторую — образующиеся из веществ первой категории в результате химических реакций, в том числе с компонентами воздуха. Газы и аэрозоли первой и второй категорий принято называть соответственно первичными и вторичными загрязнителями. Некоторые загрязняющие вещества могут входить в обе категории [43].

Уровень загрязнения статистически характеризуется средними за месяц и за год концентрациями вредных примесей, максимальными разовыми концентрациями, числом случаев, когда концентрации превышали ПДК в 10 раз и более [43]. Степень суммарного загрязнения атмосферы рядом веществ оценивается с помощью комплексного показателя — индекса загрязнения атмосферы (ИЗА).

Пожары оказывают существенное влияние на окружающую среду, загрязняя ее продуктами горения, пиролиза, несгоревшими горючими веществами, огнетушащими средствами. Но если причиняемые пожарами материальный ущерб и социальные потери (погибшие и пострадавшие люди), как правило, известны сразу после пожара, то экологический ущерб имеет не только текущие, но и отдаленные последствия для человечества и экосистемы.

Загрязнение гидросферы

На ликвидацию одного среднестатистического пожара расходуется около 50 м³ воды. Только для тушения трех тысяч ежегодно происходящих в амурской области пожаров требуется около 150 000 м³ воды. А чтобы потушить 6,5 млн. пожаров на Земле - 350 млн. м³, что равносильно стационарным водным ресурсам озер, рек и большей части почвенной влаги вместе взятых.

При тушении вода, соприкасаясь с раскаленными веществами, превращается в пар. И пар, и вода насыщаются отравляющими веществами. Пар попадает в

атмосферу и дополнительно участвует в круговороте веществ между сушей и океаном, выпадая в виде кислотных дождей и снега. Вода атмосферных осадков с места пожаров в конечном итоге попадает в озера, моря, проникает в почву и долгое время сохраняется в биосфере.

Сгорание воздуха при пожаре

Процесс горения любого вещества сопровождается не только выбросом в атмосферу раскаленных продуктов сгорания и тепловым излучением, но и потреблением значительных объемов воздуха. При сгорании 1 м³ природного газа расходуется 5 м³ воздуха; 1 кг древесины - 4,2 м³. А объем продуктов сгорания значительно превышает эти показатели.

Таким образом, в огне сгорают значительные объемы кислорода, создавая опасность для жизни людей в случае понижения в зоне пожара концентрации кислорода (менее 16 %), которая в случае массовых пожаров может понизиться до 10, а иногда до 6%.

К большому сожалению, люди этот фактор просто не учитывают. Обратите внимание, сколько весной и осенью в городах и селах нашей области полыхает костров, палов, круглый год горят свалки бытовых отходов, и везде сгорает кислород воздуха, так необходимый для нормального существования всего живого на планете.

Токсичность продуктов сгорания

К числу наиболее опасных веществ в продуктах горения при пожарах относятся оксид углерода (угарный газ), диоксид углерода (углекислый газ), хлористый водород, уксусная и синильная кислота и многие другие вещества, которых по разным оценкам может быть более 400. Например, в продуктах сгорания древесины найдено 220 веществ, у пенополиуретанов - 50 токсичных веществ, у поливинилхлорида - 75, причем некоторые из них обладают канцерогенными свойствами.

Все токсичные вещества присутствуют в воздухе в количествах, в несколько раз превышающих допустимые нормативы качества атмосферы, что приводит к отравлению людей.

А пожарные подвергаются, так называемому накапливаемому отравлению, небольшие дозы отравляющих веществ, регулярно получаемые ими во время ликвидации пожаров, в конечном итоге приводят к тому, что пожарные приобретают профессиональные заболевания легких, желудочно-кишечного тракта, онкологические заболевания.

Таким образом, пожары представляют экологическую опасность для всех живых организмов и, прежде всего, для людей.

5.2.2. Экологическое сознание

Проблема взаимосвязи человек с природой не нова, она имела место всегда. Но сейчас, в настоящее время, экологическая проблема взаимодействия человека и природы, также воздействия человеческого общества на окружающую среду стала очень острой и приняла огромные масштабы. Общество не выживет без экологического сознания. Это сознание должно проникнуть во все области науки, техники и производства и изменить их так, чтобы они способствовали выживанию человечества, а не его гибели. Сущность экологического сознания является отражением реально практических отношений общества. Обществу необходимо знать экологические нормы, правила поведения, иметь высокий уровень экологической культуры. Процесс формирования экологической культуры рассматривается как единство трех проблем: широкое разъяснение губительных последствий загрязнения среды обитания; приобретение экологического подхода к организации экономики и другим сферам жизнедеятельности общества; формирование экологического сознания. На формирование сознания огромное влияние оказывает общественная жизнь. Экологическая культура органически связана с сущностью личности в целом, с ее различными сторонами и качествами. Нормы

нравственного отношения к природе, ставшие внутренней потребностью, могут сыграть высокую роль в решении экологических проблем.

Выделяется два типа экологического сознания: индивидуальное и коллективное.

1. Коллективное экологическое сознание – это общая для какой-либо структуры (профессиональной группы, популяции, этноса) трактовка форм и содержания взаимоотношений человека с природой. Для него также характерны единые цели организации и реализации воздействия на объекты и явления природы.

2. Общественное экологическое сознание в отличие от коллективного не имеет общности взглядов, а может характеризоваться столкновением позиций, мнений и подходов, присущих тем или иным членам и группам общества. Это отражения часто противоречивых интересов общества. Тут следует заметить, что и внутри коллектива, созданного не по общности взглядов и интересов, а по профессиональному или ведомственному принципу, могут быть противоречия. В таком случае – коллективное сознание – чаще навязанное руководством коллектива.

5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.3.1. Анализ вероятных ЧС, которые могут при проведении исследований

Пожар в компьютерном классе, может привести к очень неблагоприятным последствиям (потеря ценной информации, порча имущества, гибель людей и т.д.), поэтому необходимо: выявить и устранить все причины возникновения пожара; разработать план мер по ликвидации пожара в здании; план эвакуации людей из здания.

Причинами возникновения пожара могут быть:

– неисправности электропроводки, розеток и выключателей которые могут привести к короткому замыканию или пробое изоляции;

- использование поврежденных (неисправных) электроприборов;
- использование в помещении электронагревательных приборов с открытыми нагревательными элементами;
- возникновение пожара вследствие попадания молнии в здание;
- возгорание здания вследствие внешних воздействий;
- неаккуратное обращение с огнем и несоблюдение мер пожарной безопасности.

Требования к способам обеспечения пожарной безопасности системы предотвращения пожара приведены в [100]. Пожарная профилактика представляет собой комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращении пожара, ограничение его распространения, а также создание условий для успешного тушения пожара. Для противопожарной защиты чрезвычайно важна правильная оценка пожароопасности здания [101], определение опасных факторов и обоснование способов и средств пожаропредупреждения и защиты [102]. Во всех служебных помещениях обязательно должен быть «План эвакуации людей при пожаре», регламентирующий действия персонала в случае возникновения очага возгорания и указывающий места расположения пожарной техники.

Одно из условий обеспечения пожаробезопасности - ликвидация возможных источников воспламенения.

В компьютерном классе источниками воспламенения могут быть:

- неисправное электрооборудование и электроприборы, неисправности в электропроводке, электрических розетках и выключателях;
- обогревание помещения электронагревательными приборами с открытыми нагревательными элементами;
- короткое замыкание в электропроводке;
- попадание в здание молнии;
- несоблюдение мер пожарной безопасности и курение в помещении также может привести к пожару.

В целях предотвращения пожара необходимо проводить противопожарный инструктаж, на котором ознакомить работников с правилами противопожарной безопасности, а также обучить использованию первичных средств пожаротушения. В соответствии со ст. 43 Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" к первичным средствам пожаротушения относятся: переносные и передвижные огнетушители; пожарные краны и средства обеспечения их использования; пожарный инвентарь (пожарные шкафы, пожарные щиты, пожарные стенды, пожарные ведра, бочки для воды, ящики для песка, тумбы для размещения огнетушителей и др.; покрывала для изоляции очага возгорания).

5.3.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Каждый лесхоз должен иметь план противопожарного устройства, охватывающий комплекс следующих основных противопожарных мероприятий, необходимых для предупреждения и максимального снижения горимости лесов:

1. разделение лесных массивов противопожарными разрывами;
2. создание (устройство) вдоль противопожарных разрывов и дорог, а также у других объектов пожароустойчивых опушек (лиственных или с преобладанием лиственных пород);
3. устройство защитных (минерализованных) полос и канав;
4. устройство дорог, мостов и прочего;
5. проведение мероприятий по противопожарной пропаганде (устройство постоянно действующих выставок, витрин, мест отдыха и курения в лесу, установка предупредительных аншлагов);
6. строительство кордонов для лесной охраны, пожарных наблюдательных вышек, средств радио и телефонной связи,

организация метеопунктов в лесхозах и лесничествах и дозорно-сторожевой службы;

7. устройство водоемов, промежуточных посадочных площадок и наземных ориентиров для самолетов и пунктов приема донесений с самолетов;
8. организация пожарно-химических станций и пожарных бригад и строительство помещений для них; создание пунктов сосредоточения противопожарного инвентаря.

Для составления плана противопожарного устройства территория лесхоза разбивается на пожарные выделы в зависимости от пожарной опасности лесных насаждений в соответствии с вышеуказанной шкалой классов пожарной опасности.

Все насаждения и участки леса, отнесенные к одному классу пожарной опасности и территориально прилегающие друг к другу, объединяются в один пожарный выдел; наименьшая величина выдела в устроенных лесах — один квартал, а в лесах неустроенных — 400—1000 га. В один пожарный выдел допускается объединение нескольких смежных кварталов (участков).

Хвойные молодняки и культуры (не образующие целого выдела) выделяются особо, причем размер выделяемых участков определяется разрядом лесоустройства данного лесхоза.

Все пожарные выделы наносятся на пожарную карту, которая составляет неотъемлемую часть плана противопожарного устройства лесхоза. Пожарные выделы наносятся на карту черной тушью и окрашиваются: I класс пожарной опасности — красной краской; II класс — оранжевой; III класс — зеленой краской. Участки хвойных молодняков внутри пожарных выделов отграничиваются черной тушью и окрашиваются темно-красной краской.

План противопожарного устройства, составленный лесхозом, должен быть согласован с органами государственного пожарного надзора, после чего с соответствующими приложениями передается в управление лесного хозяйства.

Кроме перспективного плана противопожарного устройства, лесхозы ежегодно составляют оперативный план противопожарных мероприятий, который состоит из двух разделов: а) предупредительные противопожарные мероприятия (из плана противопожарного устройства лесов) и б) организация тушения лесных пожаров. Во втором разделе предусматриваются конкретные развернутые мероприятия, обеспечивающие быструю ликвидацию возникающих лесных пожаров.

При возникновении чрезвычайной ситуации следует:

1. Увеличить противопожарные разрывы между лесом и границами застройки путем вырубki деревьев и кустарников.
2. Вспахать широкие полосы вокруг населенного пункта и отдельных строений.
3. Создать запасы воды и песка.
4. Если пожар только начинает разгораться, необходимо сбить пламя метелкой из веток. Использовать для тушения можно ветки деревьев лиственных пород или деревца длиной 1,5-2 метра, плотную ткань, мокрую одежду. Необходимо наносить скользящие удары по кромке огня сбоку в сторону очага пожара, как бы сметая пламя. Затапывать небольшой огонь ногами, не давать ему перекинуться на стволы и кроны деревьев.
5. Необходимо немедленно предупредить всех находящихся поблизости людей о необходимости выхода из опасной зоны.
6. Если пожар потушить своими силами невозможно, то от низового пожара можно уйти: скорость пешехода превышает 80 метров в минуту (около 5 км/час), а скорость распространения пожара - составляет 1-3 метра в

- минуту. Идти необходимо в наветренную сторону, перпендикулярно кромке пожара, по просекам, дорогам, полянам, берегам ручьев и рек.
7. При возгорании торфяного болота воспрещается самостоятельно тушить пожар, необходимо обойти его стороной. Двигаться надо против ветра внимательно осматривая перед собой дорогу, ощупывая её шестом или палкой.
 8. Выходить из опасной зоны быстро, перпендикулярно к направлению движения огня, используя открытые пространства и избегая бурелома.
 9. Вал низового огня лучше преодолевать против ветра, укрыв голову и лицо одеждой; при этом следует учесть ширину распространения низового огня и трезво оценить возможность преодоления Вами этой полосы.
 10. Если невозможно уйти от пожара, войдите в водоем или накройтесь мокрой одеждой.
 11. Прикройте органы дыхания платком, рукавом, шарфом и т.п. (предварительно смочив ткань водой).
 12. После выхода из зоны пожара сообщите о месте и характере пожара в администрацию населенного пункта, местному населению, лесничеству и противопожарную службу.

5.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.4.1. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства

Правовая основа по обеспечению охраны труда и безопасности трудящихся на рабочем месте основывается на Конституцию РФ и состоит из ряда федеральных законов и нормативно правовых актов. Управление охраной труда осуществляет блок федеральных органов исполнительной власти,

руководимый Министерством здравоохранения и социального развития РФ (Минздравсоцразвития).

Правовую основу организации работ в ЧС и ликвидации их последствий составляет закон РФ “О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера” (1994).

Ведомственные службы охраны труда совместно с комитетами профсоюзов разрабатывают инструкции по безопасности труда для различных профессий с учетом специфики работы, а также проводят инструктажи и обучение всех работающих правилам безопасной работы. Различают следующие виды инструктажа: вводный, первичный на рабочем месте, повторный внеплановый и текущий.

В Кодексе нашли существенное отражение вопросы охраны труда. В нем констатируется, что каждый работник имеет право на условия труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены, на обязательное социальное страхование, на возмещение ущерба, причиненного работнику в связи с выполнением трудовых обязанностей, и ряд других. Вопросам охраны труда посвящен специальный раздел «Охрана труда».

5.5 Заключение

В данном разделе были рассмотрены вопросы, связанные с экологией и социальной ответственностью с точки зрения уменьшения вредных выбросов, рассматривается подход к использованию природных ресурсов, с меньшим воздействием на окружающую среду. Подробно описаны выявленные вредные и опасные факторы и средства защиты от них.

На основании изученной литературы по данной проблеме, проведен выбор системы и расчет оптимальных параметров рабочей зоны инженера. Также в данной главе рассмотрены мероприятия для предотвращения возможности возникновения чрезвычайной ситуации и последовательность действий в случае их возникновения.

В результате проведенного исследования разработана математическая модель теплопереноса в слоистой структуре ствола хвойного дерева при воздействии лучистого теплового потока от фронта лесного пожара. Проведено численное моделирование процесса теплопереноса в условиях воздействия лучистого теплового потока от фронта лесного пожара различной интенсивности и вариации времени воздействия поражающего фактора лесного пожара (излучения).

Воздействие пожара на древесные растения проявляется чаще всего в нанесении термических повреждений (травм). Термические повреждения влекут за собой ослабление, усыхание древостоя, вследствие чего они более подвержены воздействию насекомых и грибов.

В результате теплового воздействия деревья получают различные повреждения, которые проявляются в виде [3]:

1. ожогов ствола;
2. ожогов и перегорания корней;
3. ожогов кроны.

Воздействие низового пожара на деревья часто ограничивается легким поверхностным ожогом или опалом коры, что может быть безболезненным для дерева, если огнем не затрагивается камбий. Наиболее опасным видом пожаров являются верховые. На их долю приходится до 70% выгоревшей площади.

Так как проведение экспериментальных исследований является проблемой, вследствие того, что степень и вид повреждения деревьев зависит не только от характеристик лесного пожара, но и определяется пирологическими свойствами каждой породы и насаждений их в целом. Следовательно, рациональным является исследование влияния тепловых режимов на древесные растения с применением методов численного моделирования.

Леса в Российской Федерации занимают 1,2 млрд Га, что составляет около 30% всех лесных ресурсов планеты[5]. Со стороны лесов значительно влияние оказывается на процессы регулирования состояния окружающей среды, климат, биоразнообразие и т.д.

Тепловые и дымовые выбросы обширных лесных пожаров меняют динамику атмосферы, процессы циркуляции воздушных масс и, тем самым, погодные условия в отдельных регионах. Интенсивная и длительная задымленность от лесных пожаров создают серьезные угрозы для здоровья населения.

Помимо глобального влияния на климат Земли в результате действия природных пожаров возникают региональные катастрофы, например, массовые городские пожары, катастрофическая задымленность огромных территорий, а также многочисленные локальные пожары в поселках и на складах древесины, расположенных на территориях, охваченных лесными пожарами.

Прогнозирование пожароопасных ситуаций существенно влияет на:

1. своевременное выявление и качественную оценку пожароопасных ситуаций,
2. формирование эффективных мер для ликвидации пожаров
3. прогнозирование жизненного цикла лесных массивов, охваченных стихией.

Разработка данных моделей открывает перспективы создания более совершенных математических моделей прогнозирования лесных пожаров и условий пожароопасных ситуаций.

Благодаря полученному расчету температурного поля в слоистой структуре ствола хвойного дерева при различной интенсивности и времени воздействия теплового потока от фронта пожара определен критерий теплового поражения, по которому можно судить о степени повреждения древостоя.

Полученные результаты могут быть применены при создании информационно-вычислительных систем геомониторинга лесных массивов.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Барановский Н.В., Андреева К.Н. Математическое моделирование теплового воздействия от фронта лесного пожара на ствол хвойного дерева // Cloud of Science. 2015. Т. 2. № 4. С. 591-598.
2. Baranovskiy N.V., Barakhnin V.B., Andreeva K.N. Mathematical modeling of thermal influence from forest fire front on f coniferous tree trunk // EPJ Web of Conferences. 2016. Vol.110, Paper 01005. 1 – 6 P.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ярошенко А.Ю., «Европейская тайга на грани тысячелетий» М.: Гринпис России, 1999, 66с.
2. Курьянова Т.К., Влияние вида пожара на структуру и качество древесины сосны / Т. К. Курьянова, А. Д. Платонов, Н. Е. Косиченко, С. Н. Снегирева, В. В. Чеботарев, А. В. Макаров // Научный журнал КубГАУ. – 2011. – №74(10). – С. 1-15.
3. Мелехов С.И., Влияние пожаров на лес /С.И. Мелехов. - М.-Л. Гос. лесотехн. изд-тво. 1948. – 126 с.
4. Кузнецов Г.В., Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий / Г. В. Кузнецов, Н. В. Барановский; Мин-во образования и науки РФ, Федер. агентство по образованию, Томский политехнический университет. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. — 301 с.
5. Управление лесными пожарами на экорегиональном уровне. Материалы Международного научно-практического семинара (Хабаровск, Россия. 9–12 сентября 2003 г.). М.: Изд-во Алекс, 2004. 208 С.
6. Кузнецов В.И., Козлов Н.И., Хомяков П.М. Математическое моделирование эволюции леса для целей управления лесным хозяйством. М.: ЛЕНАНД, 2005. 232 с.
7. Зайченко О.В. Разработка методов оценки воздействия лесного пожара на воздушную среду населенных территорий. Автореф. дис. ...канд. техн. наук. – Владивосток, 2005. 19 с.
8. Исаева Л.К. Экологические последствия лесных и торфяных пожаров 2002 г. в Московской области. /Л.К. Исаева, С.В. Соловьев, А.Г. Власов, А.В. Подгрушный, Н.Я. Трифонов, К.В. Креслов, А.В.Сычев, А.В. Панов // Природные пожары: возникновение, распространение, тушение и экологические последствия: Материалы 5-й Международной конференции. – Томск, 2003.

9. Гришин А.М., Фильков А.И. Прогноз возникновения и распространения лесных пожаров. Кемерово: Изд-во Практика, 2005. 202 С.
10. Барановский Н.В. Методика оценки влияния лесных пожаров на здоровье населения/Н.В. Барановский, С.В. Барановская, А.В. Исакова // Пожарная безопасность, 2007-С.№ 3. - С. 71-74.
11. Лесные пожары: виды, причины, способы тушения. Справка [Офиц.сайт]. URL: <http://ria.ru/documents/20090414/168056182.html>.
12. Калинин К.К. Воздействие крупных пожаров на лесные фитоценозы и система лесохозяйственных мероприятий по ликвидации их последствий. Дис. ... доктора сельскохозяйственных н. – Марийский Гос.Тех.Ун., 2002, 449 с.
13. Гришин А.М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1992. 408 с.
14. Пинаев В.С., Щербаков В. А. Пожары, вызванные ядерными взрывами, и их последствия // Физика горения и взрыва. 1996. Т. 32, № 5. С. 116—121.
15. Залесов А.С. Классификация лесных пожаров//Методические указания по курсу «Лесная пирология» для самостоятельной работы студентов очной и заочной форм обучения Направление 250200 «Лесное хозяйство и ландшафтное строительство», 250100 «Лесное дело» Специальности 250201, 250203. Екатеринбург: Изд-о УГЛТУ, 2011.15 С.
16. Доррер Г.А. Динамика лесных пожаров. Новосибирск: Наука, 2008. 403с.
17. Долгов А.А., Сумина Е.Н., Цомаева Д.С. Методология оценки лесопожарных рисков // Метериалы международной научно-практической конференции. Москва 2008.
18. Демаков Ю.П., Калинин К. К. Лесоводство. Ведение хозяйства в лесах пораженных пожарами. Учебное пособие. Йошкар-Ола 2003. – МарГТУ, ОПП МарГТУ –135 с.
19. Курбатский Н.П. Исследование свойств и количества лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. ИЛиД СО АН СССР, Красноярск, 1972. С. 5—58.

20. Валендик Э.Н., Кисляхов Е.К., Верховец С.В. Пожарная опасность на вырубках в темнохвойных лесах Красноярского края // Лесное хозяйство. 2003. № 3. С. 36—38.
21. Добровольский В.В. География почв с основами почвоведения: учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: Гуманит. изд. центр. ВЛАДОС, 2001. 384 с.
22. Волокитина А.В., Софронов М.А. Классификация и картографирование растительных горючих материалов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 314 с.
23. Deeming J.E., Burgan K.E., Cohen J. D. The National Fire-Danger Rating Sys-tem. Ogden, Utah: USDA Forest Service, General Technical report. INT-39, 1978. 66 p.
24. Canadian Forest Fire Danger Rating System / B. J. Stocks, M. E. Alexander, R.S.McAlpine et al. Canadian Forestry service, 1987. 500 p.
25. Нестеров В.Г. Горимость леса и методы ее определения. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1949. 76 с.
26. Вонский С.М., Жданко В.А. Принципы разработки метеорологических показателей пожарной опасности в лесу (Методические рекомендации) / Л.: ЛенНИИЛХ, 1976. 47 с.
27. Alexander M.E., Lawson B.D., Stocks B.J., Van Wagner C.E. User guide to the Canadian Forest Fire Behaviour Prediction System: rate of spread relation-ships / Canadian Forest Service Fire Danger Group, 1984. 73 p.
28. Burgan R.E., Rothermel R.C. Behave: fire behaviour prediction and fuel modeling system — fuel subsystem / USDA Forest Service. General Technical Report INT-167. 1984. 126 p.
29. Курбатский Н.П. Техника и тактика тушения лесных пожаров. М.: Гослес-бумиздат, 1962. 154 с.
30. Баранов Н.М. Влияние сезонного развития травостоя на пожарное созревание лесных участков в горах Хамар-Дабана // Моделирование в охране лесов от пожаров / ИЛИД СО АН СССР. Красноярск, 1979. С. 86—89.

31. Софронов М.А. Лесные пожары в горах Алтая // Вопросы лесной пирологии / ИЛиД СО АН СССР. Красноярск, 1970. С. 241—272.
32. Конев Э.В. Физические основы горения растительных материалов. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1977, 239 с.
33. Яковлев А.П. Пожароопасность сосновых и лиственничных лесов // Лесные пожары в Якутии и их влияние на природу леса. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1979. С. 195—213.
34. Шешуков М.А., Нешатаев В. В., Найкруг И. Б. Некоторые принципы составления планов противопожарного устройства // Лесное хозяйство. 1973. № 6. С. 48—53.
35. Шешуков М.А. Биоэкологические и зонально-географические основы охраны лесов от пожаров на Дальнем Востоке. Автореф. дисс. ... д-ра с.-х. наук. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1988, 46 с.
36. Гришин А.М., Сеницын С.П., Акимова И.В. Сравнительный анализ термокинетических постоянных сушки и пиролиза лесных горючих материалов // Физика горения и взрыва. 1991. Т. 27, № 6. С. 17—24.
37. Фурьев В.В. Пожары в тайге Кетъ-Чулымского междуречья // Вопросы лесной пирологии / ИЛиД СО АН СССР. Красноярск, 1970. С. 273—320.
38. Диченков Н.А. Географичность запасов лесных горючих материалов // Лесохозяйственная информация. 1992. Вып. 257. С. 156—160.
39. Волокитина А.В. Пирологическая оценка типов леса красноярского приангарья // Лесные пожары и борьба с ними / ВНИИЛМ. М., 1987. С. 104—116.
40. Волокитина А.В., Ноженкова Л.Ф., Софронов М.А., Назимова Д.И. Прогноз чрезвычайных ситуаций при пожарах растительности вблизи населенных пунктов // Сопряженные задачи механики и экологии: Мат-лы международной конференции. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2000. С. 39—48.
41. Валендик Э.Н., Матвеев П.М., Софронов М.А. Крупные лесные пожары. М.: Наука, 1979. 198 с.

42. Курбатский Н.П. Терминология лесной пирологии // Вопросы лесной пирологии / ИЛИД СО АН СССР. Красноярск, 1972. С. 171—231.
43. Van Wagner С.Е. Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System / Petawawa. Canadian Forest Service. Technical report 35. Ontario, 1987. 37 p.
44. Валендик Э.Н., Косов И.В. Влияние теплового излучения лесного пожара на окружающую среду // Сибирский экологический журнал. – 2008. – № 4. – С. 517-523.
45. Fraser R.H., Li Z. Remote Sensing of Environment, 82, 95 (2002)
46. Курьянова Т.К., Платонов А.Д., Косиченко Н.Е., Оценка состояния древостоев после лесного пожара, Научный журнал КубГАУ, №70(06), 2011 г, 11 с.
47. Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Аддитивные схемы для задач математической физики. – М.: Наука, 2001. – 320 с.
48. Видяев И.Г. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014.
49. Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. — 73 с.
50. Электронный ресурс: прайс-лист фирмы DNS, режим доступа <http://www.dns-shop.ru>.
51. Электронный ресурс: прайс-лист фирмы Комус, режим доступа: <http://www.komus.ru/catalog>.
52. Электронный ресурс: прайс-лист фирмы OffMeb, режим доступа: <http://offmeb.ru/>.

53. Электронный ресурс: офиц.сайт интернет-магазина программного обеспечения AllSoft, режим доступа: <https://allsoft.ru/software/vendors/embarcadero/delphi-2010/>.
54. Электронный ресурс: офиц.сайт компании «АйТи Прогресс», режим доступа: <http://itprogress.ru/products/microsoft/office/2007/>.
55. Еремеева Л.Э. Дипломное проектирование. Экономический раздел [Электронный ресурс]: метод.пособие по вып. эконом. раздела дипломного проектирования: самост. учеб. электрон. изд. / Еремеева Л.Э. ; Сыкт. лесн. ин-т. – Электрон.дан. (1 файл в формате pdf : 1,2 Мб). – Сыктывкар : СЛИ, 2010. — Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com>.
56. Электронный ресурс: тарифы на электроэнергию в Томске и Томской области, режим доступа: http://energovopros.ru/spravochnik/elektrosnabzhenie/tarify-na-elektroenergiju/tomskaya_oblast/39310/.
57. Назаренко О.Б. Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех направлений и специальностей ТПУ // Томск: Изд. ТПУ, 2008. — 20 с.
58. Экономика предприятия: Учебник для вузов /Под ред.проф. В.Я. Горфинкеля, проф. В.А. Швандара. — 4-е изд., перераб. и доп. - М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2007. — 670 с.
59. Гольдштейн Г.Я. Стратегический инновационный менеджмент: Учебное пособие. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004. — 267 с.
60. Валендик Э.Н. Тепловое излучение лесных пожаров и возможное воздействие его на древостой: Научно-практический журнал "Хвойные бореальной зоны"/ Валендик Э.Н., Косов И.В., 2008. — №1-2— с. 88-92.
61. ArkhangelskiyA.Ya. Programming in Delphi for Windows: versions 2006, 2007, Turbo Delphi. - Moscow: Binom, 2010. — 1239 P.
62. Валендик Э.Н., Косов И.В. Влияние теплового излучения лесного пожара на окружающую среду // Сибирский экологический журнал. — 2008. — № 4. — С. 517-523.

63. Видяев И.Г. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014.
64. Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. — 73 с.
65. Электронный ресурс: прайс-лист фирмы DNS, режим доступа <http://www.dns-shop.ru>.
66. Электронный ресурс: прайс-лист фирмы Комус, режим доступа: <http://www.komus.ru/catalog>.
67. Электронный ресурс: прайс-лист фирмы OffMeb, режим доступа: <http://offmeb.ru/>.
68. Электронный ресурс: офиц.сайт интернет-магазина программного обеспечения AllSoft, режим доступа: <https://allsoft.ru/software/vendors/embarcadero/delphi-2010/>.
69. Электронный ресурс: офиц.сайт компании «АйТи Прогресс», режим доступа: <http://itprogress.ru/products/microsoft/office/2007/>.
70. Еремеева Л.Э. Дипломное проектирование. Экономический раздел [Электронный ресурс] : метод.пособие по вып. эконом. раздела дипломного проектирования: самост. учеб. электрон. изд. / Л. Э. Еремеева ; Сыкт. лесн. ин-т. – Электрон.дан. (1 файл в формате pdf : 1,2 Мб). – Сыктывкар : СЛИ, 2010. — Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com>.
71. Электронный ресурс: тарифы на электроэнергию в Томске и Томской области, режим доступа: http://energovopros.ru/spravochnik/elektrosnabzhenie/tarify-na-elektroenergiju/tomskaya_oblast/39310/.
72. Назаренко О.Б. Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов

дневного и заочного обучения всех направлений и специальностей ТПУ
// Томск: Изд. ТПУ, 2008. — 20 с.

73. Экономика предприятия: Учебник для вузов /Под ред.проф. В.Я. Горфинкеля, проф. В.А. Швандара. — 4-е изд., перераб. и доп. - М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2007. — 670 с.
74. Гольдштейн Г.Я. Стратегический инновационный менеджмент: Учебное пособие. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004. — 267 с.
75. ГОСТ 12.2.032–78 ССБТ. «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».
76. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
77. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий».
78. СанПиН 2.2.4.548-96. «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
79. ГОСТ 30494-2011. «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».
80. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».
81. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».
82. ГОСТ 12.0.002-2003. «Система стандартов безопасности труда. Термины и определения».
83. ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ. «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».
84. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ «Пожарная безопасность».
85. СНиП 21-01-97. «Пожарная безопасность зданий и сооружений».
86. СНиП 2.01.02-85. «Строительные нормы и правила. Противопожарные нормы».

87. EL-Gamily I.H., Selim G., Hermas E.A. Wireless mobile field-based GIS science and technology for crisis management process: A case study of a fire event, Cairo, Egypt // The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences. 2010. Vol. 13, p. 21–29.
88. Vakalis D., Sarimveis H., Kiranoudis C.T., Alexandridis A., Bafas G. A GIS based operational system for wildland fire crisis management II. System architecture and case studies // Applied Mathematical Modelling. 2004. Vol. 28, p. 411-425.
89. Zhang Z.X., Zhang H.Y., Zhou D.W. Using GIS spatial analysis and logistic regression to predict the probabilities of human-caused grassland fires // Journal of Arid Environments. 2010. Vol. 74, p. 386-393.
90. Эзау К. Анатомия семенных растений. Москва: Изд-во Мир, 1980, 282 С.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Mathematical modeling of heat regimes of forest fires on the trunk of a pine tree

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ4В	Андреева Ксения Николаевна		

Консультант кафедры ТПТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Крайнов А.В.	к.т.н.		

Консультант – лингвист кафедры ИЯЭИ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Буран А.Л.	к.п.н.		

Introduction

Forest fires are a phenomenon quite usual for most of the Russian Taiga; they are of great importance in the forest of life. A fire is a powerful environmental factor that modifies the environment, but fires do not always cause burning of the forests.

The immediate impact of fire on forest stand is most often seen in the application of fire damage. A fire causes damage or death of trees or weakening them, so that the trees are quickly becoming the victim of harmful insects and fungi. Finally, the fire injured cause anatomical changes in the trees and not only weakening, but also enhances their growth and fruiting.

As a result of fire exposure, trees receive various injuries which occur in the form of:

1. Trunk burns;
2. Burns and burns of the roots;
3. Crown burns.

Exposure to ground fire in the trees is often limited to a superficial burn or opal bark that can be painless for the tree, if the fire is not affected by the cambium. The cambium is very sensitive to even a relatively small increase in temperature. The external sign of necrosis of the cambium is its browning. According to the literature, when heated to 57°C kills the cambium. Dieback of large areas of the cambium at the barrel of a circle or the root can lead to shrinkage of wood.

Since experimental studies are a challenge due to Togo, that the degree and type of damage to trees depends not only on the characteristics of a forest fire, but also determined pyrological characteristics of each breed and planting them as a whole. Rational is to study the influence of thermal conditions on woody plants using the methods of numerical simulation.

The aim of this work is a numerical modeling of heat transfer processes in a layered structure of pine tree trunk when exposed to heat radiation from the front of a forest fire.

Scientific innovation

A new deterministic mathematical model as opposed to statistical and analytical models represented as a system of non-stationary heat conduction differential equations with a three-layer structure of a coniferous tree was developed. No similar model to determine the conditions of pine tree trunk thermal damage to the radiant heat flow is detected by a forest fire in front of the Russian and world literature. A software implementation of a mathematical model, which can be used in new systems geomonitoring forests, has been developed.

Theoretical and practical significance of the research

The study developed a mathematical model of heat transfer in a pine tree trunk. The development of these models offers the prospect of creating more sophisticated mathematical models for predicting forest fire conditions and fire situations. The results can be used in the development of information systems geomonitoring forests.

The current state of the field of study

Every year, forest fires in various regions of Russia destroy the State Forest Fund, pollute the atmosphere and lead to loss of life and damage in rural areas.

The ecological system of the Russian Federation forest covers 1.2 billion hectares and contains about 25% of the forest resources of the entire planet. Global processes of the state of environmental management, biodiversity, climate, river flow significantly affected the Russian forests.

Heat and smoke emissions from large forest fires are changing the dynamics of the atmosphere, the processes of the circulation of air masses, and thus, the weather conditions in certain regions. The intense and prolonged smokiness from forest fires pose serious health threats.

Among the most toxic during the forest fires are oxide and carbon dioxide, hydrocarbons, ammonia, smoke particles. The annual release of ammonia during forest fires is from 0.5 to 12 billion tons of carbon monoxide - 80 million tons of solid aerosols 35-60 million tones.

Besides global influence on climate of Earth as a result of action of the natural fires there are regional accidents, for example, the mass city fires (Los Alamos, the USA, May, 2000), catastrophic smoke of huge territories, including Moscow in the fall of 2002 as a result of burning of peat bogs in the territory of the Moscow region, and also the numerous local fires in settlements and in the warehouses of wood located in the territories captured by wildfires.

Tomsk region, especially its northern part, is fairly typical of the forested area of the boreal forest zone. According to Tomsk base of aviation protection of forests for the period 1993-2002 gg. 2363 forest fire incidents were reported. Annually in the region occurs from 55 to 350 fires.

Definitions of a forest fire are different. For example, a forest fire is called the phenomenon of uncontrolled multistage burning in the open space of the square, in the framework of forest-covered which occur interrelated processes of convective and radiative energy transfer, heating, drying and pyrolysis forest fuel materials, and the burning of gas and afterburning condensed pyrolysis products forest fuel materials. A simpler definition of a forest fire: the burning of vegetation, spreading spontaneously in the forest area.

The wildfires which have extended on significant areas are considered as large. Such fires in most cases arise during the drought periods, windy weather and usually has the mixed character, on separate sites both the riding and local fires extend.

The scale of impact of wildfires on the biosphere of Earth undoubtedly refers them to the global phenomena. Natural fires important ecological factor of dynamics of his forest cover. They considerably influence a biodiversity, age structure of forest

stands, a ratio of types, streams of energy and biogeochemical cycles in forest ecosystems.

Forest fires are divided into the grass-roots, house-riding, top crown, underground (peat) and mass. When ground fires burned ground cover. When an epidemic riding and ground cover, and the trees. Only the trees are lit at the apex of upland. Underground fires are characterized by the presence of the combustion chamber in the thickness of the layer. Massive forest fires occur in accidents, air nuclear explosion.

The intensity of forest fires is divided into weak, medium and strong. The intensity depends on the state of combustion and the combustible material stock, terrain slope, the time of day and wind forces.

The most dangerous type of fires is riding. They account for 70% of the area burned. It should be noted that there is still not fully understood the mechanisms and conditions of different types of forest fires. Extinguishing fires require a lot of effort and resources and in most cases is ineffective or impossible.

Statistically the local fires about the country prevail on number and the area. The riding and underground (peat) fires happen seldom.

A feature of the forests of the Tomsk region is the presence of a combustible material in all plantations. In the developed primarily ground fires (98,5%), the share of crown fires account for 1,1% of accidents and 12,5% of area burned, even more rarely occur underground fires. The proportion of fires anthropogenic reasons over the years is quite stable and fires from lightning are cyclical in nature. Periods with mass thunderstorms are replaced by calmer ones. Forests burn area varies considerably and the monthly fire season. The most "burn" months - June and July. The duration of the fire season due to weather conditions ranging from 137 to 161 days.

The causes of forest fires are caused not only weather conditions, the type of forest vegetation and moisture content of forest fuel. Statistics show that up to 90% of forest fires are caused by human error, and 10% - from dry thunderstorms.

Last decades, forest fires have turned from the natural regulating factor to the catastrophic phenomenon which causes an economic, ecological and social damage [1]. There is their damage, fragmentation, destruction as a result of influence of forest fires on forest stands [2,3]. Development of fire impact (influence on forest ecosystems, especially, on forest stands) monitoring and forecasting technologies is a prominent aspect along forecasting of forest fire danger [4].

Now the overwhelming majority of papers devoted to the analysis of an actual statistical material on forest fire incidents and their ecological consequences [5,6]. However, development of information systems of forest stands geoecological monitoring of active forest fires on the basis of physically proved mathematical models of heat transfer in the structure of the trees [7,8] forming a forest stand can become one of perspective directions.

Forest fires are directly and indirectly affecting the health of the population. The consequence of the damaging forest fire factors is the emergence and exacerbation of various diseases. Air quality, containing smoke particles and gaseous compounds from forest fires is a factor that increases the risk of mortality and affects the occurrence of chronic obstructive pulmonary disease.

An important consequence is the environmental impact of fires on carbon stock in forest ecosystems and the carbon balance of the atmosphere. Forest fires are a source not only of direct carbon emissions during combustion, but also cause a fire after the issue arising from the decomposition of vegetation damaged by fire. Carbon emissions from fires varies according to biomes; for example, on the fires in the savannas and grasslands account for about 50% of annual emissions, and for tropical fires (about 38%) and fires in temperate and boreal forests (about 6% each).

At present, the probability of occurrence of natural and man-made disasters, acts of terrorism, local conflicts, further underlines the importance of the problem in this paper.

Physical and Mathematical Statements

The research objective can be reached by the decision of following problems:

1. The formulation of physical model;
2. Development of mathematical model;
3. Numerical research of mathematical model.

The mathematical model developed taking into account following assumptions and suggestions. Separately standing tree of coniferous breed (for definiteness a pine) is considered. Only tree trunk under consideration and presence of branches not considered. The trunk accepted by a three-layer structure, which consist of the bark, subcrustal layer and core. Thermophysical characteristics of a material of layers do not depend on temperature. Influence of moisture evaporation from external layers and inside the trunk was neglected. Geometry of decision area presented in fig. A.1.

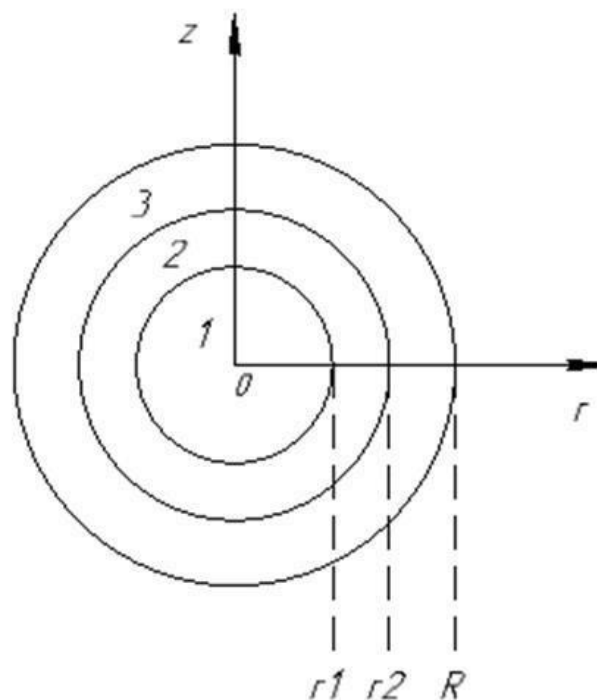


Figure A.1. - The scheme of decision area.

Heat transfer processes in layered structure of a tree described by the non-stationary differential equations of heat conductivity with corresponding initial and boundary conditions:

$$\rho_1 c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \frac{\lambda_1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_1}{\partial r} \right) + \frac{\lambda_1}{r^2} \frac{\partial^2 T_1}{\partial \varphi^2} - q_p \rho k \varphi_4 \exp\left(-\frac{E}{RT_1}\right)$$

$$\rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \frac{\lambda_2}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_2}{\partial r} \right) + \frac{\lambda_2}{r^2} \frac{\partial^2 T_2}{\partial \varphi^2} - q_p \rho k \varphi_4 \exp\left(-\frac{E}{RT_2}\right)$$

$$\rho_3 c_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = \frac{\lambda_3}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_3}{\partial r} \right) + \frac{\lambda_3}{r^2} \frac{\partial^2 T_3}{\partial \varphi^2} - q_p \rho k \varphi_4 \exp\left(-\frac{E}{RT_3}\right)$$

$$\rho_1 \frac{\partial \varphi_4}{\partial t} = -k \rho \varphi_4 \exp\left(-\frac{E}{RT_1}\right)$$

$$\rho_2 \frac{\partial \varphi_4}{\partial t} = -k \rho \varphi_4 \exp\left(-\frac{E}{RT_2}\right)$$

$$\rho_3 \frac{\partial \varphi_4}{\partial t} = -k \rho \varphi_4 \exp\left(-\frac{E}{RT_3}\right)$$

$$\sum_4^5 \varphi_i = 1$$

$$r = R, \quad \varphi \in \left(\frac{\pi}{6}; \frac{\pi}{3}\right) \quad -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} = q_{ff}$$

$$r = 0 \quad \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} = 0$$

$$\varphi = 0 \quad \lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial \varphi} = 0$$

$$\varphi = \pi \quad \lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial \varphi} = 0$$

$$r = r_1: \quad -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r}$$

$$npu \quad T_1 = T_2$$

$$r = r_2: -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r}$$

$$npu \quad T_2 = T_3$$

Where T_i ρ_i c_i λ_i – temperature, density, thermal capacity and heat conductivity of tree layers (1 – core, 2 – subcrustal layer, 3 – bark). r – spatial coordinates. t – time coordinate, q_{ff} – radiant thermal flux from the forest fire front.

The problem solved by method of final differences. The multidimensional differential equations solved by a locally-one-dimensional method. The marching method used for the decision of finite difference analogues of equations [9]. Data of experimental fires, which were spent by employees of Institute of forest of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science in vicinities of Krasnoyarsk, used for development of the basic scenarios of influence of a radiant thermal flux from the forest fire front. Dependence [10] used for an estimation of the value of the thermal flux from the forest fire front:

$$y = 326,37 e^{0.2791x}$$

Where x – distance to a fire edge, m.

y – density of a thermal flux, kW/m².

Results

The one-dimensional mathematical model allows developing the resource effective algorithm for program realization. Verification of one-dimensional problem spent using in the present work of flat statement in polar coordinates. Heat transfer processes calculation using one-dimensional model occurs in a mode advancing real time of development of the process. It allows saying, that the one-dimensional mathematical model has prospects for use in modern information systems. Temperature distributions in layered structure of tree trunk to the various moments of time presented in fig. A.2 – A.4.

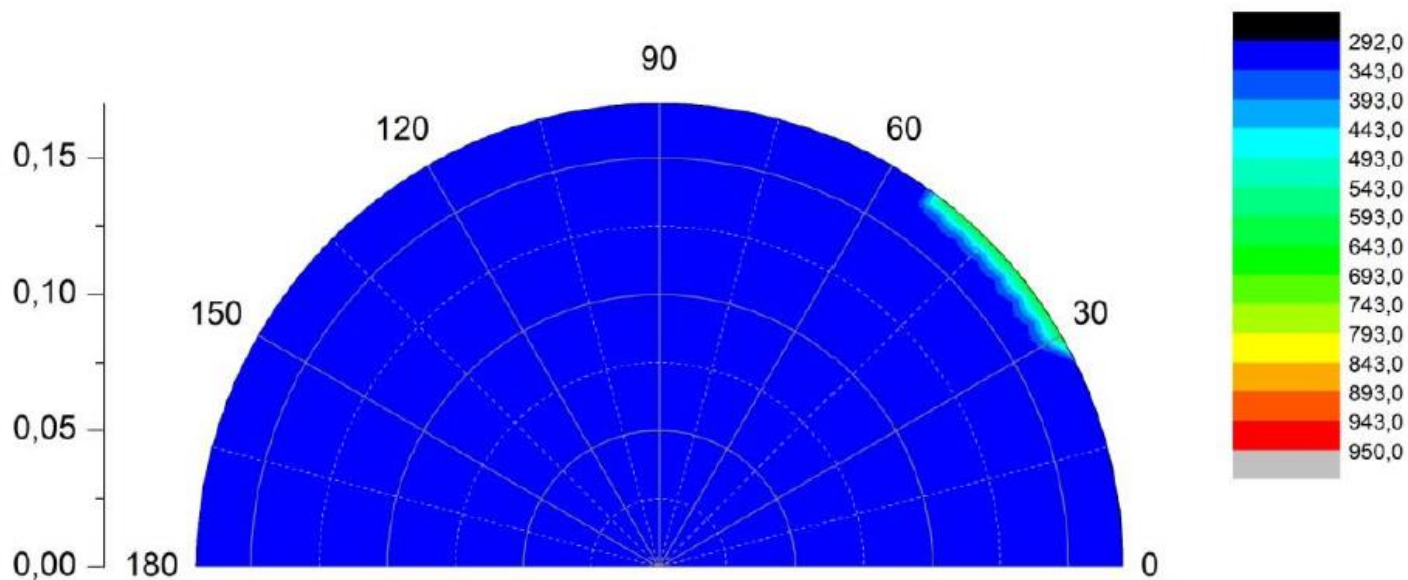


Figure A.2. – Distribution of temperature in a layered structure of conifer tree at time $t=150$ s.

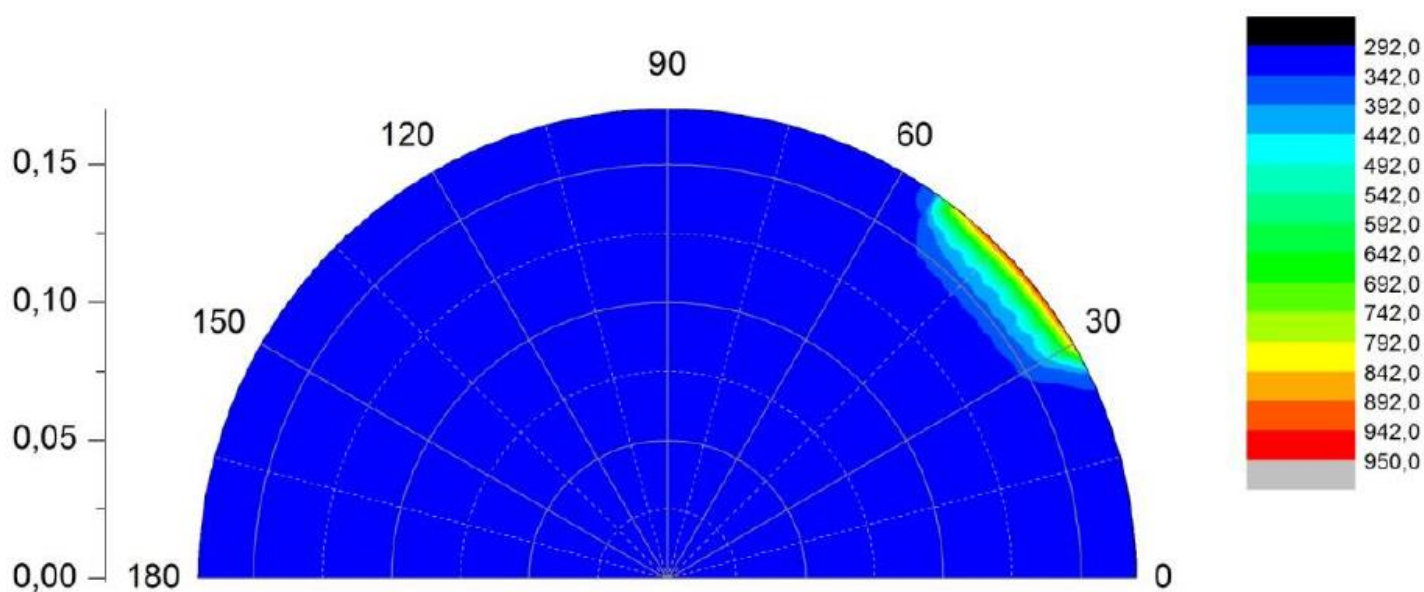


Figure A.3. – Distribution of temperature in a layered structure of conifer tree at time $t=400$ s.

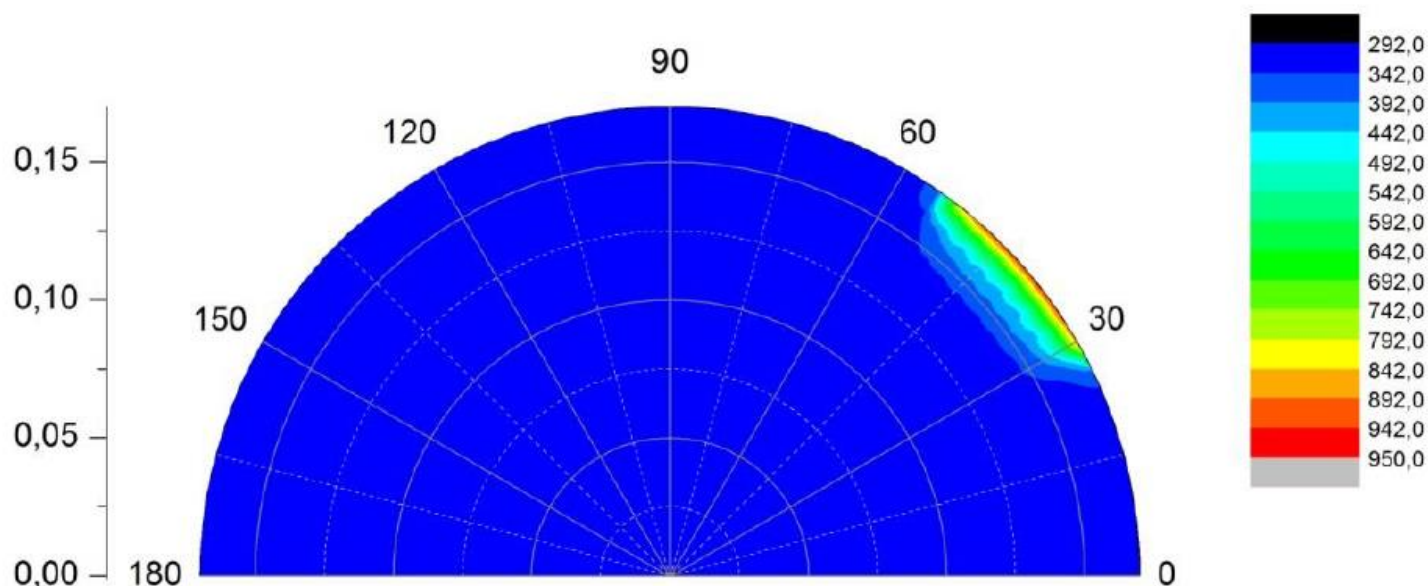


Figure A.4. – Distribution of temperature in a layered structure of conifer tree at time $t=600$ s.

The analysis of the obtained distributions, allows to ascertain, that eventually there is an intensive warming up, as bark layer, and as a subcrustal zone of coniferous tree trunk at the influence of radiation from the forest fire front. In the present work short-term enough influence of radiation from the forest fire front (some minutes) on a tree trunk was accepted. This assumption corresponds to the real scenario of behavior of forest fire and the characteristic speeds of distribution of a forward edge of a forest fire on a large forest with coniferous trees. Data on conditions of thermal defeat of coniferous tree trunk in the subcrustal zone is presented in tables A.1, A.2. The analysis of tables allows drawing the conclusion, that longer influence of radiation from forest fire leads to thermal defeat of the subcrustal zone at smaller distances from a fire and density of thermal radiation. Logical the conclusion serves that fact, that advancement of an edge of a forest fire on a shorter distance from a concrete tree raises the probability of a thermal trauma of this tree. The quantitative analysis shows, that at the short-term influence (to 250 s) the critical distance from a fire edge makes 6 meters and less. While at longer influence thermal defeat is possible already at a distance of 8-10 meters from a forest fire edge. In both cases, thermal defeat of tree trunk tissues accompanied by pyrolysis of material of the subcrustal zone. In a consequence, it is possible drying and mortality of such trees. It

is necessary to notice, that is necessary to carry out in more details research of heat transfer at rather not high and average values of the density of a thermal flux from the fire front. Also, it is possible to expect, that thermal damage to a reality will be characteristic for greater quantities of trees, rather than what can be defined on satellite data of a high resolution (burnt contours) [11,12].

Table A.1. – Conditions of thermal defeat of a tree trunk at influence time $t=250$ with. Surface forest fire of high intensity [10].

Number of computing experiment	Distance from an edge of a fire to a tree, m	Value of a radiant thermal flux, kW/m ²	Pyrolysis of wood in subcrustal zone	Thermal defeat of a tree
1	12	11,46	no	no
2	8	35	no	no
3	6	61,16	yes	yes
4	4	106,87	yes	yes
5	2	186,76	yes	yes

Table A.2. – Conditions of thermal defeat of a tree trunk at influence time $t=500$ with. Surface forest fire of high intensity [10].

Number of computing experiment	Distance from an edge of a fire to a tree, m	Value of a radiant thermal flux, kW/m ²	Pyrolysis of wood in subcrustal zone	Thermal defeat of a tree
1	12	11,46	no	no
2	8	35	yes	yes
3	6	61,16	yes	yes
4	4	106,87	yes	yes
5	2	186,76	yes	yes

Conclusion

Thus, the two-dimensional mathematical model of thermal influence of radiation from the forest fire front on coniferous trees developed. Research of heat transfer in the layered structure of a tree trunk at influence of local forest fire of high intensity on the basic laws carried out. As it has been mentioned above, the

development of similar models opens prospects for the creation of a new generation of information systems on the basis of the determined mathematical models. The development of the complex deterministic probabilistic approach of an estimation of ecological consequences of forest fires with attraction of results from prognostic modeling of forest fire danger [13-15], mathematical models of influence of forest fires on the human [16,17] and modern information technologies [18,19] is possible.

References

1. Byram G.M. *Combustion of forest fuels//Forest fire control and use* (Ed. K. P. Davis, 1959)
2. Laurance W.F., Delamonica P., Laurance S.G., Vasconcelos, H., Lovejoy T.E., *Nature*, 404, 836 (2000).
3. Mesquita R.C.G., Delamonica P., Laurance W.F. *Biological Conservation*, 91, 129 (1999)
4. Yankovich, E.P., Baranovskiy, N.V., Yankovich, K.S. *ArcGIS for assessment and display of the probability of forest fire danger, IFOST 2014*, 222 (2014)
5. Barlow J., Peres C.A. *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological sciences*, 359, 367 (2004)
6. Uhl C., Kauffman J.B. *Ecology*, 71, 437 (1990)
7. Kuznetsov G.V., Baranovsky N.V. *EPJ Web of Conferences*, 76, 01028 (2014)
8. Kuznetsov G.V., Baranovsky N.V., Barakhnin V.B. *EPJ Web of Conferences*, 82, 01019 (2015)
9. Samarskiy A.A., Nikolaev E.S. *Method of the decision of the mesh equations* (1978) (In Russian)
10. Valendik E.N., Kosov I.V. *Siberian Ecological Journal*, 6, 517 (2008) (In Russian)
11. Fraser R. H., Li Z. *Remote Sensing of Environment*, 82, 95 (2002)
12. Zhang Y.-H., Wooster M. J., Tutubalina O., Perry G. L. W. *Remote Sensing and Environment*, 87, 1 (2003)
13. Grishin A.M., Baranovskii N.V. *Inzhenerno-Fizicheskii Zhurnal*, 76, 166 (2003)

14. Baranovskii N.V., Ni A.E. Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 87, 1438 (2014)
15. Baranovskiy N.V., Nee A.E. EPJ Web of Conferences, 82, (Paper 01004) (2015)
16. Korobkina D.V., Baranovskiy N.V. MATEC Web of Conferences, 19, (Paper 01035) (2014)
17. Baranovskiy N.V., Solodkin A.S. MATEC Web of Conference, 23, (Paper 01008) (2015)
18. Baranovskiy N.V., Yankovich E.P. Journal of Automation and Information Sciences, 47, 11 (2015)
19. Baranovskiy N.V. Cybernetics and Systems Analysis, 51, 471 (2015)