

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

Инженерная школа энергетики

Отделение/НОЦ Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

Направление подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль Теплообменные процессы и установки

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НИЗОВОГО ЛЕСНОГО ПОЖАРА НА ФРАГМЕНТ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ ДЕРЕВА</b>
УДК 630.43:630.416.3-026.653

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ6В	Заковряшин Дмитрий Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	Н.В. Барановский	к.ф.-м.н., доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент Отделения контроля и диагностики	М.В. Василевский	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель Отделения социально- гуманитарных наук	Н.Г. Кузьмина			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель Отделения/НОЦ/ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель профиля	Б.В. Борисов	д.ф.-м.н., профессор		

## Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>Профессиональные компетенции</b>	
<i>расчетно-проектная и проектно-конструкторская деятельность:</i>	
P1	применять передовые знания и достижения для формулирования заданий на разработку проектных решений, проектировать инновационные теплоэнергетические и теплотехнические системы и оборудование, разрабатывать проектные решения, связанные с модернизацией технологического оборудования
<i>производственно-технологическая деятельность:</i>	
P2	интегрировать знания различных областей для разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства, обеспечению экономичности, надежности и безопасности эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования
P3	применять современные методы и средства практической инженерной деятельности в теплоэнергетике, теплотехнике и теплотехнологиях, автоматизированных систем управления технологическими процессами
<i>научно-исследовательская деятельность:</i>	
P4	применять глубокие знания для планирования и постановки задачи инновационного инженерного исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки, применять инновационные методы исследования, проводить исследования, критически интерпретировать, публично представлять и обсуждать результаты научных исследований
<i>организационно-управленческая деятельность:</i>	
P5	руководить коллективом специалистов различных направлений и квалификаций, действовать в нестандартных ситуациях, принимать организационно-управленческие решения и нести за них ответственность при организации работ, в том числе по осуществлению надзора при изготовлении, монтаже, наладке, испытаниях и сдаче в эксплуатацию установок, систем и оборудования
P6	применять знания нетехнических ограничений инженерной деятельности, разрабатывать мероприятия по безопасности жизнедеятельности персонала и населения, предотвращать экологические нарушения
<i>педагогическая деятельность:</i>	
P7	осуществлять педагогическую деятельность в области профессиональной подготовки
<b>Универсальные компетенции</b>	
P8	мыслить абстрактно, обобщать, анализировать, систематизировать и прогнозировать, принимать решения в сложных инженерных задачах с технической неопределенностью и недостатком информации
P9	использовать творческий потенциал, саморазвиваться, самореализовываться
P10	использовать иностранный язык для эффективного взаимодействия в профессиональной сфере

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

---

Инженерная школа энергетики

Отделение/НОЦ Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

Направление подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль Теплообменные процессы и установки

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель профиля  
Б.В. Борисов

\_\_\_\_\_  
(Подпись)

\_\_\_\_\_  
(Дата)

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

В форме:

<b>магистерской диссертации</b>
(бакалаврской работы, /работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
<b>5БМ6В</b>	<b>Заковряшин Дмитрий Александрович</b>

Тема работы:

<b>Математическое моделирование теплового воздействия низового лесного пожара на фрагмент корневой системы дерева</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	
<i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объект исследования – корень дерева, подверженного воздействию низового лесного пожара. Предмет исследования – процесс теплопереноса в системе корень – почва – ЛГМ – воздух.

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Обзор и анализ литературы и научных публикаций по направлению исследования физических процессов в керамических заготовках.</p> <p>Формулирование математической модели и выбор метода ее численной реализации.</p> <p>Верификация программы</p> <p>Проведение численного моделирования.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>30 слайдов</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p><b>Финансовый менеджмент</b></p>	<p>М.В. Василевский, доцент</p>
<p><b>Социальная ответственность</b></p>	<p>Н.Г. Кузьмина, старший преподаватель</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p> <p>1.1 Характеристика лесных пожаров (Characteristics of forest fires)</p> <p>1.2 Процессы термического разложения древесины и лесных горючих материалов (Processes of thermal decomposition of wood and forest combustible materials)</p> <p>1.3 Системы геомониторинга лесных массивов (Geomonitoring systems for forest areas)</p> <p>1.4 Выводы по результатам аналитического обзора литературы (Conclusions from the analytical review of literature)</p>	

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ</p>	<p>Н.В. Барановский</p>	<p>к.ф.-м.н., доцент</p>		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p><b>5БМ6В</b></p>	<p><b>Заковряшин Д.А.</b></p>		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 104 с., 32 рис., 6 табл., 45 источников литературы, приложения 17 с.

Ключевые слова: математическое моделирование, теплопроводность, корень дерева, лесной пожар, повреждение корня, пожарная опасность.

Объектом исследования является корень дерева, подверженного воздействию низового лесного пожара.

Цель работы является исследование процессов теплопереноса в системе корень-почва-ЛГМ-воздух, во время лесного пожара.

В результате исследования разработаны и численно исследованы математические модели теплопереноса в системе корень-почва-ЛГМ-воздух, получены распределения температуры и зависимости, позволяющие прогнозировать повреждение корня дерева при различных условиях.

Основные технологические характеристики: программные реализации моделирования процесса теплопереноса в системе корень-почва-ЛГМ-воздух, выполнены в программной среде PascalABC.

Область применения: прогнозирование отпада древостоев, подверженных воздействию низового лесного пожара.

Экономическая значимость: сокращение экономических последствий низового лесного пожара, за счет определения степени опасности теплового воздействия на корневую систему дерева и своевременного прогнозирования отпада древостоев.

## Оглавление

Реферат .....	5
Введение .....	7
1. Обзорная глава.....	7
2. Объект и метод исследования.....	37
3. Результаты исследования .....	40
3.1. Численное исследование задачи о теплопереносе в системе корень – почва – ЛГМ – воздух в одномерной постановке .....	40
3.2. Численное исследование задачи о теплопереносе в системе корень – почва – ЛГМ – воздух с движением фронта пламени .....	44
3.3. Численное исследование задачи о теплопереносе в системе корень – почва – ЛГМ с движением фронта пламени и учетом конвективного теплопереноса.....	50
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	58
5. Социальная ответственность.....	65
Заключение.....	80
Список использованных источников.....	83
Приложение А.....	87

## **Введение**

Анализируя события последних десятилетий можно говорить о том, что лесные пожары превратились из природного регулирующего фактора в катастрофические явления, ведущие к экологическому, экономическому и социальному ущербу. Повышенные температуры лесных пожаров оказывают негативное влияние на лесные древостои, приводя к их повреждению и даже гибели [1]. В настоящее время существует масса работ посвященных прогнозированию лесной пожарной опасности на основе статистических данных о лесных пожарах. Помимо прогнозирования лесной пожарной опасности чрезвычайно важным является развитие вычислительных систем геоэкологического мониторинга лесных массивов, подверженных воздействию лесных пожаров, основанием которых должны стать физически содержательные математические модели теплопереноса [2].

### **1. Обзорная глава**

#### **1.1. Характеристика лесных пожаров**

В настоящее время существует множество вариантов классификации лесных пожаров. В данной работе будет использоваться более простая классификация с разделением на три вида (низовые, верховые и торфяные) и два подвида (устойчивые и беглые) [3].

Для первого вида лесных пожаров (низового) характерно распространение по напочвенному покрову. Горит при этом лесной опад, который состоит из небольших веток, хвои, листьев, коры; лесная подстилка; напочвенный покров из мхов, лишайников и трав; подлесок, самосев и всходы растений, кора нижних частей древесных стволов, порубочные остатки и прочие горючие материалы, которые находятся на поверхности почвы [4].



Рисунок 1 – Низовой лесной пожар

По характеру горения и скорости распространения огня низовые пожары разделяют на два вида: устойчивые и беглые. Беглый низовой пожар обычно развивается в весенний период, когда высох только верхний слой ЛГМ напочвенного покрова. Скорость его распространения довольно велика – 300-600 м/ч – и прямо пропорциональна скорости ветра в приземном слое воздуха. Для беглых низовых пожаров характерен осенний период, когда ночью наблюдаются отрицательные, а днем – положительные температуры воздуха, из-за этого происходит быстрое высыхание травянистой растительности. Количество биомассы, сгораемой при беглых низовых пожарах незначительно, участки с высокой влажностью остаются не затронутыми, и площадь, пройденная огнем, имеет пятнистую структуру. Низовые пожары уничтожают подрост, всходы и подлесок, также обгорают кора нижней части деревьев. В некоторых случаях пожар может переходить и в верховой, что характерно для молодых хвойных насаждений с низкими кронами [4].

Для устойчивых низовых лесных пожаров характерно полное сгорание лесной подстилки и напочвенного покрова. Данный вид пожара обычно развивается в середине леса, когда просыхает по всей толщине подстилка. На пройденных устойчивым низовым пожаром участках полностью сгорает



подлесок, лесная подстилка, подрост, подлесок и валежник. Обгорают стволы и корни деревьев, насаждения серьезно повреждаются, а часть деревьев гибнет. Распространенным последствием устойчивых низовых пожаров является заражение поврежденных древостоев вторичными вредителями. Данные пожары на торфяных почвах могут перерасти в торфяные, а в многоярусных насаждениях и молодняках – и в верховые [4].

Нередко огонь устойчивого низового пожара несколько раз проходит по одной площади. В первую очередь сгорает поверхностный слой подстилки, после чего просушивается и сгорает нижний слой. Особую опасность представляют устойчивые низовые пожары для древостоев с поверхностной корневой системой, где возвращение пожара может привести к полной гибели уже ослабленного древостоя. При устойчивом пожаре скорость распространения огня варьируется от нескольких метров до 300 м/ч [4].

Устойчивый низовой пожар зачастую является второй стадией развития беглого. Низовой пожар начинается с возгорания верхнего легковоспламеняющегося слоя напочвенного покрова, распространяется на некоторую площадь, после чего углубляется в подстилку и становится устойчивым. Для данного вида пожара характерна вытянутая форма пожарища с неровной зигзагообразной кромкой по фронту продвижения огня [5].

Низовые лесные пожары являются самыми распространенными. Их количество составляет 97-98 %, площадь 87-89 % от всех зарегистрированных пожаров [5].

Верховые пожары чаще всего возникают и развиваются от низовых в древостоях с низкими кронами, в многоярусных хвойных с обильным подростом и в горных лесах.



Рисунок 2 – Верховой лесной пожар

Верховым пожарам наиболее подвержены хвойные молодняки на сухих почвах. В горной местности все хвойные насаждения, расположенные на перевалах или в верхней части крутых склонов, являются объектом возникновения верховых пожаров. Низовой пожар, быстро движущийся по склону, подсушивает и подогрывает кроны деревьев, расположенных выше, а при подходе к ним низового огня происходит в большинстве случаев вспышка кроны и возникновение верхового огня. Появлению и распространению этих пожаров в большой степени способствуют сильные ветры и засухи [6].

Число верховых пожаров и площадь, пройденная ими, значительно варьируются в зависимости от годовой синоптической ситуации. В среднем верховые пожары по количеству случаев составляют 1,5-2 %, а площадь, пройденная ими – 10-12 % от площади всех лесных пожаров.

Выделяют два вида верховых лесных пожаров – устойчивый (повальный) и беглый. Во время устойчивого пожара горение происходит одновременно во всех ярусах растительности. После такого пожара полностью гибнет насаждение, и остаются только обугленные стволы деревьев. Устойчивый верховой пожар распространяется со скоростью 300-600 м/ч, в некоторых случаях 4-5 км/ч [7].

Беглый верховой лесной пожар развивается только при сильном ветре. Обычно огонь распространяется по пологу древостоя. Это обуславливает

скачкообразный характер горения, так как выделившегося при обгорании крон тепла оказывается недостаточно для прогрева и просушки соседних крон. Прогрев полога в основном происходит за счет тепла низового пожара. При отсутствии этого подогрева прекращается горение в кронах. Когда низовой пожар пройдет площадь, на которой сгорели кроны, начинается прогрев и просушивание крон на соседнем участке, после чего происходит вспышка крон, и огонь распространяется по просушенному участку.

При горении крон возникает тепловая воздушная колонна (тепловой вихрь), с ее помощью хвоя, горящие веточки и искры поднимаются и разносятся на 200-300 м, тем самым создавая новые очаги пожаров. Во время скачка по кронам деревьев скорость распространения огня достигает 20-25 км/ч [7].

Для торфяного пожара характерно распространение огня в торфяном слое почв. Горят при этом слои торфа и гумуса. В результате корни древесных пород, находящиеся в них, сгорают или обгорают. Торфяной пожар способен развиваться в течение всего года. Как правило, причиной этого пожара является заглубление низового пожара в торфяную почву.



Рисунок 3 – Торфяной лесной пожар

При торфяном пожаре наблюдается беспламенное горение. Слой торфа прогорает по всей глубине залегания вплоть до минерального слоя или влажного горизонта почвы. Поверхностные слои торфа могут оставаться нетронутыми, а

под ними находятся горящие каверны глубиной 1,0-1,5 м. Данное обстоятельство очень затрудняет установление кромки пожара. Скорость распространения торфяного пожара сравнительно мала и составляет от нескольких сантиметров до нескольких метров в сутки. Торфяные пожары, как правило, возникают во второй половине лета и могут действовать до наступления весенних паводков. В среднем количество торфяных пожаров составляет 0,5-1 %, а пройденная огнем площадь – менее 1 % от площади всех зарегистрированных лесных пожаров [8].

## **1.2. Характеристика лесных массивов Западной Сибири**

Западная Сибирь занимает значительную территорию, протяженность которой с севера на юг составляет около 3000 км. В ее пределах сменяется ряд широтных природных зон: тундровая, лесотундровая, лесная, лесостепная, степная, а также низкогорные и горные районы Алтая, Салаира, Горной Шории и Кузнецкого Алатау [9].

Тундра занимает самую северную часть Тюменской области и имеет площадь около 160 тыс.кв.м. Данная область не имеет лесов [9].



Рисунок 4 – Тундра Западной Сибири

Лесотундра простирается на юг от тундры полосой около 100-150 км, является переходной зоной между тундрой и тайгой, представляет сочетание

участков редколесий, зарослей, кустарников, болот. Древесная растительность представлена редкими криволесьями лиственницы, расположенными по долинам рек [9].



Рисунок 5 – Лесотундра Западной Сибири

Лесная зона занимает пространство между 66 градусом и 56 градусом северной широты полосой около 1000 км. В эту зону входят средняя часть Тюменской области, северная часть Омской и Новосибирской областей, а также Томская область, занимая 62 % территории Западной Сибири. Лесную зону подразделяют на четыре подзоны: северная, средняя, южная тайга и березово-осиновые леса. Основным типом леса зоны является темнохвойный лес с преобладанием пихты, кедра и ели сибирской [10].

Лесостепная зона примыкает к подзоне лиственных лесов лесной зоны и отличается наличием и лесных, и степных растительных сообществ. Древесная растительность представлена осиново-березовыми и березовыми лесами, встречающимися островками или в виде колков, приуроченных к блюдеобразным понижениям, основной же фон образует степь [11].



Рисунок 6 – Лесная зона Западной Сибири



Рисунок 7 – Лесостепная зона Западной Сибири

Степная зона занимает юго-западную часть Новосибирской, южную часть Омской областей и западную часть алтайского края. В пределах зоны произрастают ленточные сосновые боры по ложбинам стоков ледниковых вод [11].



Рисунок 8 – Степная зона Западной Сибири

### 1.3. Строение корня дерева.

Большая часть жизненно важных корней как хвойных, так и лиственных деревьев представлена корнями вторичной формы роста. Вторичный рост корней, как и стеблей, заключается в образовании вторичных проводящих тканей из камбия и перидермы из феллогена.

Камбий образуется путем делений тех прокамбиальных клеток, которые остаются недифференцированными между первичной флоэмой и первичной ксилемой (рисунок 8, А-Г). Вначале камбий имеет вид полосок, число которых зависит от типа корня (рисунок 8, В). В диархном корне имеются две полоски, в триархном - три и т. д. Затем клетки перицикла, локализованные снаружи от выступов ксилемы, также проявляют камбиальную активность и в результате камбий полностью окружает массив ксилемы. Этот ранний камбий имеет такие же очертания, как и ксилема; в поперечном сечении линия камбия в диархном корне очерчивает овал, в триархном - образует треугольник и в полиархном - многоугольник. Камбий, локализованный на внутренней поверхности флоэмы, начинает функционировать раньше, чем его перициклическая часть. Вследствие формирования вторичной ксилемы напротив флоэмы камбий смещается

кнаружи, и в конце концов его очертания в поперечном сечении становятся округлыми (рисунок 8, Д) [12].

Периклиналильными делениями камбий образует клетки флоэмы и ксилемы, а с помощью антиклинальных делений увеличивается в окружности. Камбий, появляющийся на внутренней поверхности флоэмы, образует проводящие элементы и связанные с ними клетки ксилемы и флоэмы. Камбий, берущий свое начало в перицикле, образует в некоторых корнях лучевую паренхиму. Лучи появляются также в других частях вторичных тканей, но лучи, формирующиеся в перицикле напротив ксилемных выступов, часто бывают самыми широкими. В некоторых корнях широкие лучи не формируются и ксилема кажется довольно гомогенной. Образование перидермы следует за началом вторичного роста проводящих тканей.

Перициклические клетки претерпевают периклиналильные и антиклинальные деления (рисунок 8, Г, Е). Периклиналильные деления обеспечивают увеличение числа слоев перицикла в радиальном направлении. В результате нарастания в толщину проводящих тканей и перицикла первичная кора отодвигается наружу. Первичная кора не нарастает по окружности, а разрывается и сбрасывается вместе с эпидермой и эндодермой (рисунок 8, Д). Феллоген берет начало в наружной части перицикла и откладывает наружу феллему. Он может откладывать внутрь феллодерму, но такую феллодерму трудно отличить от перицикла, который пролиферировал еще до закладки феллогена [12].

В многолетних корнях работа камбия длится многие годы. Феллоген также сохраняет свою активность, но он может замещаться феллогеном, возникающим в глубине корня. Если эта возможность реализуется, то корень, подобно стеблю, образует ритидом.



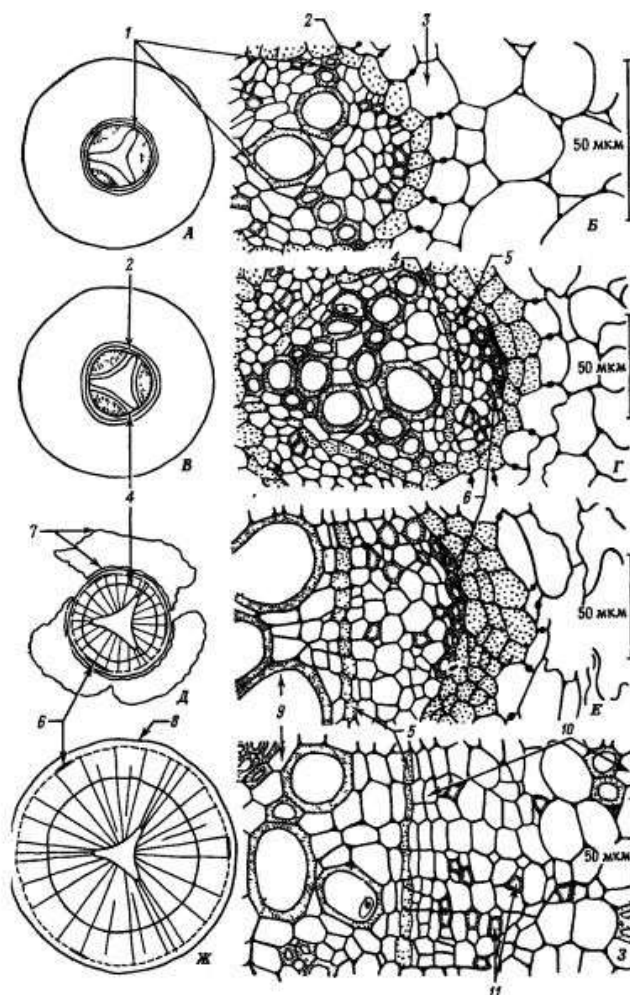


Рисунок 8 – Схемы и детальные рисунки поперечных срезов корня люцерны *Medicago sativa* на различных стадиях развития. А, Б. Первичная стадия роста. В, Г. Закладка камбия. Д, Е. Вторичный рост центрального цилиндра, клеточные деления в перицикле и разрушение первичной коры. Ж, З. Вторичный рост установился. 1-первичная ксилема; 2 - перицикл; 3 - эндодерма; 4 - камбий; 5 - первичная флоэма; 6 - первичные флоэмные волокна; 7-первичная кора; 8 - перидерма; 9 - вторичная ксилема; 10 - вторичная флоэма; 11 - ситовидные элементы

Структура вторичных проводящих тканей в корнях древесных видов напоминает только что описанную для корня люцерны. Обычно корни деревьев имеют значительную долю элементов с лигнифицированными вторичными оболочками, но корни травянистых растений также могут стать сильно склерифицированными. Для корней голосеменных характерен вторичный рост такого же типа, как и для корней древесных двудольных за исключением того,

что их проводящие элементы находятся на более низкой ступени эволюционного развития [12].

Корни и стебли деревьев гистологически различаются, особенно в древесине. По сравнению со стеблями корни имеют меньше элементов с лигнифицированными вторичными стенками в коре и древесине и соответственно относительно больший объем паренхимной ткани. Гистологические различия между вторичными тканями стеблей и корней определяются в значительной степени различиями во внешних условиях, в которых развиваются эти части растения. Если корни двудольных или голосеменных деревьев подвергнуть воздействию света и воздуха, то их древесина, которая развивается после экспозиции, приобретает большинство признаков, характерных для древесины стеблей [12].

#### **1.4. Процессы термического разложения древесины и лесных горючих материалов**

В настоящее время горением называют все быстро протекающие реакции в веществе, которое в исходном состоянии инертно. При этом решающим при отнесении данного вида превращения вещества к реакции горения является выделение тепла и/или активных реакционных частиц, а не ее химическое содержание [13].

Основой процесса горения принято считать химическую реакцию, способную протекать с прогрессирующим самоускорением, либо за счет механизма образования химически активных промежуточных продуктов (цепное горение), либо вследствие накопления выделяющегося тепла (тепловое горение).

Протекающие при горении химические процессы очень сложны. Даже для наиболее простого случая – горения водорода в кислороде на данный момент установлено и изучено всего несколько десятков элементарных стадий. Также подробно исследованы механизмы химических реакций при горении только для нескольких веществ: метана, этана и оксида углерода. Эти знания используют для прогнозирования условий воспламенения и горения других веществ.

Для всех процессов горения, ключевую роль играют условия распространения зоны реакции и критические явления вне зависимости от их химической природы процесса. Критические явления при возникновении процесса горения – это резкое изменение режима протекания при малом изменении внешних условий [13].

Различают два вида теплового воспламенения: самовоспламенение и вынужденное воспламенение (зажигание). В случае теплового воспламенения также различают два процесса: самовозгорание и самовоспламенение.

Самовозгорание – это самопроизвольное возникновение горения вследствие постепенного накопления теплоты при протекании экзотермических реакций в твердых горючих материалах, позволяющих возникнуть самовоспламенению [14].

Самовоспламенение – это резкое самоускорение экзотермических химических реакций, начальная стадия горения [14].

Тепловое самовоспламенение наиболее характерно для реакций, которые сильно зависят скорости ее протекания, температуры и имеют значительный тепловой эффект [14].

Первые представления о причинах теплового самовоспламенения веществ в качественном виде даны Я. Вант-Гоффом (1883 г.). Теорию теплового самовоспламенения разработал Н. Н. Семенов (1928 г.). Согласно этой теории самовоспламенение веществ можно представить следующим образом: при подводе теплоты к горючему веществу или материалу можно достигнуть такой температуры, при которой начинает протекать медленная реакция окисления. Реакция сопровождается выделением теплоты и в какой-то момент достигается такое состояние, когда скорость прихода тепла в результате реакции станет выше скорости отвода тепла из реакционной зоны в окружающее пространство. В этом случае реакционная зона разогреется до температуры выше той, до которой ее нагрели изначально. С увеличением температуры скорости реакции и теплообразования увеличиваются, также увеличивается и скорость теплоотвода, но все же медленнее, чем скорость реакции.

Температурой самовоспламенения называется температура, при которой выделяющаяся теплота становится больше отводимой. Температура самовоспламенения зависит от условий теплоотдачи и от химического состава смеси. Начиная с температуры самовоспламенения, происходит интенсивное саморазогревание реакционной зоны и самоускорение реакции, приводящее к тепловому самовоспламенению (появлению пламени) реагирующего вещества.

По теории Н. Н. Семенова, тепловое самовоспламенение при равномерном распределении температуры в реакционном объеме для реакции нулевого порядка с энергией активации  $E$ , тепловым эффектом на единицу объема  $Q$  и предэкспоненциальным множителем  $k_0$  и скорость тепловыделения описывается уравнением:

$$Q_+ = Qk_0 e^{-E/RT} \quad (1)$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная (8,31 Дж/моль·К),  $T$  – температура.

В процессе самовоспламенения очень трудно дифференцировать влияние температуры от влияния активных частиц. Иногда в процессе развития реакции ведущая роль переходит от одного явления к другому: чаще от активных частиц к тепловыделению.

Температура самовоспламенения вещества ( $T^*$ ) – это такое значение температуры, при котором скорости тепловыделения ( $Q_+$ ) и теплоотвода ( $Q_-$ ) становятся равными:

$$Q_+(T) = Q_-(T) \quad (2)$$

Температуру самовоспламенения можно определить с помощью диаграммы Семенова (Рисунок 9) по точке пересечения кривых тепловыделения реакции и теплоотвода.

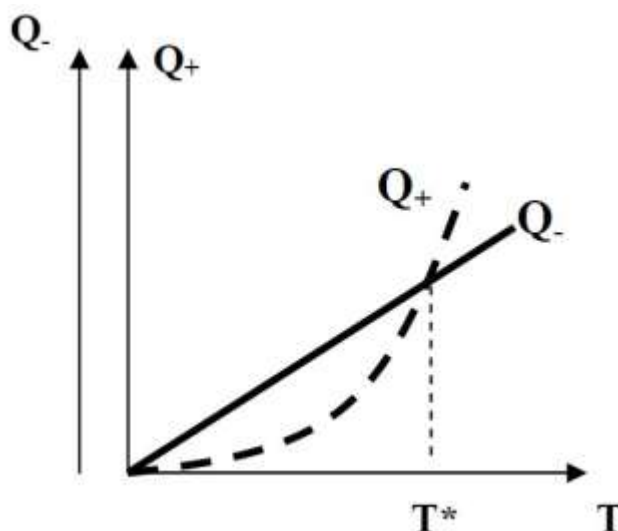


Рисунок 9 – Диаграмма Семенова

Различают следующие типы горения в зависимости от агрегатного состояния горючего и окислителя:

1. Гомогенное;
2. Гетерогенное.

Гомогенное горение происходит в однородных смесях горючего и окислителя. Однородными являются смеси, в которых воздух и горючее вещество перемешаны друг с другом (смеси паров с воздухом, горючих газов,) [15].

Гетерогенное горение происходит в неоднородных смесях. Неоднородными названы смеси, в которых воздух и горючее вещество не перемешаны друг с другом и имеют поверхности раздела фаз (это твердые горючие материалы и нераспыленные жидкости). В случае с ЛГМ горение носит гетерогенный характер [16].

В общем случае, полное время сгорания определяется по следующей формуле

$$\tau_p = \tau_{\text{физ}} + \tau_{\text{хим}} \quad (3)$$

где  $\tau_{\text{физ}}$  – время физической стадии процесса (диффузии  $O_2$  к очагу возгорания);  $\tau_{\text{хим}}$  – время протекания химической стадии реакции.

В ходе горения однородных систем время физической стадии процесса химической реакции несоизмеримо меньше скорости её протекания, поэтому

скорость определяется скоростью химической реакции  $\tau_p \approx \tau_{хим}$ , такое горение называют кинетическим.

При горении химически неоднородных систем время проникновения (диффузия – перенос массы)  $O_2$  сквозь продукты сгорания к горючему веществу намного больше времени протекания химической реакции и поэтому играет решающую роль в определении общей скорости процесса  $\tau_p \approx \tau_{физ}$ . Такое горение называют диффузионным. Примерами такого горения являются горение древесины, лесной подстилки и ЛГМ в целом.



Рисунок 10 - Диффузия кислорода в зону горения ЛГМ (гетерогенное горение)

Распространение пламени происходит за счет передачи теплоты от слоя к слою. Теплота передается в результате следующих физических процессов:

1. теплопроводности (перенос тепловой энергии);
2. излучения;
3. диффузии (перенос массы горючих компонентов).

Фронт пламени – зона, в которой происходит химическая реакция окисления, т. е. горение. Время пребывания веществ в фронте пламени колеблется в пределах  $10^{-3} \div 10^{-7}$  с [17].

Теплота, образующаяся в результате химической реакции, протекающей в фронте пламени, распространяется радиально, поэтому прогреваются все расположенные рядом слои горючего вещества и воздуха. Распределение температур в зоне возгорания приведено на Рисунок 11.

Исходная смесь имеет температуру  $T_0$ , ближе к фронту пламени температура становится выше и, достигая температуры самовоспламенения  $T^*$ , резко повышается в зоне реакции, до температуры горения  $T_{\Gamma}$ . Ширина зоны прогрева зависит от скорости распространения пламени и теплопроводности горючей смеси. Повышение теплопроводности увеличивает зону прогрева, повышение скорости реакций – уменьшает [17].

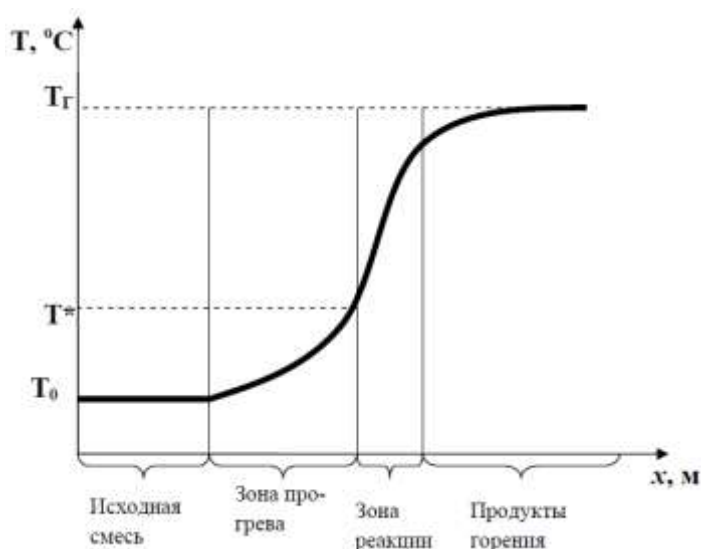


Рисунок 11 – Распределение температур по зонам: температура зоны прогрева, температура зоны реакции (фронт пламени), температура продуктов горения

Лесные горючие материалы являются неплавящимися твердыми веществами. Горения данных веществ можно рассмотреть на примере горения спички (Рисунок 12) [17]. Данная модель предполагает наличие следующих стадий:

1 – прогрева твердой фазы; толщина зоны зависит от температуры и теплопроводности вещества;

2 – пиролиза, или зоны реакции в твердой фазе, в которой образуются летучие горючие вещества;

3 – предпламенной области в газовой фазе, в ней образуется смесь с окислителем;

4 – реакционной зоны, или пламени, в газовой фазе которой происходит превращение продуктов пиролиза в летучие продукты горения;

5 – образования продуктов горения.

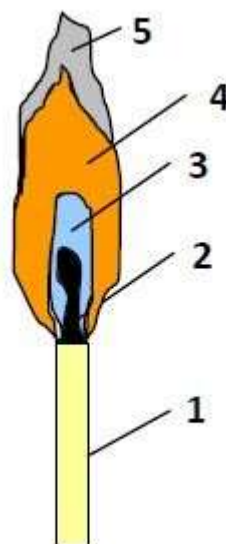


Рисунок 12 – Горение древесины. 1 – древесина; 2 – обугленная древесина; 3 – газы (летучие вещества); 4 – пламя; 5 – продукты горения (дым)

Из Рисунок 12 видно, что прогоревший участок древесины стал значительно тоньше и имеет черный цвет. Это произошло из-за того, что часть древесины обуглилась, т. е. осталась только нелетучая часть, в то время как летучая часть испарилась и сгорела. Уголь не успевает полностью выгореть, так как скорость его горения значительно медленнее скорости горения газов. Многие твердые горючие вещества – древесина, солома, торф – содержат в своем составе атомы кислорода. Для сгорания подобных материалов требуется гораздо меньше кислорода воздуха. Данный тип горения относят к диффузионному горению. Это означает, что реакционная зона, должна постоянно снабжаться кислородом для обеспечения устойчивости, а скорость поступления горючего газа зависит по большей части от скорости его диффузии в реакционную зону [17].

### **1.5. Термические повреждения и гибель деревьев**

Огневые поражения и виды травм от пожара (одинакового вида и силы) у разных древесных пород и в различном возрасте неодинаковы. Повреждения, наносимые низовым пожаром дереву по большей части ограничивается поверхностным ожогом или подпалом коры, что зачастую безболезненно для дерева, если огонь не затрагивает камбия. Камбий довольно чувствителен даже



к небольшому повышению температуры. При нагревании до 54–57 °С камбий погибает [18].

Внешним признаком омертвления камбия является его побурение. При отмирании больших участков камбия по окружности корня или ствола дерево усыхает.

Степень поражения камбия огнем зависит от толщины коры, глубины прорастания корней, высоты ствола до начала живой кроны, а также от количества в коре смолистых веществ. Чем больше в коре деревьев смолистых веществ, тем выше степень огневого ранения камбия. К породам, у которых в коровой паренхиме имеется смолоносная система, относят пихту, можжевельник, сосну и ель [18].

Опробковевшая кора содержит меньше смолы, имеет низкую теплопроводность, поэтому хорошо предохраняет камбий от воздействия высокой температуры.

Глубоко проникшие в почву корни значительно лучше защищены от воздействия высокой температуры. Если крона дерева низко опущена, то опал хвой (листвы) при низовом пожаре становится намного более вероятным и значительным, а также способствует переходу его в верховой и повышает вероятность повреждения камбия в верхней части ствола, где он наиболее уязвим из-за более тонкого слоя коры.

Исходя из этого дуб, сосну и лиственницу относят к наиболее огнестойким породам деревьев, а ель и пихту – к наименее огнестойким.

Сибирский кедр, имеющий довольно толстую кору, более устойчив к открытому огню, чем ель и пихта, но уступает лиственнице и сосне [18].

Молодые деревья, в особенности хвойные, сильно подвержены воздействию огня. Всходы крайне чувствительны к высокой температуре: температура в 54 °С уже является смертельной для всходов ели. Воздействие высокой температуры (около 800 °С) в течение 11 мин убивает камбий 15-летней дугласовой пихты. У старых деревьев, защищенных толстой корой, камбий не

погибает даже в продолжение четырехчасового воздействия на него такой же высокой температуры [19].

С возрастом толщина корки увеличивается, с ней повышается и огнестойкость стволов. Сопротивляемость сосны воздействию огня при низовых пожарах становится значительной к 50 годам, и вероятность смертельного поражения от низовых пожаров уменьшается в несколько раз. Однако хорошо развитые деревья и в 20–30 лет также могут сопротивляться огневому воздействию [19].

Так было отмечено, что если при пожаре в 50-летних сосняках деревья, сохранившие жизнеспособность, составляли более половины их общего количества, то в 100–170-летних сосняках жизнеспособных составила 3/4 от всех деревьев. Ко всему прочему необходимо принимать во внимание, что сосняки возраста 100–170 лет подвергались, в отличие от 50-летних, многократному воздействию лесных пожаров.

Повышение огнестойкости деревьев с возрастом имеет предел. В связи с естественным ослаблением жизнеспособности дерева в старом возрасте сопротивляемость огню может снижаться у толстых деревьев (от 40 см и выше).

Наименее развитые деревья (в пределах одного возраста), имеют значительно меньшее сопротивление огню, чем более развитые [19].

Распределение по толщине неповрежденных и поврежденных деревьев спустя три года после низового пожара, составленное на основе учета 1017 деревьев, в 50-летних сосняках-зеленомошниках представлено на Рисунок 13. Наибольшее количество погибших деревьев находится в диапазоне толщин стволов от 2 до 5 см; максимум числа деревьев, сохранивших жизнедеятельность, но поврежденных огнем, располагается в диапазоне от 6 до 9 см; начиная с 10 см число деревьев с неповрежденным камбием становится значительно больше числа отпавших (сухих) [20].

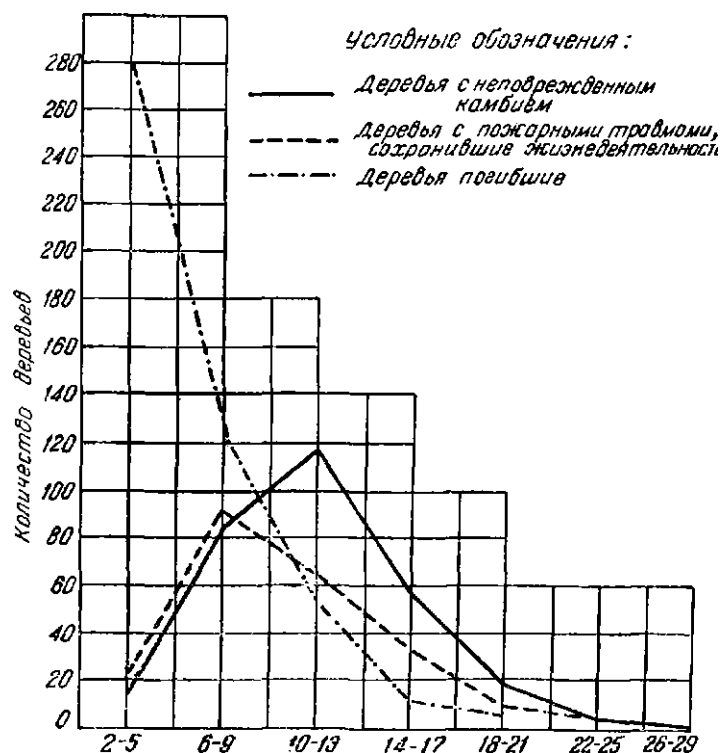


Рисунок 13 – Распределение числа погибших, поврежденных и неповрежденных деревьев по ступеням толщины ствола

Начиная с возраста 50 лет для сосняков опасность смертельного поражения от лесных пожаров значительно сокращается. Данное явление типично для наших северных условий, однако хорошо развитые 20 и 30 летние деревья могут также достаточно хорошо сопротивляться огневому воздействию лесного пожара [21].

В сосняках моложе 50 лет вероятность смертельного повреждения деревьев от низового пожара уменьшается при незначительном количестве в насаждениях лесных горючих материалов, что связывается с действием предшествующих пожаров и с характером типа леса. В борах-беломошниках степень повреждения деревьев низовым лесным пожаром в каждом отдельном случае незначительна. Лесные горючие материалы представлены в них тонким слоем лишайников и подстилки, а их запасы после пожара восстанавливаются очень медленно; при следующем пожаре количества лесных горючих материалов может оказаться недостаточным для стабильного поддержания пламени. В верхне-вычегодских беломошниках наблюдались сосняки, пережившие в первый раз пожар в 15 лет и во второй - в 26 лет. Иногда в сухих

борах-брусничниках сосна возрастом 20 лет переживала пожар. Похожие явления встречались и в архангельских лесах [22].

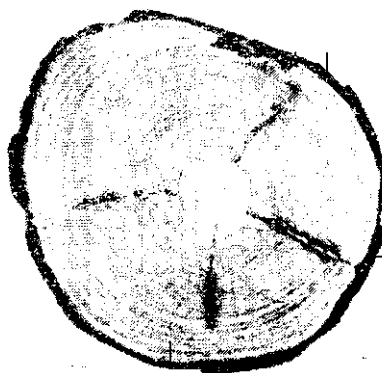


Рисунок 14 – Стадия скрытой незаросшей подсушины у сосны на гари 6-летней давности. Разрез на высоте 1,3 м

В других типах лесов не было зафиксировано случаев массового выживания сосен после огневого воздействия в таком молодом возрасте.

На корнях ели даже поверхностные огневые ожоги приводят к ее быстрому отмиранию. Прямое воздействие пламени низового лесного пожара на корни может быть крайне болезненным (вплоть до гибели дерева). Это наиболее характерно для древесных пород с поверхностной корневой системой в силу малой защищенности камбия. Ожоги и перегорания корней приводят к появлению вывалов. Сосна сильно подвержена перегоранию корней только в типах определенных леса, преимущественно на торфянистых и торфяных почвах, где замечен наибольший ее отпад. Также данное явление характерно и для сфагновых сосняков севера [23].

В других типах сосновых лесов, однако, также возможно возникновение повреждений корневой системы дерева при низовом пожаре, таким образом, не исключается и опасность гибели деревьев.

Исследования А. А. Молчанова, А. И. Стратоновича показывают, что с этой опасностью необходимо считаться, например, в мшисто-лишайниковых и сухих лишайниковых борах, в которых сосны зачастую имеют поверхностную корневую систему [24].

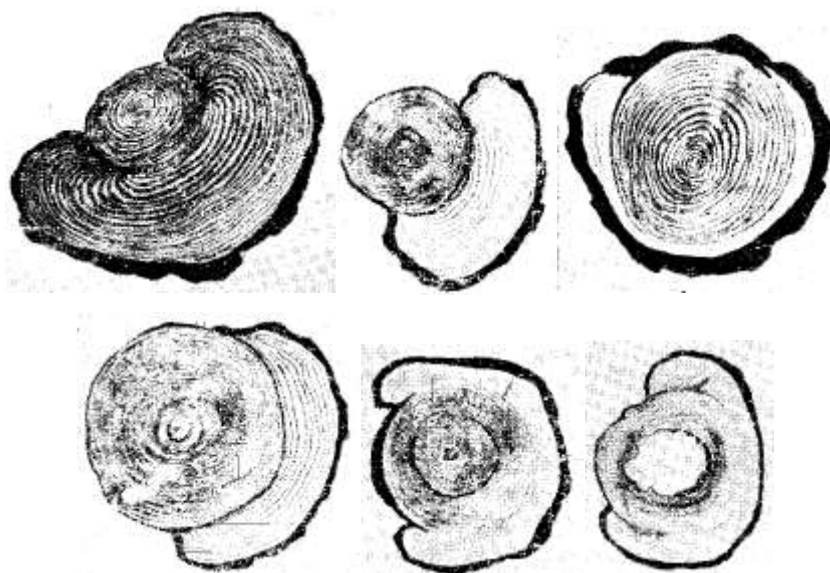


Рисунок 15 – Огневые поражения стволов деревьев от низовых пожаров

Распространенным видом повреждения при низовых пожарах являются опалы коры и ожоги под нею камбия в нижней части стволов. В большинстве случаев наружный опал (обгар, нагар) коры является индикатором поражения камбия. В результате такого типа повреждения образуется пожарная подсушина. Наверняка установить наличие и размер ранения можно удалив кору. По краям подсушины, скрытой корою, (Рисунок 14) образуется каллюс и ранение начинает затягиваться [25].

При дальнейшем зарастании подсушины происходит к полному или частичному зарубцовыванию пораженного участка. Зарастающие пожарные подсушины наиболее часто встречаются у лиственницы и сосны, и реже у других пород деревьев (Рисунок 15) [25].

Таким образом, можно выделить четыре основные стадии образования и трансформации пожарной подсушины: 1) образование огневой травмы под корой; 2) зарастание скрытой подсушины; 3) частичное скрытие подсушины; 4) полное зарастание подсушины. Очень часто не происходит полного зарастания подсушины [26].

Наблюдается образование огневых травм и в случаях, когда кора под влиянием высокой температуры от пламени частично растрескивается и температура на камбий начинает воздействовать непосредственно через трещины.

Воздействие огневых ранений на деревья также зависит от времени года, в которое проходил пожар. Ранения, полученные весной и в начале лета более болезненны для дерева, так как в этот период происходит усиленное деление камбиальных клеток. Значительно менее опасно огневое воздействие до пробуждения камбия [26].

### **1.6. Системы геомониторинга лесных массивов**

Лесные пожары наносят большой и зачастую невосполнимый ущерб природным и материальным ресурсам. Отсутствие полноценной научной базы является одной из главных причин как для количественного, так и для качественного анализа распространения, возникновения и тушения лесных пожаров, а также определения его возможных последствий для экосистемы и человека. Данные факторы сдерживают как создание новых более эффективных мер борьбы с ними, так и усложняют задачу определения и выбора оптимальных методов использования современных технических средств тушения. В качестве практического приложения такой методологии в данном подразделе предлагается ГИСППР по борьбе с лесными пожарами, которая будет способствовать наиболее эффективному решению научных и прикладных задач, связанных с предупреждением лесных пожаров, их ликвидацией, а также ликвидацией последствий лесных пожаров [27].

ГИСППР по борьбе с лесными пожарами представляет из себя систему, предназначенную для хранения и сбора информации о текущей пожарной обстановке и условиях для возникновения и развития лесных пожаров, их влиянии на природно-экологическую обстановку, а также для ее отображения и распространения данной информации, с целью интеграции и анализа этих данных для информационной поддержки при принятии решений по борьбе с лесными пожарами и их последствиями [28].

ГИС традиционно используются для сбора, хранения пространственных данных с целью дальнейшего их анализа и графической визуализации. Однако ценность ГИС и заключенной в ней географической информации значительно

возрастает, когда ГИС объединяется с программной базой, основанной на методах и технологиях ИИ. Одной из существенных особенностей методов ИИ, к которым относятся нейронные сети и экспертные системы, является значительное расширение круга задач, решаемых с помощью вычислительной техники, дополняя ее слабо формализуемыми задачами [29].

Одним из важных направлений, повышающим практическую значимость использования ГИС-технологии и технологии интеллектуального анализа данных, является их реализация в Интернет.

Объединение всех вышеупомянутых технологий позволяет создать гибридную ГИСППР по борьбе с лесными пожарами, содержащую электронную карту лесничества, обладающую функциями сбора, хранения, манипулирования картографическими данными, позволяющую наносить динамически изменяющийся слой пожароопасности выделов лесничеств, отображать площадь, занятую пожаром, и возможный ущерб от пожара на различных выделах лесничеств, рассчитывать оптимальный набор сил и средств для тушения пожара, а также прогнозировать динамику лесонасаждений [30].

ГИСППР по борьбе с лесными пожарами направлена на решение задач по управлению лесными пожарами. Перечень задач учета, планирования и оперативного регулирования, а также контроля и анализа, решаемых в процессе управления системой охраны лесов, определяет функциональную структуру системы. Выделяются следующие действия по управлению лесными пожарами:

1. Прогнозирование возникновения лесного пожара (определение пожароопасности);
2. Прогнозирование распространения лесного пожара;
3. Оценка ущерба, причиняемого лесными пожарами;
4. Поддержка принятия решений для предупреждения лесных пожаров;
5. Поддержка принятия решений при ликвидации лесных пожаров;
6. Поддержка принятия решений при ликвидации последствий лесных пожаров.

Архитектура ГИСППР построена на классическом шаблоне проектирования MVC (Model-View-Controller), который состоит из трех уровней:

1) модель (Model) – уровень, реагирующий на запросы от контроллера, изменяя свое состояние и предоставляя данные для уровня представление;

2) представление (View) – уровень, отвечающий за отображение информации;

3) поведение (Controller) – уровень, интерпретирующий введенные пользователем данные и информирующий представление и модель о необходимости определенного действия.

Важно отметить, что как поведение, так и представление зависят от модели. В тоже время модель не зависит ни от поведения, ни от представления. Подобное разделение позволяет строить модель независимо от визуального представления, и создавать несколько разных представлений для одной модели. что является одним из ключевых достоинств разделения [31].

Уровень поведения (логическая часть ГИС) состоит из четырех основных блоков, каждый из которых направлен на решение одной из перечисленных задач: прогнозирование возникновения пожара (расчет пожароопасности), прогнозирование распространения пожара, оценка ущерба от пожара и, наконец, поддержка принятия решений. Блок прогнозирования возникновения пожара состоит из двух подзадач: долгосрочное и краткосрочное прогнозирование. Результаты долгосрочного прогнозирования возникновения пожаров являются входными данными для разработки стратегии предупреждения пожаров. Результаты краткосрочного прогнозирования возникновения пожаров используются при построении оперативных планов ликвидации лесных пожаров [32].

На уровне представления реализуется электронная карта, предоставляемая пользователю. Электронная карта имеет послойную структуру, состоящую из основных (статических) слоев и дополнительных (динамических) слоев. Динамические слои отображают данные, проходящие подготовительную



обработку на уровне поведения. Это такие слои, как картосхема распределения пожарной опасности (предварительно рассчитывается в блоке прогнозирования возникновения пожара), динамика пожара (определяется в блоке прогнозирования распространения пожара), а также поддержка принятия решений (на этом слое визуально отображается состав и размещение сил и средств для предупреждения, а также ликвидации пожаров и их последствий, которые определяются в соответствующем блоке). Статические слои предоставляют отображения таксационных описаний лесничеств. К этим слоям относят участки леса, в свою очередь могут подразделяющиеся на подслои лиственных пород, хвойных пород и пр., водоисточники, подразделяющиеся на озера, реки, болота, и другие водоемы, пески, дороги [33].

Модель (уровень данных) описывает пространственные данные, состоящие из двух взаимосвязанных частей: фактологические (атрибутивные) и картографические. Фактологическая составляющая данных ГИС содержит в себе данные о лесных пожарах, метеорологические данные, таксационное описание лесничеств, нормативно-справочную информацию, а также данные о ресурсах службы охраны леса. Картографические данные описывают позиционные параметры участков местности (векторных объектов).

Обновления информации в ГИСППР по борьбе с лесными пожарами с точки зрения периодичности подразделяются на условно постоянную, сезонную и оперативную. Оперативные данные как правило изменяются один или несколько раз в сутки. К ней можно отнести данные о действующих и возникающих лесных пожарах, текущую и прогнозируемую метеоинформацию, информацию о положении средств и сил по ликвидации лесных пожаров. Сезонные данные обновляются несколько раз в течение года. К ним относятся данные для среднесрочных и долгосрочных прогнозов пожарной опасности, основывающиеся на условиях погоды, а также данные о ресурсах системы охраны и о границах структурных подразделений охраны лесов. Условно постоянные данные, как правило, обновляются реже одного раза в год к ним можно отнести границы административного деления территории,

характеристики лесного фонда, природное районирование, топографическое описание местности [34].

Таким образом, ГИСППР по борьбе с лесными пожарами позволяет:

1. сократить потери ценных древесных пород за счет более оперативной ликвидации лесных пожаров;
2. уменьшить затраты сил и средств на тушение;
3. сохранить жизнь людей;
4. выявлять наиболее пожароопасные участки местности с целью планирования противопожарных мероприятий таких, как инспектирование местности, размещение пожарных служб, прокладывание противопожарных полос;
5. рассчитывать пути эвакуации людей при пожарах;
6. прогнозировать экологические последствия, связанные с лесными пожарами.

#### **1.7. Выводы по результатам аналитического обзора литературы**

Лесные пожары наносят большой и зачастую невосполнимый ущерб природным и материальным ресурсам. Отсутствие полноценной научной базы является одной из главных причин как для количественного, так и для качественного анализа распространения, возникновения и тушения лесных пожаров, а также определения его возможных последствий для экосистемы и человека.

Согласно наиболее распространенной классификации лесных пожаров выделяются три вида пожаров по характеру распространения пламени (низовой, верховой и торфяной) и два по степени его устойчивости пламени (беглый и устойчивый). Рассматриваемый в данной работе низовой лесной пожар является наиболее распространенным из всех - 97-98 % от общего числа пожаров ежегодно, и представляет существенную опасность не только для надземной части дерева, но и для корневой системы.

Одним из определяющих процессов лесного пожара является процесс термического разложения древесины и лесных горючих материалов. Лесные горючие материалы являются неплавящимися твердыми веществами, для которых выделяются пять основных стадий горения:

1 – прогрева твердой фазы; толщина зоны зависит от температуры и теплопроводности вещества;

2 – пиролиза, или зоны реакции в твердой фазе, в которой образуются летучие горючие вещества;

3 – предпламенной области в газовой фазе, в ней образуется смесь с окислителем;

4 – реакционной зоны, или пламени, в газовой фазе которой происходит превращение продуктов пиролиза в летучие продукты горения;

5 – образования продуктов горения.

Для различных пород деревьев повреждения полученные в результате воздействия лесного пожара будут иметь неодинаковый характер и последствия. Большая часть повреждений, наносимых дереву ограничивается поверхностными ожогами, но это справедливо лишь до тех пор пока не затрагивается камбий, для которого температура 54-57 °С уже является смертельной. Степень поражения камбия огнем зависит от толщины коры, глубины прорастания корней, высоты ствола до начала живой кроны, а также от количества в коре смолистых веществ. В связи с этим наиболее уязвимыми для воздействия всех типов лесных пожаров являются хвойные деревья различных пород. С точки зрения подверженности корней дерева воздействию повышенной температуры фронта пламени лесного пожара наиболее уязвимыми являются хвойные деревья таких видов как сосна сибирская и кедр сибирский имеющие поверхностную корневую систему.

Одним из перспективных направлений по контролю и прогнозированию лесной пожарной обстановки является разработка и внедрение ГИС, представляющую из себя программный комплекс, позволяющий собирать,

изменять и представлять всю необходимую информацию для последующего ее анализа и принятия решений по контролю за пожарной обстановкой.

## **2. Объект и метод исследования**

### **2.1. Объект исследования**

В качестве объекта исследования в данной работе выбран корень ели сибирской.

Сибирский кедр — вечнозелёное дерево 20—25 (40) м высотой. Отличается густой, часто многовершинной кроной с толстыми сучьями. Ствол прямой, ровный буро-серый, у старых деревьев образует трещиноватую чешуйчатую кору. Ветвление мутовчатое. Побегі последнего года коричневые, покрыты длинными рыжими волосками. Хвоя на укороченных побегах тёмно-зелёная с сизым налётом, длиной 6-14 см, мягкая, в разрезе трёхгранная, слегка зазубренная, растёт пучками, по пять хвоинок в пучке.

Корневая система состоит из короткого стержневого корня, от которого отходят боковые корни. Последние оканчиваются мелкими корневыми волосками, на концах которых развивается микориза. На хорошо дренированных, особенно лёгких по механическому составу почвах при коротком стержневом корне (до 40—50 см) у дерева развиваются мощные якорные корни, проникающие на глубину до 2—3 м. Якорные корни вместе с прикорневыми лапами обеспечивают устойчивость ствола и кроны.

### **2.2. Численные методы решения задач теплопроводности.**

В настоящее время численное моделирование процессов теплообмена приобретает все большую роль. Связано это с тем, что для современной науки и техники требуется достоверный прогноз процессов, экспериментальное исследование которых в натуральных или лабораторных условиях сложно, дорого и зачастую просто невозможно. Численное исследование процессов теплообмена все больше используется в работе различных научно-исследовательских и производственных учреждений [35].

При решении уравнения теплопроводности в частных производных одним из самых распространенных является метод конечных разностей. В данном методе производные в уравнении заменяются их конечноразностными

аппроксимациями. При построении дискретной аппроксимации дифференциального уравнения теплопроводности необходимо выполнить две противоречивые цели: получить хорошее качество аппроксимации и эффективное устойчивое решение получающихся при этом систем [35].

При использовании метода конечных разностей для решения уравнения теплопроводности вся расчетная область покрывается сеткой. Целью аппроксимации уравнения является получения системы линейных алгебраических уравнений для определения температуры в каждом узле сетки. Для замыкания полученной системы используют разностное представление граничных условий. Замкнутую систему линейных алгебраических уравнений решают численными методами при помощи ЭВМ [35].

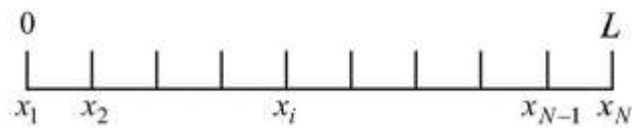


Рисунок 15 – Конечно-разностная сетка

Одномерное уравнение теплопроводности в декартовой системе координат:

$$\rho_1 c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} : 0 < x < l_1 \quad (3)$$

Аппроксимация одномерного теплопроводности (для аппроксимации используется четырехточечная неявная разностная схема):

$$\rho \cdot c \cdot \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\tau} = \lambda \cdot \frac{T_{i+1}^{n+1} - 2 \cdot T_i^{n+1} + T_{i-1}^{n+1}}{h^2} \quad (4)$$

Выбранная схема изображена на рисунке 16 [36].

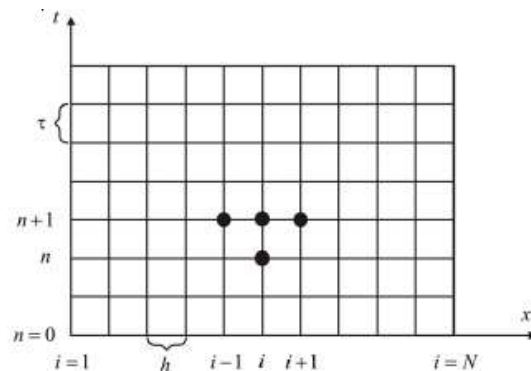


Рисунок 16 – Шаблон четырехточечной неявной разностной схемы

Данная схема называется неявной, так как используются три точки на новом временном слое и одна на предыдущем. Полученную систему можно свести к виду:

$$A_i \cdot T_{i+1}^{n+1} - B_i \cdot T_i^{n+1} + C_i \cdot T_{i-1}^{n+1} = F_i \quad (5)$$

$$A_i = C_i = \frac{\lambda}{h^2}, \quad B_i = \frac{\rho \cdot c}{\tau} + \frac{2 \cdot \lambda}{h^2}, \quad F_i = -\frac{\rho \cdot c}{\tau} \cdot T_i^n. \quad (6)$$

Подставляя прогоночную формулу  $T_i^{n+1} = \alpha_i \cdot T_{i+1}^{n+1} + \beta_i$  в разностный шаблон, получаем прогоночные коэффициенты:

$$\alpha_i = \frac{A_i}{B_i - C_i \cdot \alpha_{i-1}}, \quad \beta_i = \frac{C_i \cdot \beta_{i-1} - F_i}{B_i - C_i \cdot \alpha_{i-1}}. \quad (7)$$

Для замыкания полученной системы используем граничные условия первого рода.

На границе  $x=0$  используем граничные условия для определения первых прогоночных коэффициентов:

$$T_1^{n+1} = \alpha_1 \cdot T_2^{n+1} + \beta_1 = T_{const} \quad (8)$$

$$\alpha_1 = 0, \quad \beta_1 = T_{const} \quad (9)$$

На границе  $x=L$  используем граничные условия для определения температуры на правой границе:

$$T_N^{n+1} = T_{const} \quad (10)$$

### 3. Результаты исследования

#### 3.1. Численное исследование задачи о теплопереносе в системе корень – почва – ЛГМ – воздух в одномерной постановке

##### 3.1.1. Физическая модель и система допущений

Рассматриваемая краевая задача кондуктивного теплопереноса в сопряженной постановке. Геометрия области решения приведена на рисунке 17.

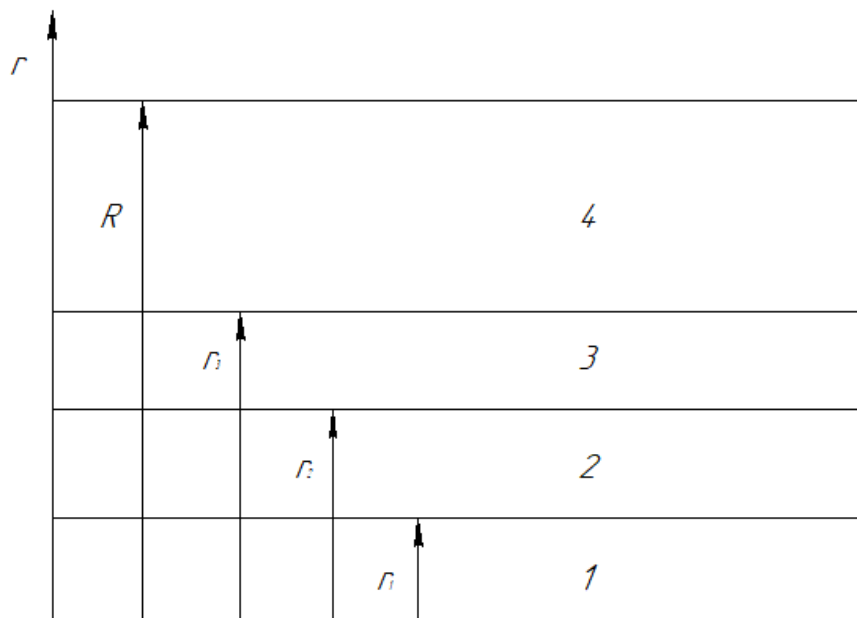


Рисунок 17 – Область решения задачи. 1 – корень, 2 – слой почвы, 3 – слой ЛГМ, 4 – слой воздуха

Область решения представлена в виде слоистой структуры: корень, слой богатый органикой, слой лесного горючего материала (ЛГМ) на поверхности почвы (подверженный горению) и слой окружающего воздуха. На границах раздела сред выставляются граничные условия 4 рода. В слое лесного горючего материала задана повышенная температура, соответствующая очагу возгорания при низовом пожаре.

Приняты следующие допущения:

1. Теплофизические свойства органического слоя почвы, слоя лесного горючего материала не зависят от температуры.
2. Перенос тепла происходит за счет кондукции.



### 3.1.2. Математическая модель

Согласно предложенной физической модели исследуемый процесс описывается нестационарными уравнениями теплопроводности для каждого элемента области решения:

уравнение теплопроводности для корня дерева

$$\rho_1 c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \frac{\lambda_1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T_1}{\partial r} \right) \quad (11)$$

уравнение теплопроводности для слоя, богатого органикой

$$\rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \frac{\lambda_2}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T_2}{\partial r} \right) \quad (12)$$

уравнение теплопроводности для слоя ЛГМ

$$\rho_3 c_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = \frac{\lambda_3}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T_3}{\partial r} \right) \quad (13)$$

уравнение теплопроводности для воздуха

$$\rho_4 c_4 \frac{\partial T_4}{\partial t} = \frac{\lambda_4}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T_4}{\partial r} \right) \quad (14)$$

Начальные условия для уравнений (11)-(14) определены как:

$$T_i|_{t=0} = T_{i0} \quad (15)$$

Граничные условия для уравнений (11)-(14) имеют вид:

на внешних границах области решения

$$r = R, \quad -\lambda_4 \frac{\partial T_4}{\partial r} = \alpha_4 (T_e - T_4) \quad (16)$$

$$r = 0, \quad -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} = 0. \quad (17)$$

на границах сопряжения слоев:

$$r = r_3, \quad -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r} = -\lambda_4 \frac{\partial T_4}{\partial r}, \quad T_3 = T_4, \quad (18)$$

$$r = r_2, \quad -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r}, \quad T_2 = T_3, \quad (19)$$

$$r = r_1, \quad -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r}, \quad T_1 = T_2. \quad (20)$$

где  $T_i, c_i, \rho_i, \lambda_i, r_i$  - температура, теплоемкость, плотность, теплопроводность, координата по оси  $r$  (1 – корня, 2 – слоя почвы, 3 – слоя ЛГМ, 4 – слоя воздуха);  $\alpha_4$  - коэффициент теплоотдачи;  $t$  - временная координата.

### 3.1.3. Результаты численного исследования

В настоящее время лесные пожары подразделяются на несколько типов, каждый из которых характеризуется определенной температурой в зоне очага горения. В данной работе для моделирования процесса нагрева от очага лесного пожара была задана повышенная температура в слое ЛГМ равная 1073 К, что согласно классификации лесных пожаров соответствует температуре фронта низового пожара. Данный вид лесного пожара был выбран для моделирования в силу наибольшей распространенности.

На рисунке 18 представлено распределение температуры в системе фрагмент корня-почва-ЛГМ-воздух, на рисунке 19 в системе фрагмент корня-почва при времени воздействия равном 300 с, 600 с, 900 с, 1200 с.

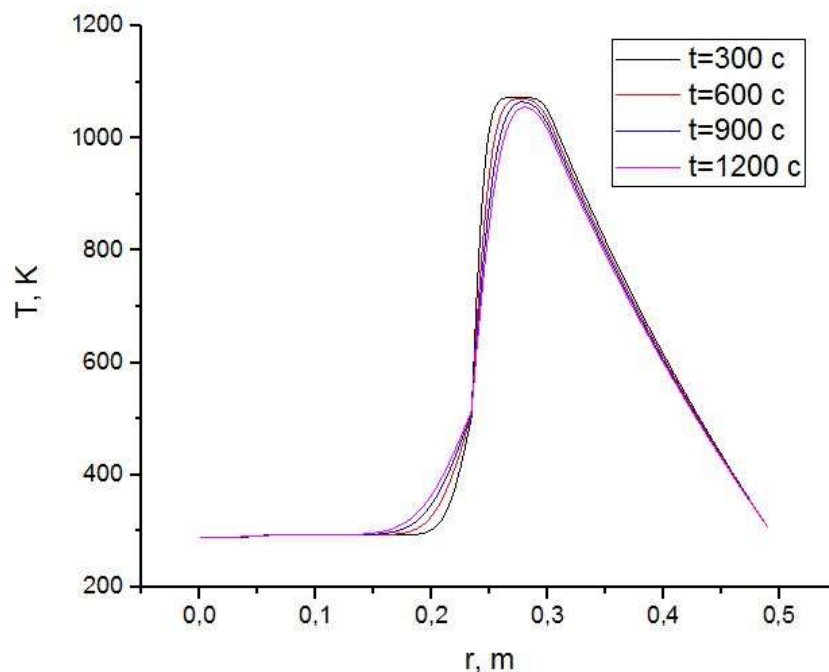


Рисунок 18 – Распределение температур в системе фрагмент корня-почва-ЛГМ-воздух при различном времени воздействия очага пожара

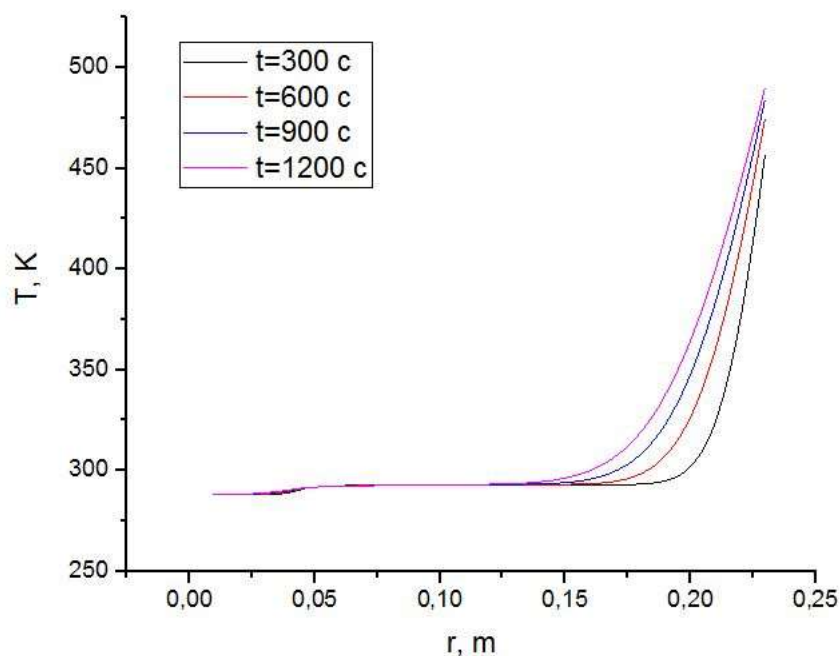


Рисунок 19 – Распределение температур в системе фрагмент корня-почва при различном времени воздействия очага пожара

Как видно из рисунка 19 летальное для коневой системы значение температуры  $330$  К на глубине слоя почвы равной  $0,08$  м при максимальном времени воздействия равном  $1200$  с, в то время как корень дерева залегает на глубине  $0,2$  м. Исходя из этого можно сделать вывод о том, что очаг лесного пожара не оказывает влияния на корни, расположенные глубже  $0,08$  м, и безопасен для древостоя с точки зрения термических повреждений корней.

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

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ6В	Заковряшину Дмитрию Александровичу

Инженерная школа энергетики		Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова	
Уровень образования	Магистр	Направление подготовки	13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НТИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Месячный оклад НР - 26300 руб Месячный оклад инженера - 17000 руб
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Амортизационные отчисления 20 %
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам составляют 30% от ФОТ

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

1. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Планирование НТИ
2. Разработка устава научно-технического проекта	Смета затрат на проект
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Определение практической ценности проекта
4. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	

**Перечень графического материала:**

--

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

--	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Кузьмина Наталия Геннадьевна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ6В	Заковряшин Д.А.		

## **4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Анализируя события последних десятилетий можно говорить о том, что лесные пожары превратились из природного регулирующего фактора в катастрофические явления, ведущие к экологическому, экономическому и социальному ущербу.

До настоящего времени в научной периодике опубликованы главным образом работы посвященные натурным наблюдениям за отпадом деревьев в древостоях.

В ходе данной работы были созданы модели, позволяющие прогнозировать отпад деревьев и оценивать потенциальные повреждения, нанесенные корневой системе дерева в результате воздействия лесного пожара. Полученные данные можно использовать в современных системах ГИС для оценки пожарной опасности.

### **4.1. Планирование работ и оценка времени их выполнения.**

В данной работе принимают участие инженер и научный руководитель – кандидат физико-математических наук, доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей. Был составлен перечень работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ. В таблице 2 представлен перечень работ, исполнители и продолжительность выполнения каждой работы в рамках проведения научного исследования.

Таблица 2 – Перечень работ, исполнители и продолжительность выполнения каждой работы

№ раб.	Наименование работ	Количество исполнителей	Продолжительность, дней
1	Выбор темы и направления проведения экспериментов	НР, инженер	1
2	Поиск, обзор и анализ статей по выбранной тематике	Инженер	15
3	Постановка цели и задач исследования	НР, инженер	1
4	Физическая и математическая постановка задачи первой модели	НР, инженер	2
5	Численное исследование первой модели	Инженер	15
6	Обработка результатов численного исследования первой модели	Инженер	2
7	Физическая и математическая постановка задачи второй модели	НР, инженер	2
8	Численное исследование второй модели	Инженер	15
9	Обработка результатов численного исследования второй модели	Инженер	2
10	Физическая и математическая постановка задачи третьей модели	НР, инженер	2
11	Численное исследование третьей модели	Инженер	15
12	Обработка результатов численного исследования третьей модели	Инженер	2
13	Сравнение результатов исследования с результатами других исследователей, определение новизны и написание выводов	Инженер	5
14	Оформление проведенной работы, составление пояснительной записки	Инженер	20
15	Проверка проекта	НР, инженер	2
ИТОГО		НР: 10 дней, Инженер: 101 дней	

#### 4.2. Смета затрат на экспериментальное исследование.

Смета затрат на экспериментальной исследование эффективности работы водяного теплового насоса состоит из следующих статей:

$$K_{эк.ис} = K_{mat} + K_{ам} + K_{з.пл} + K_{с.о} + K_{пр} + K_{накл} \quad (24)$$

где  $K_{mat}$  – материальные затраты;  
 $K_{ам}$  – амортизация;  
 $K_{з.пл}$  – затраты на заработную плату;  
 $K_{с.о}$  – затраты на социальные нужды;  
 $K_{пр}$  – прочие затраты;  
 $K_{накл}$  – накладные расходы.

#### 4.2.1. Материальные затраты

Под материальными затратами поминается величина денежных средств, потраченных на канцелярские принадлежности, необходимые для проведения работы. Величину этих затраты в данной работе принимаем в размере  $K_{mat} = 1000$  руб.

#### 4.2.2. Амортизация компьютерной техники

Амортизация показывает уменьшение стоимости компьютерной техники, на которой выполнялась работа, в следствие ее износа. Амортизация компьютерной техники рассчитывается по формуле:

$$K_{ам} = \frac{T_{исп}}{T_{календ}} \cdot Ц \cdot \frac{1}{T_{сл}}, \quad (25)$$

где  $T_{исп.}$  – время использования устройства;

$T_{календ.}$  – календарное время (365 дней);

$Ц$  – цена устройства;

$T_{сл}$  – срок службы устройства.

В экспериментальных исследованиях использовался ноутбук ASUS X553M стоимостью 25000 рублей и сроком службы 7 лет. Таким образом, амортизация компьютерной техники составляет:

$$K_{ам} = \frac{101}{365} \cdot 25000 \cdot \frac{1}{7} = 988 \text{ руб.}$$

### 4.2.3. Затраты на заработную плату

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. Месячная заработная плата определяется следующим образом:

$$ЗП_{мес.} = k_1 \cdot k_2 \cdot ЗП_{оклад}, \quad (26)$$

где  $k_1$  – коэффициент, учитывающий отпуск, равный 10% ( $k_1 = 1,1$ );

$k_2$  – районный коэффициент, равный 30% ( $k_2 = 1,3$ );

$ЗП_{оклад}$  – месячный оклад участников проекта (научный руководитель – 26300 руб, инженер – 17000 руб).

$$ЗП_{мес} = 1,1 \cdot 1,3 \cdot 17000 = 24310 \text{ руб}$$

$$ЗП_{мес} = 1,1 \cdot 1,3 \cdot 26300 = 37609 \text{ руб.}$$

Фактическая заработная плата за работу над проектом:

$$ЗП^{факт} = \frac{ЗП_{мес}}{d} \cdot n^{факт}, \quad (27)$$

где  $ЗП_{мес}$  – месячная зарплата работника ТПУ;

$d$  - количество рабочих дней в месяце ( $d = 21$ );

$n^{факт}$ . – фактическое число дней в проекте.

$$ЗП_{Инж}^{факт} = \frac{24310}{21} \cdot 101 = 116919 \text{ руб.}$$

$$ЗП_{НР}^{факт} = \frac{37609}{21} \cdot 10 = 17909 \text{ руб.}$$

Затраты на заработную плату складываются из заработных плат инженера и научного руководителя:

$$\Sigma ЗП = K_{з.пл} = ЗП_{инж}^{факт} + ЗП_{НР}^{факт}, \quad (28)$$

где  $ЗП_{инж}^{факт}$  – фактическая заработная плата инженера;

$ЗП_{НР}^{факт}$  – фактическая заработная плата научного руководителя.

$$K_{з.пл} = 116919 + 17909 = 134828 \text{ руб.}$$

### 4.2.4. Затраты на социальные нужды



Затраты на социальные нужды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.) принимаются в размере 30% от затрат на заработную плату:

$$K_{c.o.} = 0,3 \cdot K_{з.пл.}, \quad (29)$$

$$K_{c.o.} = 0,3 \cdot 134828 = 40449 \text{ руб.}$$

#### 4.2.5. Прочие затраты

Прочие затраты принимаются в размере 10% от суммы материальных затрат, амортизации, затрат на заработную плату и затрат на социальные нужды:

$$K_{пр} = 0,1 \cdot (K_{mat.} + K_{ам.} + K_{з.пл.} + K_{c.o.}), \quad (30)$$

$$K_{пр} = 0,1 \cdot (1000 + 988 + 134828 + 40449) = 17727 \text{ руб.}$$

#### 4.2.6. Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. В расчетах эти расходы принимаются в размере 70 - 90 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации. Смета затрат на проведение работы сведена в таблицу 3.

$$K_{нак.} = 0,9 \cdot K_{з.пл.}, \quad (31)$$

$$K_{нак.} = 0,9 \cdot 134828 = 121345 \text{ руб.}$$

Таблица 3 – Смета затрат на проект

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Материальные затраты	1000
Амортизация	988
Затраты на заработную плату	134828
Затраты на социальные нужды	40449
Прочие затраты	17727
Накладные расходы	121345
Итого	316387

В ходе работы были разработаны модели, описывающие теплоперенос в системе корень дерева – почва – ЛГМ – воздух при воздействии лесного пожара. Данные, полученные в результате численного исследования могут быть использованы для прогнозирования отпада древостоев при лесном пожаре.

Разработанные модели могут быть интегрированы в существующие системы ГИС, для более точного определения пожарной опасности, позволяя таким образом предупреждать отпад деревьев в результате огневых поражений корневой системы.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5БМ6В	Заковряшину Дмитрию Александровичу

<b>Инженерная школа энергетики</b>		<b>Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова</b>	
<b>Уровень образования</b>	<b>Магистр</b>	<b>Направление подготовки</b>	<b>13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»</b>

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

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Тема: Математическое моделирование теплового воздействия низового лесного пожара на корень дерева. Основной является исследование процессов теплопереноса в системе корень-почва-ЛГМ-воздух, во время лесного пожара. Область применения: вычислительные системы геоэкологического мониторинга лесных массивов, основанные на физически содержательных математических моделях теплопереноса. Рабочая зона: Аудитория 49 здания 4-го корпуса ТПУ.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Производственная безопасность</b>	1. Анализ вредных факторов, проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – предлагаемые средства защиты – описание технических систем, обеспечивающих требования нормативов 2. Анализ опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – электробезопасность; – пожар, взрывобезопасность
<b>2. Экологическая безопасность:</b>	– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	– перечень возможных ЧС на объекте; – либо, выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации;
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	– специальные правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия управления охраной труда, ООС, ЧС; – Перечень законодательных и нормативных документов в порядке их цитирования по пунктам раздела

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

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
5БМ6В	Заковряшин Д.А.		

## **5. Социальная ответственность**

Анализируя события последних десятилетий можно говорить о том, что лесные пожары превратились из природного регулирующего фактора в катастрофические явления, ведущие к экологическому, экономическому и социальному ущербу. Повышенные температуры лесных пожаров оказывают негативное влияние на лесные древостои, приводя к их повреждению и даже гибели. В настоящее время существует масса работ посвященных прогнозированию лесной пожарной опасности на основе статистических данных о лесных пожарах. Помимо прогнозирования лесной пожарной опасности чрезвычайно важным является развитие вычислительных систем геоэкологического мониторинга лесных массивов, подверженных воздействию лесных пожаров, основанием которых должны стать физически содержательные математические модели теплопереноса.

Целью работы - исследование процессов теплопереноса в системе корень-почва-ЛГМ-воздух, во время низового лесного пожара.

Значимость полученных результатов для практики заключается в возможном использовании программных инструментов на основе разработанных математических моделей теплопереноса в корневой системе дерева в системах геомониторинга лесных массивов.

Социальную ответственность является основой для формирования эффективных форм социально-экономического взаимодействия в современном обществе. Социальная ответственность может проявляться на любом уровне – от индивида до государства.

Наименее изученным в настоящее время является феномен индивидуальной социальной ответственности (ИСО) – при этом существующий гораздо дольше других видов ответственности. Индивидуальная социальная ответственность возникает, когда человек перестает заботиться только о себе, когда в круг объектов заботы включает ближнее окружение, местное сообщество и т.д.

Индивидуальная экологическая ответственность – форма проявления экологического сознания, которое формируется в процессе образования.

Корпоративная социальная ответственность (КСО) – это концепция, в соответствии с которой организации учитывают интересы общества, возлагая на себя ответственность за влияние их деятельности на фирмы и прочие заинтересованные стороны общественной сферы. Это обязательство выходит за рамки установленного законом обязательства соблюдать законодательство и предполагает, что организации добровольно принимают дополнительные меры для повышения качества жизни работников и их семей, а также местного сообщества и общества в целом.

Корпоративная социальная ответственность бизнеса – это добровольный вклад бизнеса в развитие общества в социальной, экономической и экологической сферах, связанный напрямую с основной деятельностью компании и выходящий за рамки определенного законом минимума.

Итак, важнейшей задачей предприятия является соблюдение техники безопасности труда и их пагубного воздействия на окружающую среду.

### **5.1. Анализ проявления вредных факторов среды**

При работе в проектной лаборатории вредными факторами являются недостаточная освещенность и электромагнитные поля, шум, отклонение показателей микроклимата в помещении.

#### **5.1.1. Освещенность помещения**

Оценка освещенности рабочей места производится в соответствии с [37] для соблюдения нормативных условий работы в различных помещениях.

К рабочему освещению предъявляют следующие основные требования:

1. создание необходимой освещённости в рабочей зоне согласно нормам;
2. длительность и бесперебойность работы оборудования в заданных условиях среды;

3. спектральный состав в освещении должен быть схож с естественным, рациональное направление света и постоянное освещение во времени, ограничение прямой и отражённой блёскости;
4. пожарная и электрическая безопасность осветительных установок;
5. экономичность осветительных устройств.

Источники света выбирают в зависимости от размеров помещения.

В рассматриваемом помещении к установке приняты люминесцентные лампы.

Рассчитаем методом коэффициента использования светового потока систему общего искусственного люминесцентного освещения в помещении длиной  $A$ , шириной  $B$ , высотой  $H$ . В помещении выполняется работа, требующая освещенности 250лк. Высота рабочей поверхности  $h_p$ . Коэффициент отражения стен  $\rho_c$ , потолка -  $\rho_n$ . Коэффициент запаса  $K$ , коэффициент равномерности освещения -  $Z$ .

Таблица 4 -Исходные данные

A, м	B, м	H, м	$h_p$ , м	$\rho_c$ (%)	$\rho_n$ (%)	K	Z
18	13	4.5	0.9	50	50	1.7	1

Выбираем светильники типа ШОД,  $\lambda = 1,3$ .

Приняв расстояние светильников от перекрытия  $h_c = 0,5$  м, получаем

$$h_n = H - h_c = 4,5 - 0,5 = 4 \text{ м}; \quad (32)$$

$$h = h_n - h_p = 4 - 0,9 = 3,1 \text{ м}; \quad (33)$$

$$L = h \cdot \lambda = 1,3 \cdot 3,1 = 4,03 \text{ м}; \quad (34)$$

$$L/3 = 1,34 \text{ м}. \quad (35)$$

Размещаем светильники в четыре ряда. В каждом ряду можно установить 9 светильников типа ШОД мощностью 40 Вт (с длиной 1,228 м)., при этом разрывы между светильниками в ряду составят 40 см. Изображаем в масштабе план помещения и размещения на нем светильников (рисунок 31). Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении  $N = 72$ .

Находим индекс помещения:

$$i = S / h(A+B) = 234 / (3,1 (18 + 13)) = 2,4 \quad (36)$$

Коэффициент использования светового потока:  $\eta = 0,5$ .

Определяем потребный световой поток ламп в каждом из рядов:

$$F = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{250 \cdot 234 \cdot 1,5 \cdot 1}{72 \cdot 0,5} = 2437,5 \text{ Лм} \quad (37)$$

где  $E_n$  – нормируемая минимальная освещённость по [37], лк;  $S$  – площадь освещаемого помещения, м<sup>2</sup>;  $K_3$  – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т.е. отражающих поверхностей), наличие в атмосфере цеха дыма, пыли (табл. 9) [38];  $Z$  – коэффициент неравномерности освещения, отношение  $E_{cp} / E_{min}$ . Для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1;  $N$  – число ламп в помещении;  $\eta$  – коэффициент использования светового потока.

По табл. 4 [38] выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛБ40 Вт с потоком 2330 лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{л.станд} - \Phi_{л.расч}}{\Phi_{л.станд}} \cdot 100\% \leq +20\% \quad (38)$$

$$-10\% \leq 0,04\% \leq +20\%$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки:

$$P = 72 \cdot 40 = 2888 \text{ Вт}; \quad (39)$$

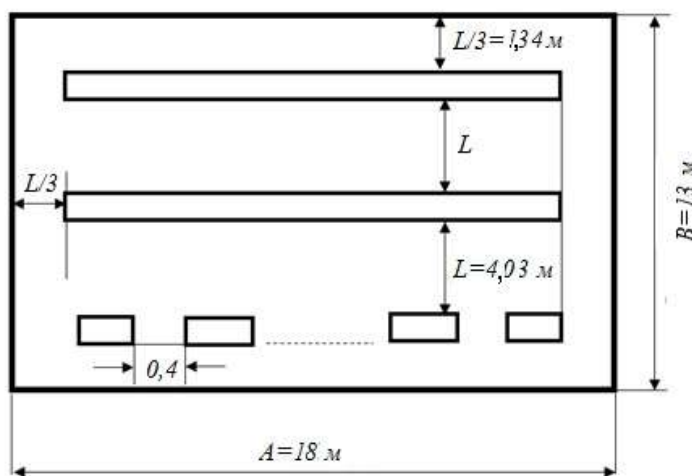


Рисунок 31 - План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

### **5.1.2. Шум и вибрация**

По характеру спектра в помещении присутствуют широкополосные шумы. Источником шумов являются электродвигатели в системе охлаждения ПЭВМ. Допустимый уровень шумов для рабочего помещения 75 дБ [39]. Вентиляторы, работающие в системе охлаждения ПЭВМ, издадут шум в пределах 37 дБ, что не выходит за допустимые пределы. Защита от шумов - заключение вентиляторов в защитный кожух.

### **5.1.3. Электромагнитное излучение**

Следующим вредным фактором являются электромагнитные поля (ЭМП).

Наиболее крупными источниками электромагнитных излучений считаются телевизионные средства связи и обработки информации, навигационные и радиолокационные средства, воздушные линии электропередач и др. Компьютер имеет сразу два источника электромагнитного излучения (системный блок и монитор).

Защита от электромагнитного излучения компьютера:

1. По возможности сократить время работы за компьютером и почаще делать перерывы.
2. Не оставлять компьютер включённым на длительное время или по возможности использовать "спящий режим" для монитора.
3. Желательно поставить монитор в угол, так чтобы стены поглощали излучение, потому что электромагнитное излучение от стенок монитора очень значительное. Таким образом расстановке мониторов в помещении необходимо уделить особое внимание.
4. Компьютер должен быть заземлён. Если приобретены защитные экраны, то их тоже надо заземлить, для этого специально предусмотрен провод с металлической прищепкой на конце.



На территории Российской Федерации действует [40], который устанавливает санитарно-эпидемиологические требования к персональным электронно-вычислительным машинам (ПЭВМ) и условиям труда.

Нормами регламентируется площадь на одно рабочее место пользователей компьютером с видео дисплейным терминалом (ВДТ) на базе плоских дискретных экранов (плазменные, жидкокристаллические), которая составляет 4,5 м<sup>2</sup>. При размещении рабочих мест с ПЭВМ расстояние между рабочими столами должно быть больше 2 м, а расстояние между мониторами - больше 1,2 м. Экран видеомонитора должен находиться на расстоянии 0,5 – 0,7 м, от глаз пользователей. Рекомендуемая высота поверхности рабочего стола для взрослых пользователей должна быть в пределах 0,7 – 0,8 м. На столе клавиатура должна находиться на расстоянии 0,1 – 0,3 м от края, обращенного к пользователю, или на отдельной рабочей поверхности, которая регулируется по высоте от уровня столешницы.

Суммарное время регламентированных перерывов при работе с персональными компьютерами устанавливается согласно уровню нагрузки за рабочую смену и категории трудовой (таблица 5).

Таблица 5 – Суммарное время нормируемых перерывов в зависимости от вида продолжительности работы и категории трудовой деятельности с компьютером

Категория работы с компьютером	Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работ с компьютером			Суммарное время нормируемых перерывов, мин.	
	группа А, количество знаков	группа В, количество знаков	группа С, ч	При 8 часовой смене	При 12 часовой смене
I	до 20 000	до 15 000	до 2	50	80
II	до 40 000	до 30 000	до 4	70	110
III	до 60 000	до 40 000	до 6	90	140

Разделяют 3 группы трудовой деятельности:

1. группа А - работа по считыванию информации с монитора с наличием предварительного запроса;
2. группа В - работа по вводу информации;
3. группа С - работа в виде диалога с компьютером.

При выполнении работ в течение рабочего дня, которые относятся к различным видам трудовой деятельности, за основную принимают такую работу с компьютером, которая занимает более 50% времени в течение рабочей смены.

Устанавливают 3 категории тяжести и напряженности работы с компьютером:

1. для группы А - по суммарному числу считываемых знаков за рабочий день, но менее 60 000 знаков за смену;
2. для группы В - по суммарному числу вводимых или считываемых знаков за рабочий день, но менее 40 000 знаков за смену;
3. для группы С - по суммарному времени работы с компьютером за рабочий день, но менее 6 ч за смену.

#### **5.1.4. Микроклимат помещения**

Метеорологические условия (микроклимат) в производственных условиях определяется следующими параметрами:

1. температурой воздуха  $t, ^\circ\text{C}$ ;
2. относительной влажности  $\varphi, \%$ ;
3. скоростью движения воздуха на рабочем месте  $v, \text{м/с}$ .

Санитарно-гигиенические требования к помещениям для эксплуатации ПЭВМ лабораторной установки следующие:

1. запрещено располагать рабочие места с ПЭВМ в подвальных помещениях,
2. пол помещения должен быть ровный, с антистатическим покрытием,
3. отделка помещения полимерными материалами нежелательна,

4. расстояние между боковыми поверхностями мониторов должно быть более 1,2 м,
5. соответствие параметров микроклимата для помещений с ПЭВМ,
6. помещения с компьютерами должны иметь площадь не менее 6 м<sup>2</sup> на одного работающего. При использовании монитора с жидкокристаллическими мониторами, или работе на компьютере не более 4 часов в день допускается площадь не менее 4,5 м<sup>2</sup>.

В рабочем помещении при выполнении работ в холодный период года температура была 22,5°С, относительная влажность воздуха – 41 %, скорость движения воздуха – 0,08 м/с, что соответствует допустимым нормам.

#### **5.1.5. Механические повреждения**

Опасность травмирования присутствует только при монтажных работах, а при эксплуатации вычислительного оборудования вероятность получения механических травм пренебрежимо мала, так как в рабочем помещении отсутствуют какие-либо предметы, которыми могут быть нанесены телесные повреждения.

### **5.2. Анализ проявления опасных факторов среды**

#### **5.2.1. Электробезопасность**

Особую опасность для обслуживающего персонала представляет статическое электричество. Так при работе с сильно наэлектризованными материалами ощущаются лёгкие «покалывания», которые негативно влияют на психику рабочих, а на технологическом оборудовании в некоторых ситуациях даже могут способствовать травмам. Кроме этого, если через тело человека постоянно проходит малый ток, то это приводит к физиологическим изменениям в организме, которые перерастают в профзаболевания. Поэтому в соответствии с [41] существуют допустимые нормы напряжённости электростатических полей –  $E_{пред}$ . Время нахождения персонала в таких полях не регламентируется при  $E =$

20 кВ/м. При  $E_{\text{пред}} = 60$  кВ/м максимальное время нахождения персонала без средств защиты составляет 1 час.

Существуют следующие средства и методы защиты от статического электричества:

1. обеспечивающие отвод или рассеяние возникших электростатических зарядов;
2. снижающие электризацию веществ и материалов;
3. уменьшающие вероятность возникновения искровых разрядов, но при этом не влияющие на сам процесс электризации.

В первую группу средств и методов защиты входит заземление технологического оборудования. Несмотря на свою простоту данный метод необходим, т.к. энергия искрового разряда с технологического оборудования и незаземлённых элементов, которые проводят ток, во 1000 раз больше энергии разряда с диэлектриков. Всё электропроводящее оборудование и входящие в него элементы должны быть заземлены. По [42] электростатически заземлённым принято считать непроводящее оборудование, в каждой точке которого сопротивление по отношению к земле меньше  $5 \cdot 10^9$  Ом. Электросопротивление всей цепи заземления должно быть меньше 100 Ом.

### **5.2.2. Пожаробезопасность**

Противопожарная защита - это комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, предотвращение пожара, ограничение его распространения, а также для создания условий тушения пожара.

Во всех служебных помещениях обязательно должен быть план эвакуации людей, регулирующий действия персонала в случае возгорания и указывающий места расположения пожарной техники. К средствам тушения пожара относятся пожарные стволы, внутренние пожарные водопроводы, огнетушители, сухой песок, асбестовые одеяла.

В зданиях пожарные краны устанавливаются в коридорах, на площадках

лестничных клеток и входов. Для тушения пожаров на начальных стадиях широко применяются огнетушители. По виду используемого огнетушащего вещества огнетушители подразделяются на следующие основные группы: пенные, газовые и углекислые. В офисных помещениях при наличии оргтехники применяются чаще всего углекислотные огнетушители, плюсами которых является высокая эффективность тушения пожара, сохранность электронного оборудования, диэлектрические свойства углекислого газа, что позволяет использовать эти огнетушители, когда не получается обесточить электроустановку.

Организация мероприятий по выявлению опасности возгораний должно проводиться в любых помещениях складского и производственного назначения. При этом особые требования предъявляются в планировке здания, фундаменту, условиям использования помещения и режиму производства. Проведение независимой оценки рисков возгорания помогает выявить, когда и при каких условиях может начаться пожар. Основными критериями оценки пожаробезопасности являются:

1. установление разновидностей хранящихся в помещении горючих веществ;
2. количество свойств, которые могут спровоцировать возгорание;
3. оценка свойств процессов производства, реализуемых в конкретном помещении.

После проведения оценки помещению присваивается одна из категорий. Согласно строительным нормам и правилам [43] в зависимости от характеристики и количества веществ обращающихся в производстве, производства подразделяются по пожарной и взрывной опасности на категории А, Б, В, Г, Д.

К противопожарным мероприятиям в помещении относят следующие мероприятия:

1. помещение должно быть оборудовано: средствами тушения пожара, средствами связи, должна быть исправна электрическая проводка

осветительных приборов и электрооборудования.

- каждый сотрудник должен знать место нахождения средств пожаротушения и средств связи, помнить номера телефонов для сообщения о пожаре; уметь пользоваться средствами пожаротушения.

При невозможности самостоятельно потушить пожар необходимо вызвать пожарную команду, после чего поставить в известность о случившемся инженера по технике безопасности.

С целью предотвращения пожаров необходимо:

- Уходя из помещения проверить отключения всех электронагревательных приборов, электроустановок, а также силовой и осветительной сети;
3. Курить только в отведенных для курения местах;
4. В случае возникновения пожара приступить к тушению имеющимися средствами и вызвать по телефону «01» пожарную команду;
5. Сотрудники лаборатории должны быть ознакомлены с планом эвакуации людей и материальных ценностей при пожаре. План эвакуации должен находиться в каждом помещении и на каждом этаже лестничной клетки.

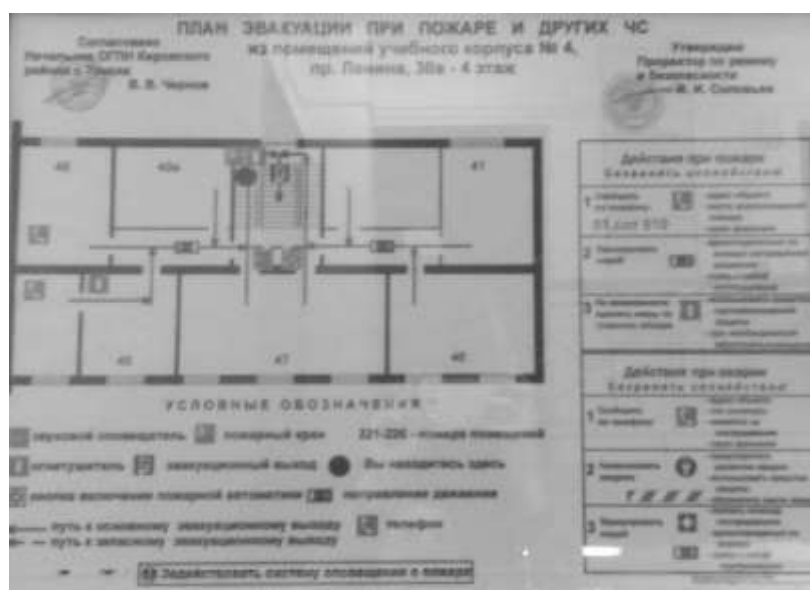


Рисунок 32- План эвакуации из рабочего помещения

### **5.3. Охрана окружающей среды**

В данной работе вред экологии может нанести неправильная утилизация используемого оборудования ПЭМ и люминесцентных ламп. Разумным подходом к утилизации твердых бытовых отходов является организации вторичной переработки вместо вывоза аппаратуры на свалки.

Таким образом, удастся получить некоторое количество ценных материалов, пригодных для повторного использования в качестве сырья, исключая стадию их добычи или изготовления. Данный способ позволят сократить расходы производства и снизить нагрузку на окружающую среду за счет уменьшения технологического цикла. Утилизация офисной техники с помощью профессионалов, позволяет обеспечить стабильное функционирование процессов производства с использованием вторичных материалов.

Рабочие компоненты ПЭМ можно использовать в другом оборудовании, а нерабочие либо оставлять на переработку и дальнейшее использование, либо подвергать захоронению на полигонах. Полигоны создают в соответствии с требованиями [44]. Полигоны должны находиться вдали от водоохраных зон и обладать санитарно-защитными зонами. В местах складирования производится гидролизация для предотвращения загрязнения грунтовых вод. Перед захоронением, на полигонах, отходы с высокой степенью влажности подвергаются обезвоживанию. Прессуемые отходы желательно спрессовать.

### **5.4. Защита в чрезвычайных ситуациях**

При проведении данных работ пожар является наиболее вероятной ЧС. При возникновении чрезвычайных ситуаций (ЧС) необходимо разработать организационно-технические мероприятия по поддержанию функционирования объекта. К организационным мероприятиям относятся:

1. планирование защиты населения и территорий от ЧС,
2. составления плана эвакуации,

3. разработка и поддержание в непрерывной готовности сил и средств для ликвидации ЧС,
4. создание достаточных запасов средств индивидуальной защиты,
5. подготовка рабочего персонала к действиям в условиях ЧС.

Основные инженерно-технические меры предполагают:

1. разработка, размещение, строительство и эксплуатация объектов,
2. строительство защитных сооружений,
3. разработка санитарно-защитных зон по периметру потенциально опасных объектов.

### **5.5. Законодательное регулирование организационных работ**

Основные положения по охране труда изложены в Конституции РФ, основных законодательствах РФ и Кодексах законов о труде РФ. В этих документах указано, что обеспечение безопасных условий труда, охрана здоровья трудящихся, устранение заболеваний и производственных травм являются одной из главных задач государства.

Организация работы по охране труда возложена на администрацию предприятия. Для персонала на основании отраслевых и межотраслевых Правил по технике безопасности должны быть разработаны инструкции по безопасной эксплуатации технологического оборудования. Каждый трудящийся должен соблюдать правила техники безопасности и немедленно сообщить своему непосредственному руководителю о неисправностях, которые могут повлечь аварии и травматизм.

Рабочее место при выполнении сидячих работ должно соответствовать требованиям [45]. «Общие эргономические требования» устанавливает общие эргономические требования к рабочим местам при выполнении работ в положении сидя при проектировании нового, модернизации действующего оборудования и производственных процессов.

Комплексная инженерная деятельность руководителя на каждом предприятии всегда должна учитывать 3 уровня социальной ответственности за



решения, которые он принимает для исполнения федерального законодательства и нормативных правовых актов в области безопасности жизнедеятельности, защиты окружающей среды и чрезвычайных ситуаций.

Первый уровень, также базовый, является обязательной составляющей социальной ответственности и предполагает выполнение следующих обязательств: своевременная оплата налогов, выплата заработной платы, по возможности — предоставление новых рабочих мест (расширение рабочего штата).

Второй уровень социальной ответственности предприятия предполагает использование инструментов, направленных на повышение качества внутренней среды для работников предприятия: обеспечение медицинским добровольным страхованием, возможности повышения квалификации, обеспечение жильем, детскими садами детей работников и т.п. Такой тип ответственности был условно назван «корпоративной ответственностью».

Третий уровень предполагает деятельность, направленную на развитие общества, повышение качества жизни населения на территории, где работает предприятие.

## **Вывод**

В данной главе рассматривалось воздействие вредных и опасных факторов в рабочей зоне лабораторного помещения на организм человека и меры принимаемые для ограничения воздействия этих факторов. Также были рассмотрены чрезвычайные ситуации и меры, принимаемые при их возникновении. Затем были рассмотрены действующие документы, регулирующие правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

В данной работе исследовались процессы теплопереноса в системе корень-почва-ЛГМ-воздух во время низового лесного пожара. В настоящее время лесные пожары превратились из природного регулирующего фактора в катастрофическое явления, приводящие к экономическому, экологическому и социальному ущербу. В связи с этим возникает необходимость своевременного предупреждения пожаров, а также прогнозирования их распространения и последствий. На данный момент существует масса работ, посвященных прогнозированию лесной пожарной опасности, основанные на статистических данных о лесных пожарах. Однако чрезвычайно важным является развитие ГИС, основанных на физически содержательных моделях теплопереноса. Модели, полученные в ходе данного исследования, позволят прогнозировать отпад деревьев, подверженных воздействию низового лесного пожара.

## Заключение

В ходе работы были созданы математические модели теплопереноса в системах корень-почва-ЛГМ-воздух и корень-почва-ЛГМ. Данные модели могут быть использованы для геоэкологического мониторинга лесных массивов, позволяя оценивать потенциальный ущерб корневой системе древостоев и прогнозировать их отпад.

В качестве объекта исследования был выбран отдельный корень сосны сибирской, как характерного представителя флоры Сибири. Данная древесная порода имеет поверхностную корневую систему, большая часть корней которой расположена у поверхности и уходит вглубь до 3 метров. Этот факт, а также наличие большого количества смол в древесине делают корневую систему сосны сибирской чрезвычайно уязвимой для теплового воздействия низового лесного пожара.

Численное исследование разработанных моделей проводилось при помощи метода конечных разностей на языке высоко уровня Pascal.

В ходе численного исследования одномерной редуцированной модели изучался процесс кондуктивного теплопереноса в системе корень-почва-ЛГМ-воздух. Были получены распределения температуры при воздействии очага возгорания, температурой 1073 К в различные моменты времени: 300с, 600с, 900с, 1200с. Было установлено, что смертельная для камбия температура достигается только на глубине до 0,08 м.

В ходе численного исследования двумерной редуцированной модели изучался процесс кондуктивного теплопереноса в системе корень-почва-ЛГМ-воздух при движении фронта пламени низового лесного пожара. Максимальная температура фронта пламени составляла 1073 К. В результате были получены распределения характерные распределения температуры, анализируя которые можно сделать следующие выводы: при скоростях движения фронта пожара, находящихся в диапазоне от 0,1 до 0,5 м/с летальная для камбия температура 54 °С достигается только на глубине до 0,01 м, небольшая величина глубины

прогрева имеет две причины: существенный отвод тепла слоем окружающего воздух и коротким временем прямого воздействия очага пламени от 1 до 5 с.

В ходе численного исследования двумерной модели изучался процесс кондуктивного и конвективного теплопереноса в системе корень-почва-ЛГМ при движении фронта пламени низового лесного пожара. Максимальная температура фронта пламени составляла 1073 К. В результате были получены характерные распределения температуры при скоростях движения фронта пламени 0,1 и 0,5 м/с и температурах окружающего воздуха 15 и 25 °С. Анализируя полученные распределения можно сделать вывод о том, что скорость движения фронта пламени оказывает намного более существенное влияние на максимальную глубину прогрева, чем температура окружающей среды. Максимальная глубина прогрева до летальной для камбия температуры 54 °С наблюдалась при скорости 0,1 м/с и температуре воздуха 25 °С и составляла 0,008 м. Температура корня, расположенного на глубине 0,02 м, не превышала 32 °С. В результате исследования также были получены зависимости максимальной опасной глубины залегания корня, при которой возможно достижение температуры камбия 54 °С и повреждение корня, от скорости движения фронта пламени пожара. Анализируя данные зависимости можно сделать вывод том, что опасная глубина залегания начинает резко увеличиваться при скоростях движения фронта пламени меньше 0,1 м/с. При скорости 0,01 м/с она составляет уже 0,032 м, а при 0,001 м/с 0,072 м. Данные скорости движения фронта пламени характерны для устойчивого низового лесного пожара, развивающегося при средних и высоких запасах лесных горючих материалов. Такое количество ЛГМ образовывается в местах лесозаготовки, соответственно можно сделать вывод о том, что массивы сосны сибирской, расположенные возле мест заготовки леса, имеют высокие шансы серьезных повреждений корневой системы и последующего отпада в случае возникновения пожара.

Полученные данные качественно и количественно соответствуют проведенным натурным исследованиям, приведенным в таблице 6.

Сравнивая данные исследований двумерной задачи с учетом конвекции и без нее можно прийти к выводу о том, что конвективный теплоперенос вносит существенный вклад в процесс теплопереноса, отводя теплоту от области решения. Максимальная глубина прогрева до летальной температуры при одинаковой скорости движения фронта пламени 0,1 м/с составила 10 см при исследовании модели, не учитывающей конвективный теплоперенос, и 3,2 см при исследовании учитывающей.

Таблица 6 – зависимость максимальной температуры почвы от типа горения

Тип горения	Макс. Температура, °С, при глубине почвы, см				
	0	1	2,5	5	10
Горение слабой интенсивности для сниженных запасов ЛГМ	500	75	45	40	30
Горение порубочных остатков (средний запас)	400	-	90	70	50
Горение порубочных остатков (большой запас)	550	90	-	75	-
Горение валов горючих материалов или куч бревен	830	-	260	100	60

Данные, полученные в результате численного исследования математических моделей теплопереноса, могут быть использованы в системах ГИС по борьбе с лесными пожарами для прогнозирования отпада древостоев, подверженных воздействию низового лесного пожара.

## Список использованных источников

1. Абдурагимов И. М. Физико-химические основы развития и тушения пожаров: учеб. пособие для вузов / И. М. Абдурагимов. – М. : ВИПТШ МВД СССР, 1980. – 255 с.
2. Барталев С. А. Спутниковый мониторинг бореальных экосистем / С. А. Барталев, Е. А. Лупян // Природа. – 2005. – № 9.
3. Вакуров А. Д. Лесные пожары на севере / А. Д. Вакуров. – М. : Наука, 1975. – 100 с.
4. Валендик Э. Н. Основы пожароуправления в бореальных лесах Евразии: учеб. пособие / Э. Н. Валендик, В. Н. Векшин, Р. Ласко. – М. : Алекс, 2004. – 208 с.
5. Воробьев Ю. Л. Лесные пожары на территории России: состояние и проблемы / Ю. Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов. – М. : ДЭКС-ПРЕСС. – 312 с.
6. Дорст Ж. До того, как умрет природа / Ж. Дорст. – М. : Прогресс, 1968. – 480 с.
7. Залесов С. В. Лесная пирология: учеб. пособие / С. В. Залесов. – Екатеринбург: Урал. лесотехн. акад., 1998. – 296 с.
8. Иванов А. В. Лесная пирология: конспект лекций: учебник / А. В. Иванов. – Йошкар-Ола: ГОУ ВПО Марийского ГУ, 2010. – 276 с.
9. Болдаруев В.О. Основные результаты энтомологических исследований в Бурятии. – В кн.: Зоологические проблемы Сибири. Новосибирск, 1972.
10. Борисов А.А. Климатология Советского Союза. Л., 1970.
11. Сыроечковский Е.Е. Биологические ресурсы Сибирского Севера.
12. Эзау К. Анатомия семенных растений. Книга 2 М.: "Мир", 1980, 30 – 36 с.
13. Корольченко А. Я. Процессы горения и взрыва : учебник для вузов / А. Я. Корольченко. – М. : Пожнаука, 2007. – 266 с.

14. Мелехов И. С. Лесная пирология : учеб. пособие по образованию в области лесного дела / И. С. Мелехов, С. И. Душа-Гудым, Е. П. Сергеева. – М. : МГУЛ, 2008. – 291 с.
15. Мелехов И. С. Лесная пирология : учеб. пособие / И. С. Мелехов. – 5-е изд., стер. – М. : МЛТИ, 1985. – 296 с.
16. Софронов М. А. Огонь в лесу / М. А. Софронов, А. Д. Вакуров. – Новосибирск: Наука, 1981. – 124 с.
17. Конев Э. В. Физические основы горения растительных материалов. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1977. 239 с.
18. Мелехов И.С. Влияние пожаров на лес. – М.; Л.: Гослестехиздат, 1948. 44 с.
19. Мелехов И.С., Опыт изучения пожаров в лесах севера, 1939.
20. Мелехов И.С., Лесные пожары и борьба с ними, изд. 4, М., 1936.
21. Мелехов И.С., О возобновлении ели на горях, журн. Лесное хозяйство и лесозэксплоатация, № 10, 1933.
22. Мелехов И.С. Об изменении анатомического строения древесины под влиянием лесных пожаров, изд. НИС АЛТИ, 1940.
23. Мелехов И.С. О качестве северной сосны, Архангельск, 1932.
24. Молчанов А.А., Повреждение насаждений и убытки от лесных пожаров, журн. Лесная индустрия, № 4, 1934.
25. Орлов, К вопросу о технических качествах горелой древесины, журн. Лесное хозяйство, № 2, 1930.
26. Нестеров В.Г., Пожарная охрана леса, М., 1945.
27. Бритков В. Б. Архитектура интеллектуальных информационных систем для принятия решений // Проблемы и методы принятия решений в организационных системах управления / ВНИИСИ АН СССР. М., 1988. С. 31—32.
28. Геловани В. А., Башлыков А. А., Бритков В. Б., Вязилов Е. Д. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды. М.: Эдиториал УРСС, 2001. 304 с.

29. Чандра А.М. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. М.: Техносфера, 2008. 312 с.
30. Антанайтис В. Основы мониторингов лесов. Тарту: Гос. ун-т 1985. С. 6–7.
31. Доррер Г. А., Доррер М. Г., Клишта И. Н. и др. Проблемы создания региональных информационно-аналитических систем по охране лесов от пожаров. // Математическое и физическое моделирование сопряженных задач механики и экологии: Избр. докл. междунар. конфции. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2000. С. 133—159.
32. Алексеева М. Н., Дюкарев А. Г., Полищук Ю. М., Пологова Н. Н. Исследование структуры лесоболотных комплексов Васюганской равнины с использованием ГИС, дистанционных и подспутниковых данных // Геогр. и прир. ресурсы. 2004. № 2. С. 71—77.
33. Гришин А. М., Фильков А. И. О геоинформационной системе прогноза лесной пожарной опасности // Экологические системы и приборы. 2004. № 8. С. 26—28.
34. Веницианов Е. В., Виниченко В. Н., Гусева Т. В. и др. Экологический мониторинг: шаг за шагом / Под ред. Е. А. Заика. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2003. 252 с.
35. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. Разностные методы решения задач тепло-проводности: учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2007. 172 С.
36. Самарский А.А. Теория разностных схем: учебное пособие. Москва: Наука Физико-математическая литература, 1989. 616 с.
37. СанПиН 2.2.1/2.1.1278-03
38. СНиП 23-05-95
39. Бородин Ю.В., Василевский М.В., Дашковский А.Г., Назаренко О.Б., Свиридов Ю.Ф., Чулков Н.А, Федорчук Ю.М.-Безопасность жизнедеятельности. Практикум: учебное пособие по выполнению индивидуальных заданий для студентов всех специальностей – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009. – 50 с.
40. ГОСТ 12.11003-83 «Шум. Общие требования безопасности»



41. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»
42. ГОСТ 12.1.045-84 «Электростатические поля, допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля»
43. ПБ 03-108-96 «Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов»
44. НПБ 105-2003 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»
45. ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»

Приложение А  
(обязательное)

**Mathematical modeling of the grassland forest fire thermal effect on  
the fragment of the root of a tree.**

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ6В	Заковряшин Дмитрий Александрович		

Консультант кафедры ТПТ:

Должность	ФИО	Подпись	Дата
Ассистент	Орлова Е.Г.		

Консультант – лингвист кафедры иностраных языков:

Должность	ФИО	Подпись	Дата
Доцент	Тарасова Е.С.		

## CONTENTS

INTRODUCTION

1 REVIEW CHAPTER.

1.1 Characteristics of forest fires

1.2. Characteristics of forest areas in Western Siberia.

1.3. Processes of thermal decomposition of wood and forest combustible materials.

CONCLUSION

REFERENCES

## INTRODUCTION

Forest fires become catastrophic phenomena that cause ecological, economic and social damage. High temperatures of forest fires have a negative impact on forests, leading to their damage and even death. There are a lot of works devoted to forest fire danger prediction on the basis of statistics on forest fires. Besides predicting forest fire danger, it is extremely important to develop technologies that predict the damage caused by forest fires to stands.

Therefore, the purpose of this work is the creation and numerical study of mathematical models of heat transfer processes in the root-soil-LGM-air system, during a forest fire.

The main objectives of the study are:

1. Review of literature and scientific publications
2. The formulation of the physical model
3. Creating a mathematical model
4. Choice of numerical investigation method
5. Verification of the model
6. Numerical study of the mathematical model
7. Formulation of conclusions

## 1. Review chapter

### 1.1. Characteristics of forest fires.

There are a lot of options for classifying forest fires. A simpler classification with a division into three types (grassroots, upland and peat) and two subspecies (stable and runaway) is used in this paper [1].

Ground forest fires spread over the soil cover. Forest litter, which consists of small branches, needles, leaves, bark; forest litter; ground cover of mosses, lichens and grasses; undergrowth, sowing and plant shoots, bark of the lower parts of tree trunks, felling residues and other combustible materials are affected to fire.



Figure 1- Grassroots forest fire.

Grassroots fires are divided into two types according to the nature of combustion and propagation velocity: stable and cursory. A cursory grassroots fire usually takes place in the spring, when only the upper layer of the ground cover forest fuel (FF) has dried. The speed of its propagation is quite high - 300-600 m / h and grows with the increasing of the wind speed. Positive daytime and negative night temperatures are characteristic for the autumn period because of this, there is a rapid drying of the grassy vegetation. The amount of biomass burned in cursory fires is insignificant, areas with high humidity remain unaffected, and the area passed by the

fire has a patchy structure. Ground fires destroy young trees, shoots and undergrowth. Also the bark of the lower part of the trees burns. In some cases, the fire can also transform into the upland, which is typical for young coniferous plantations with low crowns [2].

Complete combustion of forest litter and ground cover is typical for stable grass-roots forest fires. This type of fire usually takes place in the middle of summer, when the litter dries throughout the thickness. The undergrowth, forest litter and tree sprouts completely burn on areas affected by stable grass-roots fire. The trunks and roots of the trees burn, plantations are seriously damaged, and some trees die. The infestation of damaged stands with secondary pests is a common consequence of stable grassroots fires. The grass-roots fires transform into peat fires in peat soils, and in young forests into upland fires.

The fire of a steady grass-roots fire several times passes through one area. First of all, the surface layer of the litter burns, after that the lower layer is dried and burned. Stable grassroots fires are especially dangerous for forests with a superficial root system, because the return of a fire can cause to the complete destruction of an already weakened forest. The speed of fire varies from a few meters to 300 m / h in a stable fire [3].

A stable grassroots fire is often the second growth stage of a cursory fire. Grassroots fire begins with the ignition of the upper flammable layer of the ground cover, spreads over a certain area, then it spreads deeper into the litter and becomes stable. This type of fire is characterized by a stretched form of fire with an uneven zigzag edge along the front of the fire.

Forest fires are the most common. Their number is 97-98%, the area is 87-89% of all registered fires [4].

Upland fires arise and develop from grassroots fires in forests with low crowns.



Figure 2 - Upland forest fire.

Young coniferous forests are most exposed to upland fires. Coniferous forests located on the passes or in the upper part of steep slopes are affected to the upland fires. A grassroots fire dries up and heats up the crowns of the trees above, when the flames reach the trees there is an outbreak of crowns and arises an upland fire. Strong winds and droughts are the cause of the emergence and spread of these fires.

The number and area of the upper fires depend on the annual synoptic situation. Upland fires amount 1.5-2% of the number of fires, and their area is 10-12% of the area of all forest fires.

There are two types of forest fires - stable and cursory. Combustion occurs simultaneously in all tiers of vegetation during a stable fire. All trees die after such a fire. A stable upland fire extends at a speed of 300-600 m / h, in some cases 4-5 km / h [5].

A cursory forest fire can exist only in strong winds. After that the flash of crowns takes place on the dried section.

The thermal air column (thermal vortex) occurs when the crowns burn. Needles, burning twigs and sparks rise and spread 200-300 m, thereby creating new fires. The speed of fire propagation reaches 20-25 km / h during the jump along the crowns of trees.

The peat fire is characterized by the spread of fire in the peat layer of soils. The layers of peat and humus burn at the same time. As a result, the roots of tree species

are burned or damaged. Peat fire cannot stop all year. A grassroots fire can cause peat fire.



Figure 3 - Peat forest fire.

Flameless burning is typical for peat fire. The peat layer burns down over the entire depth to the mineral layer or moist soil horizon. Surface layers of peat can remain intact, and burning caverns with a depth of 1.0-1.5 m are under them. This fact makes it very difficult to find the edge of the fire. The propagation speed of peat fire is relatively small and ranges from several centimeters to several meters per day. As a rule, peat fires take place in the second half of summer and can continue until the spring floods. The average number of peat fires is 0.5-1%, and the area covered by fire - less than 1% of the area of all registered forest fires [6].

## **1.2. Processes of thermal decomposition of wood and forest combustible materials.**

Combustion is a rapidly flowing reaction in a substance that is inert in the initial state. The heat emission is the main factor that helps to attribute this type of transformation to the combustion reaction.

The basis of the combustion process is considered to be a chemical reaction that can proceed with progressive self-acceleration.

The chemical processes that take place during combustion are very complex. Even for the simplest case of burning hydrogen in oxygen, only a few elementary stages



have been discovered and studied at the moment. The reaction mechanisms of the following substances: methane, ethane and carbon monoxide are studied in detail. This knowledge is used to predict the conditions of ignition and combustion of other substances [7].

The propagation conditions of the reaction zone and critical phenomena play a key role for all combustion processes, regardless of the chemical nature of the process. The critical phenomena in the occurrence of the combustion process is a sharp change in the flow regime with a small change in the external conditions.

There are two types of thermal ignition: autoignition and forced ignition (ignition). Two processes are also distinguished in the case of thermal ignition: spontaneous combustion and self-ignition.

Self-ignition is the spontaneous occurrence of combustion due to the gradual accumulation of heat during the course of exothermic reactions in solid combustible materials.

Self-ignition is a sharp self-acceleration of exothermic chemical reactions, the initial stage of combustion.

Thermal autoignition is most typical for reactions that strongly depend on the rate of its flow, temperature and have a significant thermal effect.

The first ideas about the causes of thermal self-ignition of substances in a qualitative form are given by J. Vant-Hoff (1883) [7].

The theory of thermal self-ignition was developed by NN Semenov (1928). According to this theory, self-ignition of substances begins when heat is supplied to a combustible substance or material and when a certain temperature is reached, a slow oxidation reaction starts.

This reaction is accompanied by the release of heat and at some point the rate of heat removal becomes less than the rate of its release. In this case, the temperature of the reaction zone will increase indefinitely.

With increasing temperature, reaction rate and heat formation rate increase, and the rate of heat removal also increases, but still slower than the reaction rate.

The autoignition temperature depends on the heat transfer conditions and on the chemical composition of the mixture.

Intensive self-heating of the reaction zone and self-acceleration of the reaction, leading to thermal self-ignition of the reactant, begin with the ignition temperature.

According to the theory of H.N. Semenov, thermal self-ignition with a monotonous temperature distribution in the reaction volume for a reaction of zero order with activation energy E, thermal effect per unit volume Q and a pre-exponential factor  $k_0$  is described by the equation:

$$Q_+ = Qk_0e^{-E / RT} \quad (1)$$

where R is the universal gas constant (8.31 J / mol · K), T is the temperature.

In the process of autoignition, it is very difficult to separate the effect of temperature from the effect of active particles. Sometimes the leading role passes from active particles to heat generation during the course of the reaction [8].

The self-ignition temperature of the substance ( $T^*$ ) is the temperature at which the heat release rates ( $Q_+$ ) and heat dissipation ( $Q_-$ ) become equal:

$$Q_+(T) = Q_-(T) \quad (2)$$

The self-ignition temperature can be determined using the Semenov diagram (Figure 9). It is located at the intersection of the heat release and heat dissipation curves.

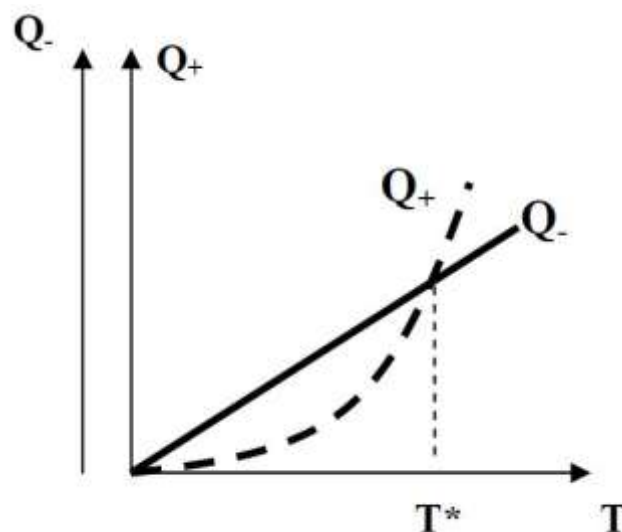


Figure 9 – Diagram of Semenov.

The following types of combustion are distinguished depending on the aggregate state of the fuel and oxidant: homogeneous and heterogeneous;

Homogeneous combustion takes place in homogeneous mixtures of fuel and oxidant. Air and fuel are mixed with each other in homogeneous mixtures.

Heterogeneous combustion takes place in inhomogeneous mixtures. Air and combustible matter are not mixed together and have phase surfaces in inhomogeneous mixtures. In the case of FF, combustion is heterogeneous [9].

In the general case, the total combustion time is determined by the following definition:

$$\tau_r = \tau_{ph} + \tau_{chem} \quad (3)$$

where  $\tau_{ph}$  - time of the physical stage of the process (diffusion of  $O_2$  to the source of ignition);  $\tau_{chem}$  - the time of the chemical reaction stage.

The time of the physical stage of the chemical reaction process is much less than the total reaction time for the combustion of homogeneous systems. In this case, the reaction rate is equal to the rate of the chemical reaction  $\tau_r \approx \tau_{chem}$ . Such combustion is called kinetic.

The passage time of  $O_2$  through the combustion products to the combustible substance is much longer than the time of the chemical reaction during the combustion of chemically heterogeneous systems. In this case, the reaction rate is equal to the rate of the physical reaction  $\tau_r \approx \tau_{ph}$ . Such combustion is called diffusion.

Examples of such combustion are burning of wood, forest litter and FF.

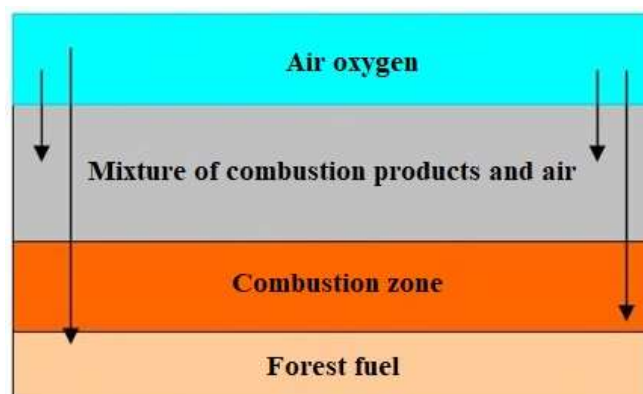


Figure 10 – Diffusion of oxygen into the combustion zone of FF (heterogeneous combustion).

The spread of the flame occurs due to the transfer of heat from layer to layer [9]. Heat is transferred as a result of the following physical processes:

1. thermal conductivity (transfer of heat energy);
2. radiation;
3. diffusion (mass transfer of combustible components).

The front of the flame is the zone in which the chemical reaction of oxidation takes place. The location time of substances in the flame front is in the range of  $10^{-3} \div 10^{-7}$  s.

The heat spreads radially during a chemical reaction, so all layers of combustible matter and air located nearby warm up. The distribution of temperatures in the ignition zone is shown in Figure 11.

The initial mixture has a temperature  $T_0$ . The temperature rises to the flame front to the autoignition temperature  $T^*$ . After this, the temperature rises sharply in the reaction zone to the combustion temperature  $T_c$ . The width of the heating zone depends on the flame propagation velocity and the thermal conductivity of the combustible mixture. The increase in thermal conductivity increases the heating zone, the increase in the rate of reactions reduces.

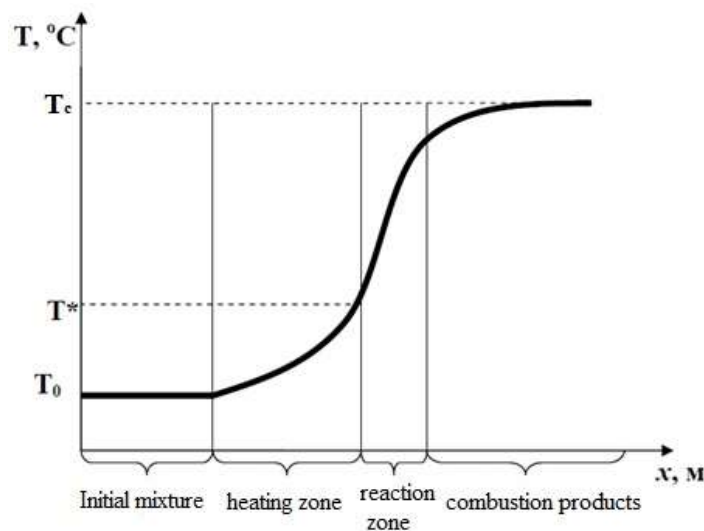


Figure 11 – Temperature distribution by zones: temperature of the heating zone, reaction zone temperature (flame front), temperature of the combustion products.

Forest combustible materials are non-consumable solids [9]. Combustion of these substances can be considered by the example of burning a match (Figure 12). This model assumes the following stages:

- 1 - heating of the solid phase; the thickness of the zone depends on the temperature and thermal conductivity of the substance;
- 2 - pyrolysis, or reaction zones in the solid phase, in which volatile combustibles are formed;
- 3 - pre-flame region in the gas phase, a mixture with an oxidizer forms;
- 4 - reaction zone, or flame, the conversion of pyrolysis products to volatile combustion products takes place;
- 5 - formation of combustion products.

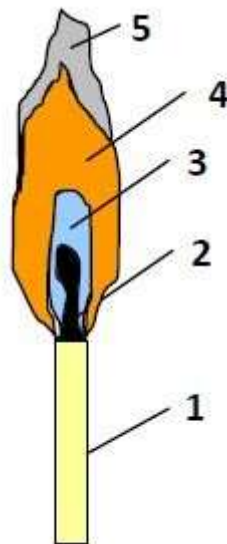


Figure 12 – Burning of wood. 1 - wood; 2 - carbonized wood; 3 - gases (volatile substances); 4 - flame; 5 - combustion products (smoke)

It can be seen that the burnt out piece of wood has become much thinner and has a black color (Fig. 12). This was due to the evaporation of the volatile part. Coal does not have time to completely burn out, because its burning rate is much slower than the burning rate of gases. Many solid combustibles (wood, straw, peat) contain oxygen in their composition. Much less oxygen is required for the combustion of such materials. This type of combustion is a diffusion combustion [10].

### **1.3. Geomonitoring systems for forest areas**

Forest fires cause great and often irreparable damage to natural and material resources. Lack of a full scientific basis is a significant obstacle for a qualitative and quantitative analysis of the spread, occurrence and suppression of forest fires. These factors complicate the task of choosing the best methods of extinguishing a fire. GIS is offered as a practical application that will effectively solve the problems of forest fire prevention and control [11].

GIS is a system designed to store and collect information about the current fire situation and the impact of forest fires on the natural and environmental situation for its mapping and dissemination, with the aim of integrating and analyzing these data for information support in decision-making in forest fires fighting and their consequences.

GIS are traditionally used to collect, store spatial data for further analysis and graphical visualization. However, the value of GIS and the contained geographic information increases significantly when the GIS is combined with a software base based on the methods and technologies of AI. One of the main features of AI methods, which include neural networks and expert systems, is a significant expansion of the range of tasks solved with the help of computer technology [11].

One of the important areas that increase the practical importance of using GIS technology and data mining technology is their implementation on the Internet.

All these technologies allow creating a GIS that contains an electronic map of the forestry. This card allows you to collect, store and manipulate map data, display a dynamically changing layer of fire hazard and fire area. This will allow us to calculate the optimal set of forces and means for extinguishing the fire, as well as predict the dynamics of afforestation.

GIS of forest fires is used to solve problems related to control of forest fires. The list of problems of accounting, planning, operational regulation, control and analysis that are being solved in the management of the forest protection system determines the functional structure of the system. There are the following actions for forest fire management:

1. Forecasting the occurrence of forest fire (definition of fire hazard);
2. Forecasting the spread of forest fire;
3. Assessment of damage caused by forest fires;
4. Support of decision-making for the prevention of forest fires;
5. Support for decision-making in the elimination of forest fires;
6. Support for decision-making in the aftermath of forest fires.

The GIS architecture is built on the classic MVC (Model-View-Controller) design pattern, which consists of three levels:

1. Model - a level that responds to requests from the controller, changing its state and providing data for the view level;
2. View - a level responsible for displaying information;
3. Controller - a level that interprets user input and informs the view and model of the need for a particular action.

It is important to note that both the Controller and View depend on the model. At the same time, the model does not depend either on behavior or on presentation. This division allows you to build a model regardless of the visual representation, and create several different representations for one model, which is one of the key advantages of the separation. The View level (the logical part of the GIS) consists of four main blocks, each of which is aimed at solving one of the listed tasks: forecasting the occurrence of a fire (fire risk calculation), forecasting the spread of a fire, assessing the damage from a fire, supporting decision making. The fire forecasting unit consists of two sub-tasks: long-term and short-term forecasting. The results of long-term prediction of fires are input to the development of a fire prevention strategy. The results of short-term forecasting of fires are used in the construction of operational plans for the elimination of forest fires [12].

At the View level, an electronic card is provided to the user. The electronic map has a layered structure consisting of the main (static) layers and additional (dynamic) layers. Dynamic layers display data that is pre-processed at the Model level. These layers include: the fire hazard distribution card (previously calculated in the fire forecasting unit), the dynamics of the fire (defined in the fire propagation prediction

unit), and decision support (the composition and placement of forces and facilities for the prevention, as well as the elimination of fires and their consequences, visually displayed on this layer). Static layers provide maps of forestry data. These parts include forest areas, which in turn can be subdivided into sub-layers of deciduous species, conifers, etc., water sources, which are divided into lakes, rivers, marshes, and other water bodies, sands, roads.

The model (data layer) describes spatial data consisting of two interrelated parts: factual (attributive) and cartographic. The factual component of the GIS data contains data on forest fires, meteorological data, normative and reference information, as well as data on the forest protection service resources. Cartographic data describes positional parameters of terrain (vector objects) [12].

Information updates in the GIS on forest fires fighting are divided into conditionally constant, seasonal and operational in terms of periodicity. The operational data changes one or several times a day. It includes data on existing and emerging forest fires, current and forecasted meteorological information, information on the position of funds and forces for the elimination of forest fires. Seasonal data are updated several times during the year. These include data for medium- and long-term fire hazard forecasts based on weather conditions, as well as data on the resources of the protection system and on the boundaries of the forest protection structural units. Conditionally constant data are updated less often than once a year. These include the boundaries of the administrative division of the territory, the characteristics of the forest fund, natural zoning, topographical description of the area [13].

Thus, the GIS for forest fires fighting allows:

1. reduce losses of valuable tree species due to faster liquidation of forest fires;
2. reduce the costs of forces and resources for extinguishing;
3. save people's lives;
4. identify the most dangerous areas of the area in order to plan fire prevention measures, such as inspecting the area, placing fire services, laying fire-fighting strips;



5. calculate ways to evacuate people in fires;
6. forecast the environmental consequences associated with forest fires.

## CONCLUSION

Forest fires cause great damage to natural and material resources. There is a lack of a full-fledged scientific base on this subject. Therefore, the problem of qualitative and quantitative analysis of fire danger arises. According to the most common classification of forest fires, three types of fires are distinguished according to the nature of flame propagation (grassroots, upland and peat) and two according to the degree of flame stability (cursory and stable). The grassroots forest fire is the most common (97-98% of the total number of fires), and represents a significant danger not only for the above-ground part of the tree, but also for the root system.

Forest combustible materials are non-consumable solids. There are five stages of burning forest fuel:

- 1 - heating of the solid phase; the thickness of the zone depends on the temperature and thermal conductivity of the substance;
- 2 - pyrolysis, or reaction zones in the solid phase, in which volatile combustibles are formed;
- 3 - pre-flame region in the gas phase, a mixture with an oxidizer forms;
- 4 - reaction zone, or flame, the conversion of pyrolysis products to volatile combustion products takes place;
- 5 - formation of combustion products.

## REFERENCES

1. Abduragimov, IM, Physico-Chemical Principles of Development and Extinguishing fires: Textbook. manual for universities / IM Abduragimov. - M.: VIPTSh MVD USSR, 1980. - 255 p.
2. Vakurov AD Forest fires in the north / AD Vakurov. - M.: Science, 1975. - 100 s.
3. Valendik EN Fundamentals of fire management in boreal forests of Eurasia: textbook / E. N. Valendik, V. N. Vekshin, R. Lasko. - M.: Alex, 2004. - 208 pp.
4. Vorobiev Yu. L. Forest fires on the territory of Russia: the state and problems / Yu. L. Vorobiev, VA Akimov, Yu. I. Sokolov. - M.: DEX-PRESS. - 312 sec.
5. Zalesov S. V. Forest pyrolysis: a textbook / S. Zalesov. - Ekaterinburg: the Urals. forestry. Acad., 1998. - 296 p.
6. Mathematical theory of combustion and explosion: a textbook for universities / Ya. B. B. Zeldovich [and others]. - M.: Science, 1980. - 479 p.
7. Ivanov AV Forest pyrology: lecture notes: textbook / A.V. Ivanov. - Yoshkar-Ola: Mari State University, 2010. - 276 p.
8. Clark JG Prehistoric Europe: an economic essay / JG Clark. - M.: Foreign Literature Publishing House, 1953. - 332 p.
9. Korolchenko A. Ya. The processes of combustion and explosion: a textbook for universities / A. Ya. Korolchenko. - M.: Pozhnauka, 2007. - 266 p.
10. Melekhov IS Forest pyrolysis: a textbook on education in field of forestry / IS Melekhov, SI Dusha-Gudym, EP Sergeeva. - M.: MSUH, 2008. - 291 p.
11. Melekhov IS Forest pyrolysis: a textbook / IS Melekhov. - 5<sup>th</sup> Edition - M.: MLTI, 1985. - 296 p.
12. A compendium of techniques for forecasting possible accidents, catastrophes, natural disasters in the RSE. - M., 1994. - Prince. 2: Methodology assessment of the consequences of forest fires / S. I Pekhoroshev [and others]; All-Russian Research Institute GOSS.
13. Sofronov, MA, Fire in the Forest / MA Sofronov, AD Vakurov. - Novosibirsk: Science, 1981. - 124 p.