

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

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
 Отделение школы (НОЦ) И.Н.Бутакова

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование теплопереноса при воспламенении типичного лесного горючего материала (ветвь хвойного дерева) при воздействии высокотемпературной среды УДК 536.24-047.37:674.032.47:662.612.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ73	Мецнер Денис Дмитриевич		

Руководитель ВКР

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

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меньшикова Екатерина Валентиновна	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Куликова Ольга Александровна	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Исполняющий обязанности руководителя ОИТ	Борисов Борис Владимирович	д-р физ.-мат. наук		

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

Школа Инженерная школа энергетики
Направление подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Отделение школы (НОЦ) И.Н.Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ73	Мецнеру Денису Дмитриевичу

Тема работы:

Исследование теплопереноса при воспламенении типичного лесного горючего материала (ветвь хвойного дерева) при воздействии высокотемпературной среды

Утверждена приказом директора (дата, номер)

От 16.04.2019 №2987/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

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

Объект исследования – ветвь хвойного дерева.
Предмет исследования – моделирование теплопереноса в слоистой структуре ветви хвойного дерева при тепловом воздействии от фронта лесного пожара. Исходные данные – теплофизические характеристики хвойного дерева.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</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>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Аналитический обзор литературы и научных публикаций по направлению исследования. 2. Формулировка физической и математической модели теплопереноса от фронта лесного пожара 3. Реализация метаматематической модели исследуемого процесса теплопереноса 4. Тестирование программы и рассмотрение различных сценариев 5. Формулировка выводов по результатам численного моделирования.
--	---

<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
--	--

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Меньшикова Екатерина Валентиновна
«Социальная ответственность»	Куликова Ольга Александровна
Раздел на иностранном языке	Черемисина Харрер Инна Алексеевна

<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>
Введение
Глава 1. Современное состояние области исследования
Заключение
Список литературы

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

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ73	Мецнер Денис Дмитриевич		

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

Универсальные компетенции

P1 - Использовать представления о методологических основах научного познания и творчества, анализировать, синтезировать и критически оценивать знания

P2 - Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности

P3 - Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации, осуществлять педагогическую деятельность в области профессиональной подготовки

P4 - Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития

P5 - Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

Профессиональные компетенции

P6 - Использовать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания для создания и применения инновационных технологий в теплоэнергетике

P7-Применять глубокие знания в области современных технологий теплоэнергетического производства для постановки и решения задач инженерного анализа, связанных с созданием и эксплуатацией теплотехнического и теплотехнологического оборудования и установок, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов теплоэнергетики

P8 -Разрабатывать и планировать к разработке технологические процессы, проектировать и использовать новое теплотехнологическое оборудование и теплотехнические установки, в том числе с применением компьютерных и информационных технологий

P9 -Использовать современные достижения науки и передовой технологии в теоретических и экспериментальных научных исследованиях, интерпретировать и представлять их результаты, давать практические рекомендации по внедрению в производство

P10 -Применять методы и средства автоматизированных систем управления производства, обеспечить его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на теплоэнергетическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды

P11 - Готовность к педагогической деятельности в области профессиональной подготовки

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

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ73	Мещнеру Денису Дмитриевичу

Институт	ИШЭ	Кафедра	НОЦ им.И.Н.Бутакова
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Теплоэнергетика и теплотехника

Тема ВКР:

«Исследование теплопереноса при воспламенении типичного лесного горючего материала (ветвь хвойного дерева) при воздействии высокотемпературной среды».

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Месячный должностной оклад доцента 33664 руб., магистранта 12664 руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Тариф электроэнергию – 5,8 кВт</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисление в социальные фонды принимаются равными 27,1% Накладные расходы – 30 %</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>1. Планирование работ и оценка их выполнения</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>2. Смета затрат на проект</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>3. Анализ полученных результатов</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НИИ
2. Оценка конкурентоспособности технических решений
3. Матрица SWOT
4. График проведения и бюджет НИИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ
Потенциальные риски

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меньшикова Екатерина Валентиновна	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ73	Мецнер Денис Дмитриевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ73	Мецнеру Денису Дмитриевичу

Школа		Отделение (НОЦ)	Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова.
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Тепломассообменные установки

Тема ВКР:

«Исследование теплопереноса при воспламенении типичного лесного горючего материала (ветвь хвойного дерева) при воздействии высокотемпературной среды».

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – ветвь хвойного дерева. Предмет исследования – моделирование теплопереноса в слоистой структуре ветви хвойного дерева при тепловом воздействии от фронта лесного пожара. Исходные данные – теплофизические характеристики хвойного дерева.
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>-Правовая основа по обеспечению охраны труда и безопасности на рабочем месте основывается на Конституцию РФ и состоит из ряда федеральных законов и нормативно правовых актов, таких как;</p> <p>-Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)</p> <p>-СП 52.13330.2016.</p> <p>-СНиП 23-05-95</p> <p>-ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ.</p> <p>-ГОСТ Р ИСО 9241-4-2009.</p> <p>-ГОСТ Р ИСО 9241-5-2009.</p>
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>- Электромагнитное излучение</p> <p>- Поражение электрическим током</p>
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p>Рассмотреть влияние горения древостоя на окружающую среду</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p>Пожар в лаборатории, возникший в</p>

	результате выхода оборудования из строя
--	---

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Куликова О.А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ73	Мецнер Денис Дмитриевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 131 с., 62 рис., 26 табл., 54 источников, 1 прил.

Ключевые слова : ветвь хвойного дерева, термическое поражение, тепловое излучение, математическое моделирование, тепловой поток, кондукция.

Объектом исследования является ветвь хвойного дерева.

Цель работы - численный анализ процессов теплопереноса в слоистой структуре ветви хвойного дерева при излучении от фронта лесного пожара.

В процессе исследования были сформулированы физико-математические модели теплопереноса в слоистой структуре ветви хвойного дерева под воздействием лучистого теплового потока от фронта лесного пожара.

В результате исследования было получено распределение температур в слоях ветви хвойного дерева с учетом локальных источников и представлена графическая визуализация температурного поля при различной интенсивности действующего теплового потока, времени воздействия и различных диаметрах ветви

Область применения: результаты, полученные в процессе исследования, могут быть применены при создании информационно-вычислительных систем геомониторинга лесных массивов

Содержание

Введение.....	13
Глава 1. Современное состояние области исследования.....	14
1.1 Типы и характеристики лесных пожаров.....	14
1.2 Прогнозирование лесных пожаров и их последствий.....	18
1.3 Лесные горючие материалы.....	19
1.4 Классификация лесных горючих материалов.....	20
1.5. Лесное хозяйство РФ.....	23
1.6 Об охране лесов от пожаров.....	25
1.7. Влияние лесных пожаров на древостои.....	26
1.8. Система геомониторинга лесных массивов.....	29
Глава 2. Объект и методы исследования.....	33
2.1 Объект исследования.....	33
2.2 Методы численного исследования задач.....	34
Глава 3. Результаты исследования.....	39
3.1 Физическая модель теплопереноса при тепловом воздействии на ветвь дерева и результаты математического моделирования.....	39
3.2. Математические модели с учетом однослойной структуры ветви.....	40
3.3. Математические модели с учетом двухслойной структуры ветви.....	48
3.4. Двумерная математическая модель с учетом двухслойной структуры ветви.....	59
3.5. Математическая модель с учетом двухслойной структуры ветви и локального воздействия лесного пожара.....	72
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	77
4.1. Предпроектный анализ.....	77
4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....	77
4.1.2. Анализ конкурентных решений.....	77
4.1.3. SWOT-анализ.....	78
4.2. Инициация проекта.....	78
4.2.1. Цели и результаты проекта.....	79
4.2.2. Ограничения и допущения проекта.....	79
4.3. Планирование управления научно-техническим проектом.....	80
4.3.1. План проекта.....	80
4.4. Бюджет научного исследования.....	84
4.4.1 Материальные затраты. Спецоборудование для научных работ.....	84
4.4.2 Основная заработная плата.....	84
4.4.3 Накладные расходы.....	86
4.5. Реестр рисков.....	87

4.6. Оценка сравнительной эффективности исследования.....	88
Глава 5. Социальная ответственность.....	91
Введение.....	91
5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	92
5.1.1.Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства	92
5.2. Производственная безопасность.....	93
5.2.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования	93
5.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований	95
5.2.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.....	95
5.3.Экологическая безопасность.....	99
5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	99
5.3.2.Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду	103
5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	103
5.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	103
5.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	105
5.5.Выводы по разделу.....	108
Заключение	111
Список литературы и источников	112
The study on ignition of forest fuel exposed to high temperatures	118
Introduction.....	118
Types and characteristics of forest fires	119
Forecasting forest fires and their consequences	121
Forest combustible materials.....	123
Classification of forest combustible materials	124
Forest Geomonitoring System.....	127
Impact of forest fires on tree stands	129
Conclusion.....	131

Введение

Лесные пожары имеют огромное значение в жизни леса – значительно изменяют окружающую среду, так как огонь является мощным экологическим фактором.

Из-за теплового воздействия от пожара деревья получают различные повреждения, например – перегорание корней, ожоги ствола, кроны.

Рациональным является исследование воздействия тепловых режимов на деревья с помощью численного моделирования, так как проведение экспериментов является проблемой, из-за того, что вид и степень повреждения древостоя определяется пирологическими свойствами каждой породы и зависит не только от характеристики лесного пожара.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием численных методов решения дифференциальных уравнений в частных производных, на основе метода А.А. Самарского, анализом численных результатов на последовательности сгущающихся сеток, сравнением полученных результатов с результатами ранее полученными другими исследователями.

Цель работы - Численные исследования при воспламенении лесного горючего материала при воздействии высоких температур для прогнозирования лесной пожарной опасности.

Глава 1. Современное состояние области исследования

1.1 Типы и характеристики лесных пожаров

Лесной пожар — это неконтролируемое распространение огня по лесному массиву [1]. В любой ситуации даже небольшое возгорание может перерасти в стихийное бедствие. В настоящее время вероятность возгорания и масштабного распространения огня из-за природных факторов не превышает 20 % [2]. Большинство лесных пожаров спровоцировано деятельностью людей.

Выделяют следующие причины лесных пожаров[3]:

1. Природные факторы. Например, самовозгорание растительности и торфа при засухе, попадание молнии от грозы

2. Антропогенные факторы. Связаны он в основном с плановыми поджогами поджогами для очистки территорий от отходов лесозаготовительной деятельности и их подготовке к новым насаждениям, последующей вырубке леса. Но имеют место и возгорания, спровоцированные случайным поджогом, по недосмотру либо несоблюдению правил поведения с огнем [3].

Без детальной классификации объектов, развитие науки всегда будет невозможно. В лесной пирологии точкой отсчета распределения лесных пожаров является классификация, которую разработал Мелехов. Первая ее публикация состоялась в 1947 г. (табл 1) [4].

В данной таблице пожары поделены на низовые, верховые и подземные пожары, которые, в свою очередь поделены подвиды и разделены на устойчивые и беглые

Таблица 1. Классификация лесных пожаров И.С.Мелехова (1947) [4]

Низовые пожары	Верховые пожары	Подземные пожары
Подстильно-гумусовые: 1) Устойчивые Напочвенные: 2) Устойчивые 3) Беглые Подлесно-кустарниковые: 4) Устойчивые 5) Беглые Валежные и пневые: 6) Устойчивые 7) Беглые	Вершинные: 8) Устойчивые 9) Беглые Повальные: 10) Устойчивые 11) Беглые Стволовые: 12) Устойчивые	Торфяные: 13) Устойчивые

Чуть позже данная классификация дополнилась делением напочвенных пожаров на травяные, моховые, кустарниковые в различных сочетаниях и в чистом виде (Мелехов, 1948) [5].

Данная классификация существует давно и служит производству и научным работникам ориентиром в обмене мнений. Также следует обратить внимание, что классификация И.С. Мелехова не определяла такое понятие, как лесной пожар. В ней указывалось, что когда происходит горение участка леса, то на площади, которая охваченная огнем, могут существовать различные пожары, так как огнем охвачены различные компоненты насаждения. Пожар классифицируется, как низовой, если происходило горение надпочвенного покрова. Верховой пожар классифицируется в том случае, если наблюдается горение крон деревьев одновременно над горящим надпочвенным покровом. Если горят стволы сухостойных деревьев – то это классифицируется, как стволовой пожар [5].

Анцышкин С.П. (1967) предложил немного другое понятие. Под лесным пожаром он предлагал понимать исключительно горение, которое

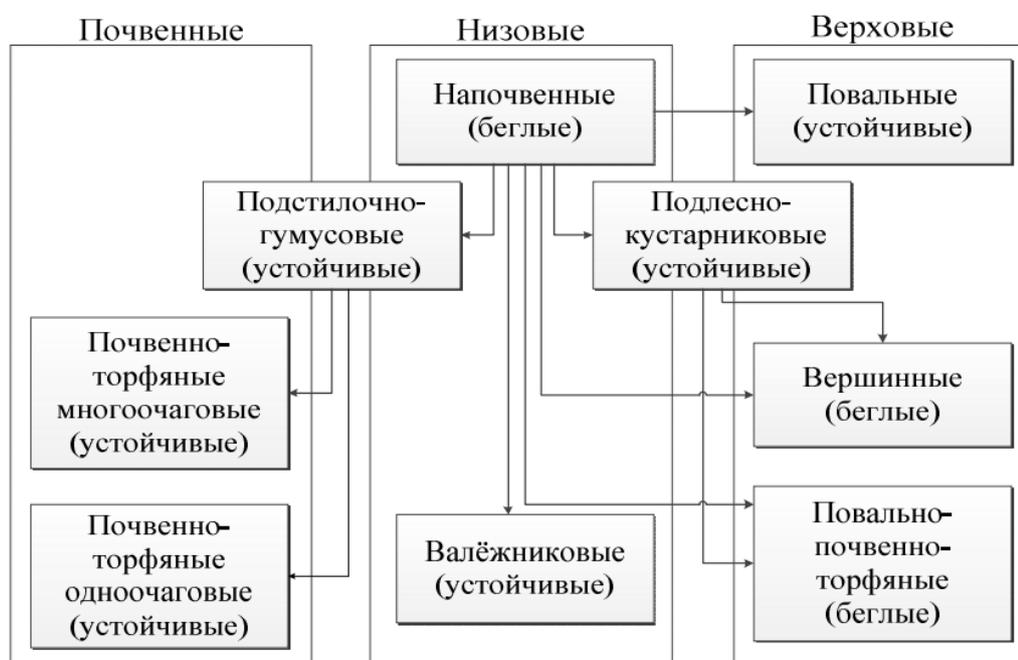
распространяется стихийно по площади леса [6]. В соответствии с этим определением, в классификации И.С. Мелехова классифицируются как отдельные фрагменты пожара (т.е ствольные пожары) [5], так и собственно лесные пожары (повальные, напочвенные). Это обстоятельство позволило сократить число категорий лесных пожаров в созданной Н.П. Курбатским до 9ти. При 13ти у И.С. Мелехова [7].

У Н.П. Курбатского, в классификации, отсутствует ствольные пожары, как горение единичных стволов. Валежные – на том основании, что валежник медленно горит. Повальные беглые – потому, что характерно сгорание крон для повальных пожаров над идущим фронтом низового огня. Были исключены у Н.П. Курбатского устойчивые вершинные пожары. Все потому, что, что ход огня по по пологую древостоя по вершинам возможен лишь при скорости ветра более, чем 5 м/с. При подземных и трофяных пожарах, такое составное горение, как горение почвы получило название почвенно-трофяные, с делением на многоочаговые и одноочаговые [8]. К переходными видам низового пожара было предложено отнести подслено-кустарниковые пожары, а подстильно-гумусовые – переходной формой от низовых к почвенным. В классификации верховые и почвенные пожары рассматривались как результаты развития низовых [8].

Когда И.С. Мелехов создавал классификацию пожаров, он исходил из того, что лесной пожар относится к виду ландшафтных пожаров [4]. К ландшафтным пожарам относятся также луговые, степные, тундровые и прочие. Далее развитие ландшафтного направления получило свое развитие в классификации М.А. Сафронова (1971) [9].

Однако некоторые положения классификации М.А. Сафронова являются спорными. Н.П. Курбатский отмечал, что луговые, степные, тундровые и прочие пожары – выделены по признаку лесорастительных зон, а луговые как тип растительности. Это объяснялось тем, что отсутствовала четкая сформулированная классификация ландшафтов, и также слабое

изучение большинства пожаров. Чтобы устранить этот недостаток, Н.П. Курбатский ввел такое понятие, как растительный пожар. Он определяется, как горение, которое стихийно распространяется по площади с растительностью [10]. В таком случае, лесной пожар будет видом не ландшафтного пожара, а растительного, так как в лесном фонде, который служит объектом охраны, имеются различные типы растительности, кроме лесной. За основу классификации растительных пожаров была принята ботанико географическая классификация растительности Л.В. Шумиловой (1962) [11].



Классификация лесных пожаров Н.П. Курбатского (1964)

Рисунок 1. Классификация лесных пожаров Н.П. Курбатского (1964) [7]

Лесные пожары, по своей интенсивности, делят на слабые, средние и крупные [7]. Низовые и верховые пожары, по скорости распространения огня, делятся на устойчивые и беглые. Скорость распространения слабого низового пожара не превышает 1 м/мин, сильного - свыше 3 м/мин. Слабый

верховой пожар имеет скорость до 3 м/мин, средний - до 100 м/мин, а сильный - свыше 100 м/мин [7].

Высота сильно пожара достигает свыше 1,5м, когда среднего 1,5м, а низового – всего лишь до 0,5м. Сильным подземным пожаром (или почвенным), считается такой, у которого глубина горения более половины метра, среднем – глубина от 25 до 50 см и слабым – глубина менее 25 см [7].

1.2 Прогнозирование лесных пожаров и их последствий

Сегодня методы оценки безопасности лесов могут определять площадь и периметр зоны пожаров. Обычно исходные данные для этой оценки – время развития пожара и лесопожарный коэффициент. [12].

Время прибытия сил для ликвидации пожара в пожароопасную лесную зону определяется, как время развития пожара [13].

Основные причины возникновения лесных пожаров - это неосторожное обращение с огнем, человеческие факторы. Так же несоблюдение мер предосторожности колхозников [14].

Например, такие виды деревьев, как хвойные менее устойчивы к горимости, чем лиственные. Так же горимость лесов зависит от времени года и погодных условий.

Крупные лесные пожары обладают следующими характеристиками [14]:

- 1) высокая скорость распространения;
- 2) длительность в течение нескольких дней;
- 3) лёгкость в преодолении естественных и искусственных препятствий, как, например, река или дорога;
- 4) возникновение в «пожароопасные» периоды, сопровождающиеся засухой и сильным ветром;
- 5) прохождение на фоне вспышек пожаров малых и средних размеров;

б) значительное задымление обширных площадей, что затрудняет операции по пожаротушению.

1.3 Лесные горючие материалы

Помимо вышеперечисленных первопричин лесного пожара, его возникновению и дальнейшему распространению сопутствует ряд таких факторов, как погода, рельеф, растительность и тому подобные. Все эти факторы должны быть приняты во внимание, прежде всего, для более эффективного, простого и быстрого пожаротушения [18].

Так, например, лесные горючие материалы можно подразделить на две группы в соответствии с условиями возгорания [18]:

Первую группу составляют легко воспламеняющиеся и быстро прогорающие материалы, такие, как сухие листья и трава, опавшая и зелёная хвоя, высохшие ветки и сучья.

Вторую группу составляют материалы, которые воспламеняются не сразу, в процессе вырабатывают много тепла, что способствует дальнейшему развитию лесного пожара. Прежде всего, это глубинные слои подстилки леса, кустарники, старые пни, валежник, деревья.

Половину территории страны приблизительно составляет Лесной фонд России. Это около 1,2 миллиардов гектаров земли. На такой гигантской территории каждый год возникает большое количество лесных пожаров – от десяти, до 35ти тысяч. И это только зарегистрированные пожары. В различных случаях лесной пожар может охватывать небольшую площадь – половина гектара, и до огромной – до 2,5 миллионов. А если учитывать неохраемые или малоохраемые Сибирские северные районы и участки Дальнего Востока – можно сделать вывод об общем значении площади, которая подвергается воздействию огня. От 2 до 5,5 миллионов гектаров [18].

Статистический анализ наблюдений, проведенных с 1994 по 2005 годы, позволяет прийти к выводу о том, что пожары являются одним из главных губительных факторов для «Лесной державы» (на Россию приходится одна пятая мирового лесного фонда, и половина хвойных лесов мира) [18]. За этот период Россия потеряла более пяти тысяч гектаров лесов, что в среднем составляет около 400 тысяч гектаров за один год. Из вышеуказанного количества от пожаров погибли 70%, остальные 30 процентов отводятся на совокупное воздействие вредителей, неблагоприятной погоды, болезней, диких животных и факторы человеческого воздействия [18].

При оценке общего ущерба, наносимого лесными пожарами, к примеру, на 2009 год, получают значение в 20-30 миллиардов рублей. Если же оценивать потери в древесине как объекте промышленности, то в среднем они составят около 27 миллионов кубометров за один год. Пересчет на стоимость древесины на рынке даст значение приблизительно в 1350 миллионов рублей [18].

1.4 Классификация лесных горючих материалов

К лесным горючим материалам (ЛГМ) относят лесные растения, причем как живые, так и отмершие. А так же их остатки степени разложения, которые так или иначе сгорают частично (или полностью) при лесном пожаре. Состоят они из клетчатки. Теплота сгорания сухих ЛГМ варьируется около 17...21 МДж/кг [17].

ЛГМ делятся на две категории, по отношению к высыханию и увлажнению: негигроскопичные и гигроскопичные

1. Гигроскопичные. Сюда относят отмершие ЛГМ. Такие, как сухостой, пни, усохшие травы, подстилка. Также относят сюда несосудистые растения (лишайники, мхи), у которых отсутствует или плохо развита корневая система. Влагосодержание гигроскопичных ЛГМ зависит от погодных

условий. Максимальное содержание влаги также зависит от пористости и может изменяться от 100% (древесина) до 3000% (сфагнум) [17].

2. Негироскопичные. К данной категории ЛГМ относят живые сосудистые растения (деревья, кустарники, подлесок), которые за счет хорошей и развитой корневой системы могут поддерживать определенный уровень влаги. Из негироскопичных ЛГМ в слое лесного напочвенного покрова преобладают травы и кустарники. Имея одревесневшие стебли, кустарники содержат эфирные масла и смолы. Благодаря этому, они поддерживают влагу на уровне 80-150%. Когда они сгорают в пламени пожара, они поддерживают распространение горения и также его усиливают. Особенно пожароопасны густые заросли багульника и вереска [18].

Травы, которые вегетирующие, отличаются повышенной влагой, превышает которая обычно 200%, а весной может достигать 700%, в начале вегетации, следовательно все подобные виды препятствуют горению [19].

При верховом пожаре сгорают обычно живые листва и хвоя в пологе древостоя, сухие сучья и несущие побеги толщиной до 7мм. Влага хвои в опасный сезон пожаров в среднем бывает от 90 до 130%, однако ее горимость обеспечивается за счет довольно высокого содержания эфирных масел [19]

Классификация лесных горючих материалов, которая сегодня действует на территории России, отличается от некоторых классификаций, используемых в странах Евросоюза и США.

Она была разработана профессором Курбатским ещё во времена Советского Союза. В её основу легло деление лесной растительности на семь групп [7].

1.Первая группа.

Относится к главному проводнику горения огня при пожарах верхового и напочвенного типа. Включает в себя лишайники и мхи с травяной ветошью и опадом.

2.Вторая группа.

Это подстилка с наполовину разложившимся опадом, очёсом мха, кусками торфяной гнилой древесины. Если мох или опад влажные от дождя, то подстилка будет тем самым главным проводником огня во время почвенных возгораний лесной растительности.

3.Третья группа.

Данный вид включает в себя траву и подрастающий кустарник, а также самостоятельно насаженные деревья и подлесок, которые по росту не более кустарника.

Интенсивность горения в этом случае может снижаться благодаря постоянной и высокой (пятьдесят и более процентов) влажности. Такая растительность постепенно сгорает в пламени иных лесных материалов горючего типа, что увеличивает количество и продолжительность их горения.

4.Четвертая группа.

Включает в себя небольшие остатки порубочных лесных материалов, отмершую древесину, сухие сучья, пни и иной сухостой. Влияние атмосферных условий способно изменить влажность этого вида горючих материалов.

5.Пятая группа

Состоит из кустарников, создающих подлесок, и подрастающих деревьев. Эта категория отличается постоянной влажностью, но благодаря

сухим стеблям и смолистой хвое горение пламени в процессе пожара низового типа может постепенно усиливается, от чего возгорание носит не слишком интенсивный характер.

6.Шестая группа.

Состоит из листьев быстро растущих деревьев, которые загораются вместе с ветками (до семи миллиметров диаметром). Влажность листочков или хвои зависит от погодных колебаний.

7.Седьмая группа.

Такие лесные горючие материалы включают в себя сучья более семи миллиметров, обычные стволы растущих деревьев, которые отличаются постоянной (более 50%) влажностью. В процессе лесных возгораний такие горючие материалы слабо горят или вообще не горят [35].

1.5. Лесное хозяйство РФ

Леса обеспечивают разные потребности человека. Они являются средой обитания человека, служат сырьевой базой деревообрабатывающей промышленности, очищают стоки вод и предотвращают эррозию, повышают и сохраняют плодородие почв.



Рисунок 2. Распределение покрытых лесом земель по отдельным регионам мира (в процентах) [37]

Новый Лесной кодекс, вступивший в действие в 2007 г., вводит новую классификацию лесов на землях лесного фонда в зависимости от их целевого назначения: защитные, эксплуатационные и резервные леса.

К защитным лесам относятся леса, которые подлежат освоению в целях сохранения средообразующих, водоохраных, защитных, санитарногигиенических, оздоровительных и иных полезных функций лесов с одновременным использованием лесов при условии, если это использование совместимо с целевым назначением защитных лесов и выполняемыми ими полезными функциями. К эксплуатационным лесам относятся леса, которые подлежат освоению в целях устойчивого, максимально эффективного получения высококачественной древесины и других лесных ресурсов, продуктов их переработки с обеспечением сохранения полезных функций лесов. К резервным лесам относятся леса, в которых в течение 20 лет не планируется осуществлять заготовку древесины. Использование резервных лесов допускается после их отнесения к эксплуатационным лесам или защитным лесам[37]



Рисунок 3. Распределение площади лесов по странам мира (в процентах) [38]

Бюджетные ассигнования выделяемые на защиту леса от вредных и особо опасных вредных организмов расходуются в большинстве случаев

бесконтрольно, без оценки эффективности и корректировки мероприятий на основе анализа. Страдают в такой ситуации и лесовосстановительные работы. Согласно отчетам региональных департаментов лесных комплексов, только 30 % высаженных саженцев древесных растений выживают ко второму году. Это говорит о крайне малой эффективности материальных и трудовых ресурсов, затраченных на это направление, являющееся крайне важным в деле сохранения лесных богатств страны. По факту получается, что большинство лесохозяйственных мероприятий выполняется только для количественной отчетности, вопрос о качестве и целесообразности уже не стоит. Многоцелевое не истощительное использование лесов в сложившихся условиях практически неосуществимо. Огромные материальные ресурсы затрачиваются на цели таксации лесных насаждений и государственную инвентаризацию лесных ресурсов (ГИЛ), качество которых оставляет желать лучшего [38].

1.6 Об охране лесов от пожаров

Основной принцип охраны лесов от пожаров – принцип раннего обнаружения и ликвидация в начальной стадии развития пожара. Как говорят профессиональные пожарные, любой пожар можно потушить стаканом воды. Два-три патрульных лесника с помощью первичных средств пожаротушения в случае своевременного обнаружения очага возгорания способны на ранней стадии его ликвидировать или как минимум остановить распространение огня до прибытия пожарной команды [39].

Раннее обнаружение очага возгорания и десантирование небольшой группы (5-7 человек) для его ликвидации позволяют бороться с огнем на труднодоступных территориях. Если этого нет, то никакое количество средств, техники, самолетов, введение чрезвычайной ситуации, создание бесчисленных штабов и комитетов помочь не смогут. Если лесной пожар распространился на тысячи гектаров, он потухнет только после обильных дождей или кардинальной смены погоды. Опыт 2010, 2012 и 2015 годов

подтверждает эти слова. Поддерживая развитие современных технологий пожаротушения, можно констатировать: без наличия полноценной лесной охраны, лесных пожарных станций, службы авиационной охраны лесов борьба с лесными пожарами будет проиграна [39].

1.7. Влияние лесных пожаров на древостой

Исследования, которые проводил И.С. Мелихов, показали, что воздействие пожара на древостой чаще проявляется в нанесении огненных повреждений[4], в зависимости от величины которых наступает гибель деревьев, или ослабляется их жизненная стойкость [5]. Огневые травмы у древостоя проявляются в виде глубоких ранений, которые образуют дуплистость, перегорание корней, ожоги ствола и кроны. Камбий – это тонкий слой живых клеток, который обеспечивает прирост корней, веток и ствола, наиболее чувствителен к термическому воздействию пожара[22]. Исследования показали отсутствие различий в термической стойкости протоплазмы у различных древесных пород [23]. Последнее свидетельствует о большей устойчивости к пожарам деревьев с глубокой корневой системой и толстой корой. Как отмечалось ранее, сосновые насаждения отличаются повышенной горимостью по сравнению с насаждениями других лесных формаций, произрастающих в аналогичных условиях. Однако, несмотря на высокую горимость, сосновые насаждения в результате пожаров редко гибнут полностью. Благодаря высоко поднятой кроне и стержневой корневой системе сосна является более огнестойкой породой, чем пихта, ель и кедр. На рисунке 4 можно наблюдать классификацию воздействия пожаров на окружающую среду. Как видно, воздействие происходит не только на атмосферу, гидросферу, педосферу и биосферу, но и также имеются косвенные воздействия. Изменение климата, изменения почвы и создание благоприятных условий для насекомых-вредителей.

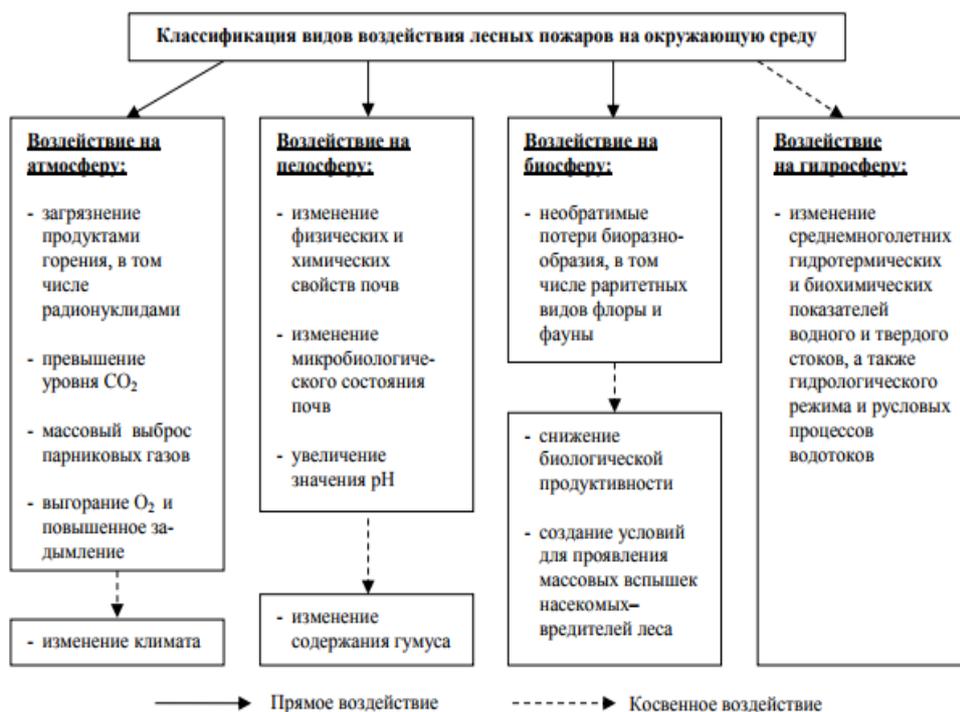


Рисунок 4. Классификация воздействия пожаров на окружающую среду [43]

Пики горимости в Забайкальском крае в последние десятилетия наблюдаются через 3–4 года (рис. 5). За период с 1964 по 2015 г. самой высокой частотой пожаров и степенью горимости в Забайкальском крае характеризовался пожароопасный сезон 2003 г [44].



Рисунок 5. Характеристика горимости лесов в Забайкальском крае за период с 1964 по 2015 г. По данным официальной статистики [44]

После повреждения огнем, качество древесины, как и состояние древостоев возможно определить после вида пожара и времени воздействия на лес огня и воздействие высоты подгара на стволе. Огромное влияние оказывает наличие повреждений и пороков ствола, например гниль или трещины. Оценивая эти пороки, можно точнее определить товарность древесины [46].

Степень поражения древесины определяется видом пожара. Различают следующие его виды: беглый верховой пожар, верховой пожар, верховой пожар, сильный низовой, низовой пожар средней силы и сильный низовой пожар [45].

В 2010 году в УОЛ ВГЛТА (Учебно-опытный лесхоз федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "воронежская государственная лесотехническая академия") пожаром были повреждены значительные площади леса [46]. Для оценки состояния древостоев поврежденных пожаром были отобраны для исследования кварталы № 10, 49, 92, как наиболее характерные по воздействию огня на лес. Краткая характеристика кварталов представлена в табл. 2

Таблица 2 – Краткая характеристика древостоев по кварталам [46]

№ квартала	Средний диаметр деловых, см (на высоте 1,3 м)	Количество деревьев на га		Протяженность подгара, м	Примечания
		всего	в.т числе деловых		
10	20	244	---	18	Сплошная рубка, Дрова
49	28	8679	8082	менее 0,5	Выборочная санитарная рубка
92	48	2109	1624	6	Сплошная рубка

В результате исследований влияния экспериментальных выжиганий на нижние ярусы растительности в сосняках разнотравно-зеленомошных Красноярской лесостепи [52] экспериментальные пожары привели к снижению видового богатства, проективного покрытия и фитомассы травяно-кустарничкового яруса, а также к гибели мохового покрова

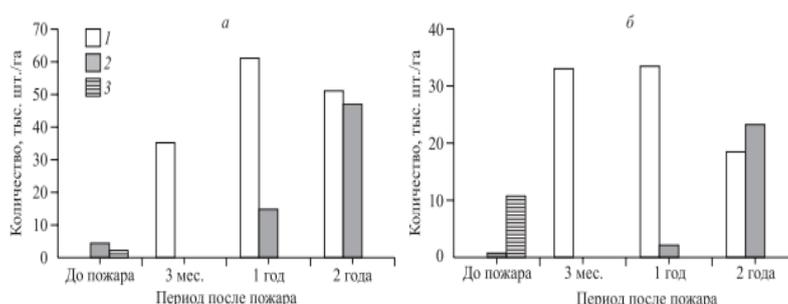


Рис. 4 [52]. Динамика возобновления в сосновых насаждениях до и после экспериментальных выжиганий; а – средневозрастное насаждение; б – спелое насаждение; 1 – всходы; 2 – самосев; 3 – подрост

Возобновление в средневозрастном насаждении до проведения экспериментального выжигания было представлено здоровым самосевом и мелким подростом (0.1–0.5 м) сосны в количестве 4.4 и 2.2 тыс. шт./га соответственно (рис. 4, а). После проведения экспериментального выжигания отмечено увеличение возобновления, количество всходов сосны в середине вегетационного сезона (через 3 мес. после пожара) составило 35.2 тыс. шт./га [52].

1.8. Система геомониторинга лесных массивов

В лесном хозяйстве для оценки участков леса по степени опасности возникновения на их территории пожаров используются шкалы природной пожарной опасности. Класс природной пожарной опасности (КППО) территории определяется типом напочвенного покрова, породным составом и возрастом древостоя, категорией земель и рядом других характеристик лесных насаждений.

Этапы метода актуализации классов природной пожарной опасности можно представить в виде схемы:



Рисунок 5 - Этапы метода актуализации классов природной пожарной опасности [49]

Изобретение “Лесной дозор” относится к наземному мониторингу лесных массивов и населенных пунктов с целью обнаружения чрезвычайных ситуаций.

Известна система мониторинга леса и раннего обнаружения лесных пожаров «Лесной Дозор»

Система «Лесной Дозор» состоит из следующих элементов:

- распределенная система видеокамер;
- каналы связи, соединяющие видеокамеры с сетью Интернет;
- сервер системы «Лесной Дозор», подключенный в сеть Интернет;
- программное обеспечение сервера системы «Лесной Дозор»;
- оборудование автоматизированного рабочего места оператора;
- программное обеспечение «Лесной Дозор» автоматизированного рабочего места.

Недостатком известной системы является то, что анализ ситуации происходит только на основе данных центрального сервера системы, соединенного высокоскоростными каналами связи (рекомендуемая скорость подключения камеры не менее 512 кбит/с) с видеокамерами и с сетью Интернет, что снижает эффективность системы и ограничивает площадь мониторинга только теми участками, где имеется развитая инфраструктура связи.

Задачей изобретения является увеличение вероятности обнаружения возгорания и расширение площади мониторинга на территориях, не имеющих высокоскоростных каналов связи.

Система мониторинга лесных массивов, содержащая распределенную по лесному массиву сеть управляемых видеокамер, установленных на вышках, снабженных передатчиками видеоданных, центральный сервер, отличающаяся тем, что дополнительно снабжена локальными серверами, каждый из которых соединен высокоскоростными беспроводными каналами связи с передатчиками видеоданных видеокамер, размещенных в радиусе действия этих каналов, центральный сервер соединен с локальными серверами беспроводными каналами связи сотовых сетей, при этом локальные серверы выполнены с возможностью выделять статические изображения из полученных видеоданных с видеокамер и передавать изображения на центральный сервер, связанный с геоинформационной системой [49]

Анализ литературы в области исследования позволяет сделать следующие выводы:

- 1) При верховых лесных пожарах типичными лесными горючими материалами являются, в том числе, тонкие веточки толщиной до 7 мм (диаметром). Поэтому необходимо комплексное теоретико-

экспериментальное исследование процессов теплопереноса при воздействии на ветвь хвойного дерева высокотемпературной среды.

2) Проведение многовариантных численных расчетов может облегчить выявление условий лесной пожарной опасности. Поэтому необходима разработка математической модели тепломассопереноса при воздействии поражающих факторов лесного пожара на ветвь.

3) Полученные результаты, а именно, математические модели тепломассопереноса могут быть использованы в системах геомониторинга лесных пожаров. Они могут быть реализованы в виде программных инструментов геоинформационных систем мониторинга и прогнозирования лесных пожаров.

Глава 2. Объект и методы исследования

2.1 Объект исследования

Объектом исследования является ветвь хвойного дерева. Ветвь дерева имеет слоистую структуру, поэтому рассмотрению подлежит двухслойная модель. Предмет исследования – теплоперенос в слоистой структуре ветви хвойного дерева при воздействии теплового потока от фронта лесного пожара.

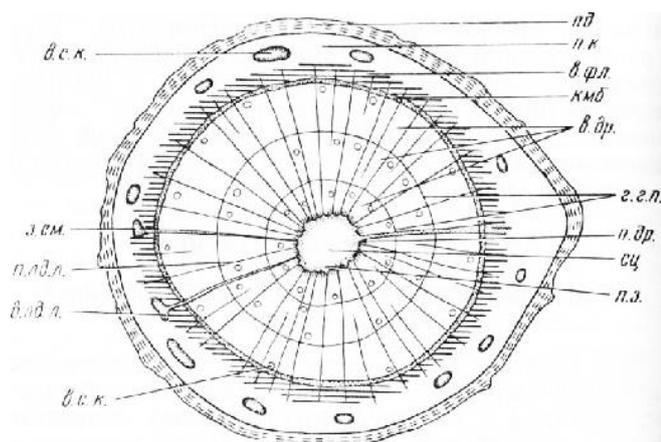


Рисунок 2.1. – строение еловой ветви



Рисунок 2.2. – фотография еловой ветви

Ель относят к деревьям хвойных пород. Это один из самых распространенных видов семейства хвойных как в Европе, так и в Северной Азии. Ель - однодомное растение с пирамидальной кроной. Высота деревьев достигает до 50 м, а иногда и до 90 м. Диаметр ствола снизу - 1-2 м. Кора с множеством маленьких чешуек серого или красно-бурого цвета.

Особенность древесины - нет четко выраженного ядра. Цвет - однородный желтовато-белый, у некоторых пород с немного розоватым оттенком. Поздние слои по цвету темнее молодых. Годичные кольца хорошо

различаются в любом разрезе. Древесина ели отличается малой плотностью и низкой смолистостью. Характерна для еловой древесины низкая теплопроводность и хорошая механическая прочность.

2.2 Методы численного исследования задач

Для исследования воздействия излучения от фронта пожара на ветку древесного растения в работе будет использоваться математическое моделирование.

Моделирование – это исследование объекта или системы объектов путем построения и изучения их моделей

Модель – это образ объекта, процесса или явления, используемый в качестве его заменителя или представителя (объект, процесс или явление называется оригиналом данной модели).

В данном исследовании в качестве объекта рассматривается ветвь древесного растения, на которую воздействуют в условиях лесного пожара поражающие факторы открытого пламени. Математическое моделирование будет сведено к решению системы нестационарных уравнений теплопроводности с граничными и начальными условиями

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

Суть метода конечных разностей (МКР) – в дифференциальном уравнении вместо производных используются конечно-разностные аппроксимации.

При решении задач, тело разбивается на множество узлов. После частные производные дифференциальных уравнений меняют на конечноразностные аналоги. Соответственно, получается система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), для нахождения температуры в каждом узле сетки. Полученную незамкнутую систему закрывают граничными условиями и решают с помощью ЭВМ [50]

Аппроксимация графически представляется следующим образом:

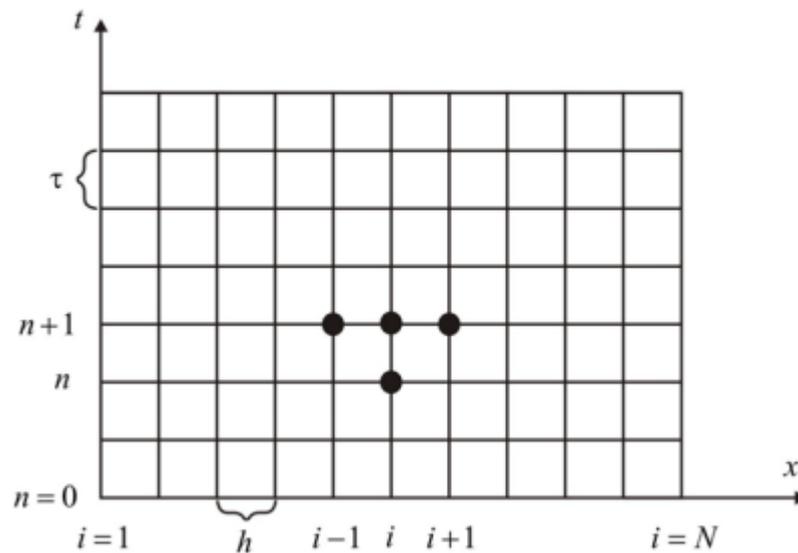


Рисунок 2.1-Шаблон неявной разностной схемы [1]

В уравнении теплопроводности $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$ заменяем дифференциальные операторы на их конечноразностные аналоги, и получаем:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\tau} \tag{2.1}$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T_{i+1}^{n+1} - 2T_i^{n+1} + T_{i-1}^{n+1}}{h^2} \tag{2.2}$$

Где τ – шаг интегрирования по временной координате, n – номер шага по времени.

При использовании аппроксимации второго порядка выполняется переход к разностной форме дифференциального уравнения:

$$\rho c \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\tau} = \lambda \left(\frac{T_{i+1}^{n+1} - 2T_i^{n+1} + T_{i-1}^{n+1}}{h^2} \right), \quad i = 2, \dots, N-1, n \geq 0 \quad (2.3)$$

Разностные уравнения сводятся к трехдиагональному виду и решаются методом прогонки:

$$A_i T_{i+1}^{n+1} - B_i T_i^{n+1} + C_i T_{i-1}^{n+1} = F_i \quad (2.4)$$

Далее трехточечное уравнение второго порядка преобразуется в двухточечное уравнение первого порядка:

$$T_i^{n+1} = \alpha_i T_{i+1}^{n+1} + \beta_i \quad (2.5)$$

Уменьшая в (2.5) индекс на единицу, получим

$$T_{i-1}^{n+1} = \alpha_{i-1} T_i^{n+1} + \beta_{i-1} \quad (2.6)$$

И подставим в (2.4)

$$A_i T_{i+1}^{n+1} - B_i T_i^{n+1} + C_i \alpha_{i-1} T_i^{n+1} + C_i \beta_{i-1} = F_i \quad (2.7)$$

Следовательно, получаем:

$$T_i^{n+1} = \frac{A_i}{B_i - C_i \alpha_{i-1}} T_{i+1}^{n+1} + \frac{C_i \beta_{i-1} - F_i}{B_i - C_i \alpha_{i-1}} \quad (2.8)$$

$$\text{Где } \alpha_i = \frac{A_i}{B_i - C_i \alpha_{i-1}}, \beta_i = \frac{C_i \beta_{i-1} - F_i}{B_i - C_i \alpha_{i-1}}$$

Чтобы определить α_i и β_i , нужно определить α_1 и β_1 , которые мы находим из левого граничного условия. Далее, по формулам (2.5) находим последовательно $T_{N-1}^{n+1}, T_{N-2}^{n+1}, \dots, T_2^{n+1}$

Таким образом, решение методом прогонки сводится к вычислениям по трем формулам: нахождение прогоночных коэффициентов, прямая и обратная прогонка.

В случае двумерной задачи уравнение будет иметь следующий вид:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (2.9)$$

Для аппроксимации ДУ (2.9) введем пространственно-временную сетку с координатами $x_i = (i - 1)h_x, y_j = (j-1)h_y, t_n = n \cdot \tau$ (2.10)

Дискретизация уравнения (2.9) проводится на основе одномерной схемы А.А. Самарского [51]. Данная схема – абсолютно устойчива и имеет свойство суммарной аппроксимации. Суть подхода заключается в том, что шаг по времени реализуется в два этапа – на промежуточном временном шаге проводим дискретизацию двумерного уравнения (2.9), только в направлении оси x и получаем одномерное уравнение. После его решения снова проводим дискретизацию, но уже в направлении оси y и, решая полученное одномерное уравнение, определяем поле температуры на целом шаге по времени.

В данном исследовании рассматриваются процессы в ветви дерева, поэтому геометрия области решения будет в цилиндрической системе координат.

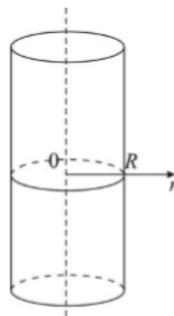


Рисунок 2.3 – Геометрия области решения

Математическая постановка задачи будет иметь следующий вид:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right), 0 < r < R. \quad (2.11)$$

Зададим начальные и граничные условия:

$$t = 0: T = T_0, 0 \leq r \leq R;$$

$$r = 0: \frac{\partial T}{\partial r} = 0, t > 0; \tag{2.12}$$

$$r = R: T = T_h, t > 0.$$

Применим метод конечных разностей на основе неявной четырехточечной схемы для решения данной краевой задачи. Введем равномерную пространственную и временную сетку по аналогии с двумерной задачей (2.10), заменяя x_i на r_i . Далее заменяем дифференциальные операторы на конечно-разностные аналоги, как в (2.1) (2.2) и в результате аппроксимации частных производных получаем СЛАУ, в общем виде которая выглядит аналогично (2.7), где

$$A_i = \frac{\lambda}{h^2} \cdot \frac{r_{i+1/2}}{r_i}, B_i = \frac{\lambda}{h^2} \cdot \frac{r_{i-1/2} + r_{i+1/2}}{r_i} + \frac{\rho c}{\tau}, C_i = \frac{\lambda}{h^2} \cdot \frac{r_{i-1/2}}{r_i}, F_i = -\frac{\rho c}{\tau} T_i^n \tag{2.13}$$

Находим прогоночные коэффициенты, определяем известное поле температуры. Далее используем левое граничное условие для определения начальных прогоночных коэффициентов

$$\begin{cases} \alpha_1 = 1; \\ \beta_1 = 0. \end{cases}$$

А на правой границе температура известна $T_{r=R} = T_h$

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1. Предпроектный анализ

4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Целевым рынком для данной работы является рынок производственных предприятий, разрабатывающие программные комплексы для геомониторинга лесных массивов. Потенциальными потребителями могут быть составители ГОСТов пожаробезопасности, государственные учреждения, направленные на защиту леса.

4.1.2. Анализ конкурентных решений

Данная математическая модель ветви хвойного дерева может использоваться для различных разработок геомониторинга. Существует также математическая модель на ствол хвойного дерева. В конечном итоге она будет выбрана в качестве конкурирующего решения.

Экспертная оценка основных технических характеристик данных продуктов представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1. – оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _ф	Б _к	К _ф	К _к
1. Адекватность	0,2	5	4	1	0,8
2. Экономичность	0,1	3	3	0,3	0,3
3. Надежность	0,2	4	4	0,8	0,8
4. Точность	0,2	5	5	1	1
5. Универсальность	0,2	4	2	0,8	0,4
6. Адаптивность	0,1	4	4	0,4	0,4
Итого	1	25	22	4,3	3,7

Введение программного обеспечения для геомониторинга лесных массивов даст возможность решать задачи, связанные с охраной леса от пожаров, - где основное преимущество и отличие от конкурентов – простота в использовании.

4.1.3.SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Матрица составляется на основе анализа рынка и конкурентных технических решений, и показывает сильные и слабые стороны проекта, возможности и угрозы для разработки.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Матрица SWOT представлена в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – SWOT-анализ

	Сильные стороны	Слабые стороны
	<p>С1. Рассмотрено множество вариантов расчета</p> <p>С2. Возможность объединения с другими исследованиями</p> <p>С3. Использовались локальные источники излучения от фронта пожаров.</p>	<p>СЛ1. Не учитывается влажность ветви</p> <p>СЛ2. Геометрия области решения простая</p>
Возможности	<p>Объединение с другими исследованиями поможет более достоверно описать картину дровостоя при пожарах</p>	<p>Из-за актуальности проблемы высокая вероятность заинтересованности государства к исследованиям</p>
<p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ.</p> <p>В2. Объединение с другими подобными разработками.</p> <p>В3. Заинтересованность государства</p>		
Угрозы	<p>Актуальность проблемы и возможность объединения исследований может заинтересовать коммерческие предприятия</p> <p>Широкое применение за счет «универсальности» и «точности» модели</p>	<p>Возможность усовершенствования путем добавления в расчеты испарения и влаги</p>
<p>У1. Отсутствие коммерческого спроса.</p> <p>У2. Вероятность отклонения проекта.</p>		

4.2.Инициация проекта

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы.

Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта.

4.2.1. Цели и результаты проекта

Перед определением целей необходимо перечислить заинтересованные стороны проекта. Информация по заинтересованным сторонам представлена в таблице 4.3:

Таблица 4.3. – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидание заинтересованных сторон
Государство	Углубление имеющихся знаний об анатомических ожогах древостоя, разработка мер по предотвращению лесных пожаров, создание программ для геомониторинга лесных массивов на основе результатов работы
ТПУ	Участие в конференциях, публикации в высокорейтинговых статьях

Цели и результат проекта представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	<ul style="list-style-type: none"> Разработать математическую модель теплосопереноса ветви хвойного дерева от фронта лесного пожара.
Ожидаемые результаты проекта:	Успешное внедрение модели для геомониторинга лесных массивов.
Критерии приемки результата проекта:	Сравнение полученных результатов с предыдущими и подобными исследованиями
Требования к результату проекта:	Требование: <ul style="list-style-type: none"> Выполнение проекта строго в последовательности на основе рекомендаций. Достоверность математической модели

4.2.2. Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут

реализованных в рамках данного проекта. Эту информацию представить в табличной форме (табл. 8).

Таблица 4.5 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения
1.2.3.1 Бюджет проекта	293491 руб.
1.2.3.1.1 Источник финансирования	НИТПУ
1.2.3.2 Сроки проекта	01.01.2018 – 31.05.2019
1.2.3.2.1 Фактическая дата утверждения плана управления проектом	12.12.2018
1.2.3.2.2 Плановая дата завершения проекта	31.05.2019

4.3. Планирование управления научно-техническим проектом

4.3.1. План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта. Линейный график представляется в виде таблицы (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Рабочая группа проекта.

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудовые затраты, час.
	Барановский Н.В.	Научный руководитель		74
	Мецнер Д.Д.	Магистрант		1080
ИТОГО:				1154

Код работы	Название	Длительность	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1	Формулирование задания и темы работы	2	03.09.18	05.09.18	Барановский Н.В.
2	Аналитический обзор отечественной и зарубежной литературы	40	06.09.18	22.10.18	Мецнер Д.Д.
3	Формулировка физической модели теплового воздействия	10	23.10.18	02.11.18	Мецнер Д.Д. Барановский Н.В.
4	Формулировка математической модели теплового воздействия	15	06.11.18	22.11.18	Мецнер Д.Д.
5	Численное исследование тепловых режимов на человека	85	23.11.18	13.03.19	Мецнер Д.Д.
6	Сравнительный анализ с результатами других авторов	5	14.03.19	19.03.19	Мецнер Д.Д.
7	Формулировка выводов по результатам численного исследования	3	20.03.19	22.03.19	Мецнер Д.Д. Барановский Н.В.
8	Написание и публикация статьи	10	23.03.19	03.04.19	Мецнер Д.Д. Барановский Н.В.
9	Подготовка рукописи диссертации	12	27.05.19	08.06.19	Мецнер Д.Д., Барановский Н.В.
Итого:		182			

В соответствии с календарным рейтинг-планом составим график хода работ представлен на рисунке 4.1.

4.4. Бюджет научного исследования

В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям.

4.4.1 Материальные затраты. Спецоборудование для научных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ. В таблице 4.8 приведено оборудование и его стоимость.

Таблица 4.8 – Расчет затрат на спецоборудование для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	ЭВМ	1	35000	35000
2	MATLAB	1	5000	5000
Итого				40 000

4.4.2 Основная заработная плата

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда и складывается из основной заработной платы научных и инженерно-технических работников, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда).

Основная заработная плата работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату определяется по формуле:

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} ,$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}},$$

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

$T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 6);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}},$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.:

для магистранта оклад составляет $Z_{\text{м}} = 12664$ р;

для доцента $Z_{\text{м}} = 33664$ руб.

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 4.9).

Таблица 4.9 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистрант
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Таблица 4.10 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{м}}$, руб	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	33664	-	-	1,3	1813	12,3	22300

Продолжение таблицы 4.10.

Магистрант	12664	-	-	1,3	682	180	122760
------------	-------	---	---	-----	-----	-----	--------

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

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

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

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

В таблице 4.11 приведена форма расчета основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 4.11 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Магистрант
Основная зарплата	22300	122760
Дополнительная зарплата	2230	12276
Зарплата исполнителя	24530	135036
Итого по статье $C_{\text{зп}}$	159566	

Отчисления на социальные нужды включают в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.) равен 27,1%.

$$C_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot (24530 + 135036) = 43242 \text{ руб.}$$

4.4.3 Накладные расходы

Накладные расходы состоят из затрат на управление и хозяйственное обслуживание. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов 30%.

$$C_{\text{накл}} = 0,3 \cdot (24530 + 135036) = 47870 \text{ руб.}$$

Прочие прямые затраты – электроэнергия, потребляемая оборудованием. Компьютер потребляет в среднем $P=0,45$ кВт.

Затраты на электроэнергию находятся по формуле:

$$C_{\text{пр}} = P \cdot T \cdot k,$$

где P – мощность, кВт;

k – стоимость 1 кВт, составляет 5,8 руб.;

T – часы работы, ч.

$$C_{\text{пр}} = 0,45 \cdot 1080 \cdot 5,8 = 2819 \text{ руб.}$$

4.5. Реестр рисков

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Сведем информацию в таблицу 4.13.

Таблица 4.12 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска*	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Технический (Долгое время обработки)	Низкая эффективность выполнения работы	2	3	средний	Проведение более точных исследований	Погрешность исследований выше 30%

Продолжение таблицы 4.12.

2	Внешний (неостребованность на рынке)	Потеря прибыли	2	5	средний	Популяризация данного исследования	Незаинтересованность потребителей
3	Организационный (финансирование продукта)	Низкое качество работы программного кода	3	3	средний	Привлечение инвесторов (презентации и и .д.)	Появление аналогичного более дешевого продукта

4.6. Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}}$$

где I_{ϕ}^p - интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения;

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

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

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проводится в форме таблицы 4.14.

Таблица 4.14 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1
1. Адекватность	0,2	5	4
2. Экономичность	0,1	3	3
3. Надежность	0,2	4	4
4. Точность	0,2	5	5
5. Универсальность	0,2	4	2
6. Адаптивность	0,1	4	4
Итого	1	25	22

$$I_{mn} = 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 = 4,3$$

$$\text{Аналог } I_{mn} = 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 2 + 0,1 \cdot 4 = 3,7$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта:

Таблица 4.15 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог
1	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,3	3,7
2	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,7	

Глава 5. Социальная ответственность

Введение

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

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

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

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

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

В данной главе преследуются несколько задач:

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

2. Проанализировать перечень вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования, а также влияние исследуемого объекта на человека; рассмотреть возможность возникновения ЧС и разработать ряд мер по их предупреждению. Объектом исследования является ветвь хвойного дерева. Полученные результаты математического моделирования могут быть применены для создания геомониторинга лесных массивов.

5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

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

Правовая основа по обеспечению охраны труда и безопасности трудящихся на рабочем месте основывается на Конституцию РФ и состоит из ряда федеральных законов и нормативно правовых актов. Управление охраной труда осуществляет блок федеральных органов исполнительной власти, 87 руководимый Министерством здравоохранения и социального развития РФ (Минздравсоцразвития).

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

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

В Кодексе нашли существенное отражение вопросы охраны труда. В нем констатируется, что каждый работник имеет право на условия труда,

отвечающие требованиям безопасности и гигиены, на обязательное социальное страхование, на возмещение ущерба, причиненного работнику в связи с выполнением трудовых обязанностей, и ряд других. Вопросам охраны труда посвящен специальный раздел «Охрана труда»

5.2. Производственная безопасность

5.2.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

Человек может попасть под воздействие опасных факторов, пребывая в зоне пожара. Опасные факторы лесных пожаров на организм человека можно разделить на три группы:

1. Физико-химические
2. Психофизические
3. Биологические

Первая группа включает в себя тепловое и световое излучение, наличие углекислого и угарного газов, повышенную температуру воздуха. Во вторую группу входят нервно-психологические и физические нагрузки. Биологические – наличие в рабочей зоне насекомых, которые способны вызвать аллергические реакции, являющихся переносчиками заболеваний.

Огонь – основная причина гибели людей, когда они попадают в его окружение. Чаще всего загорается одежда, открытые участки тела подвергаются ожогам. Защитой может послужить специальная одежда. Также тушение лесных пожаров может привести и к более крупным последствиям. Дым от возгорания леса оказывает отравляющее воздействие на человека, углекислый газ вызывает раздражение слизистых оболочек, искры от пожара приводят к возгоранию одежды. Дым, шум от пожара, треск может привести к панике при тушении пожара.

Таблица 5.1 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготов ление	Эксплуа тация	
1.Отклонение показателей микроклимата	-	-	-	<p>СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95</p> <p>ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. ГОСТ Р ИСО 9241-4-2009.</p> <p>Эргономические требования к проведению офисных работ с использованием видеодисплейных терминалов (VDT). Часть 4. Требования к клавиатуре.</p> <p>ГОСТ Р ИСО 9241-5-2009. Эргономические требования к проведению офисных работ с использованием видеодисплейных терминалов (VDT). Часть 5. Требования к расположению рабочей станции и осанке оператора.</p>
2. Превышение уровня шума	-	-	-	
3.Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	
4.Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	-	
5.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	-	

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

Так как была разработана математическая модель теплопереноса в слоистой структуре ветви хвойного дерева, - то рабочим местом будет являться компьютерный класс.

Условием труда пользователя, который работает за компьютером, определяется особенностями организации рабочего места и условием производственной среды. Габаритные параметры рабочего места определяются антропологическими характеристиками человека, нормы которых приведены в специальном документе.

При работе за ПЭВМ возможно воздействие следующих вредных факторов:

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

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

Так же в качестве опасного фактора нужно учесть возможность возникновения пожара или поражения электрическим током.

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

Воздействие ПЭВМ на человека сказывается негативно при интенсивной работе, и одним из вредных факторов является зрительное

утомление. На это, помимо ПЭВМ, влияет освещенность помещения. В поле зрения оператора находятся многочисленные источники различной блёскости, низкая освещенность, неравномерное распределение яркости. Поэтому очень важно правильно организовать освещенность рабочей зоны. Для этого нужно верно расположить оборудование относительно источников света.

В компьютерных классах должно быть естественное и искусственное освещение. Естественное освещение обеспечивается через оконные проемы с коэффициентом естественного освещения КЕО не ниже 1,2. Искусственное освещение в помещении и на рабочем месте создает хорошую видимость информации, машинописного и рукописного текста, при этом должна быть исключена отраженная блескость. Светильники должны располагаться в виде сплошных или прерывистых линий сбоку от рабочих мест параллельно линии зрения пользователя при разном расположении компьютеров. Для обеспечения нормативных значений освещенности в помещениях следует проводить чистку стекол оконных проемов и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп[93].

Компьютер является источником статического электричества и различных излучений:

1. рентгеновских,
2. электромагнитных.

Источниками ЭМП являются силовые трансформаторы, система горизонтального отклонения луча электроннолучевой трубки (ЭЛТ) дисплея, блок модуляции луча ЭЛТ, экран 74 монитора (ИК и УФ излучения), высоковольтные кенотроны и кинескопы (рентгеновское излучение). Для комфортной работы оператора в помещении должен быть создан микроклимат, отвечающий всем требованиям. Микроклимат характеризуется следующими показателями:

1. температура воздуха;
2. температура поверхностей;
3. относительная влажность воздуха;
4. скорость движения воздуха;
5. интенсивность теплового облучения.

Эти параметры по отдельности и в комплексе влияют на организм человека, определяя его самочувствие. Согласно [95] для категории тяжести работ 1а температура воздуха должна быть в холодный период года не более 22-24оС, в теплый период года 20-25оС. Относительная влажность должна составлять 40-60%, скорость движения воздуха — 0,1 м/с. Для поддержания оптимальных значений микроклимата используется система отопления и кондиционирования воздуха.

На пользователя могут оказывать неблагоприятное влияние также шум от работы самой ПЭВМ и оборудования (принтеров, вентиляторов систем охлаждения и трансформаторов) в помещении. Как известно шум негативно воздействует на нервную и сердечно-сосудистую системы. Уровни шума не должны превышать значений, установленных [76] и составляют не более 50 дБА. Для предотвращения пагубного воздействия вредных факторов рабочего места следует соблюдать ряд требований к организации рабочего места и рабочего процесса:

– для снижения воздействия электромагнитного излучения следует:

1. установить монитор задней стенкой к стене;
2. исключение пыли в помещении;
3. умывание холодной водой после работы;

Необходимо хорошо проветривать помещение и, при возможности, установить ионизатор;

– для снижения психического напряжения: регулярные перерывы по 15 минут через каждые 30 минут; – для снижения утомляемости глаз:

правильное расстояние до дисплея (45-60 см); чтобы избавиться от бликов на экране от дополнительных источников света они должны использоваться только для подсветки 75 документов. Естественный свет должен падать сбоку (слева); время непрерывной работы с монитором для взрослого - 2 часа, перерыв - не менее 15 минут;

– для снижения физического утомления: специальный компьютерный стул на газпатроне, без подлокотников, ширина и глубина поверхности сиденья не менее 400 мм, сиденье должно иметь некоторый наклон назад (на 5-6 градусов), обеспечивающий устойчивость позы, спинка кресла должна иметь вогнутую форму, поверхность сиденья мягкая с закругленным передним краем, расстояние от сиденья до нижнего края рабочей поверхности не менее 150 мм;. Клавиатура должна располагаться на поверхности стола на расстоянии 100- 300 мм от края, обращенного к пользователю [71]. Перед началом работы следует убедиться в отсутствии свешивающихся со стола или висящих под столом проводов электропитания, в целостности вилки и провода электропитания, в отсутствии видимых повреждений аппаратуры и рабочей мебели, в отсутствии повреждений и наличии заземления приэкранного фильтра.

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

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

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

5.3. Экологическая безопасность.

5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

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

Главные экологические последствия загрязнения атмосферы — парниковый эффект, кислотные дожди, нарушение озонового слоя.

Виды источников загрязнения атмосферы:

1. Естественные

- Пыльные бури
- Лесные пожары
- Выветривание
- Вулканизм

– Разложение органических веществ

2. Антропогенные

– Промышленные предприятия

– Транспорт

– Сельское хозяйство

– Теплоэнергетика

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

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

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

Продукты сгорания ЛГМ и РГМ, которые загрязняют атмосферный воздух, могут быть разделены на две категории. В первую входят непосредственно выбрасываемые из очага пожара, а во вторую — образующиеся из веществ первой категории в результате химических

реакций, в том числе с компонентами воздуха. Газы и аэрозоли первой и второй категорий принято называть соответственно первичными и вторичными загрязнителями. Некоторые загрязняющие вещества могут входить в обе категории

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

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

Загрязнение гидросферы

На ликвидацию одного среднестатистического пожара расходуется около 50 м³ воды. Только для тушения трех тысяч ежегодно происходящих в амурской области пожаров требуется около 150 000 м³ воды. А чтобы потушить 6,5 млн. пожаров на Земле - 350 млн. м³, что равносильно стационарным водным ресурсам озер, рек и большей части почвенной влаги вместе взятых. При тушении вода, соприкасаясь с раскаленными веществами, превращается в пар. И пар, и вода насыщаются отравляющими веществами. Пар попадает в атмосферу и дополнительно участвует в круговороте веществ между сушей и океаном, выпадая в виде кислотных дождей и снега.

Вода атмосферных осадков с места пожаров в конечном итоге попадает в озера, моря, проникает в почву и долгое время сохраняется в биосфере.

Сгорание воздуха при пожаре

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

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

Токсичность продуктов сгорания

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

Все токсичные вещества присутствуют в воздухе в количествах, в несколько раз превышающих допустимые нормативы качества атмосферы, что приводит к отравлению людей. А пожарные подвергаются, так называемому накапливаемому отравлению, небольшие дозы отравляющих веществ, регулярно получаемые ими во время ликвидации пожаров, в конечном итоге приводят к тому, что пожарные приобретают профессиональные заболевания легких, желудочнокишечного тракта,

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

5.3.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

Т.к сам процесс исследования проходил в компьютерном классе, то влияние на окружающую среду было незначительным. При возникновении пожароопасной ситуации произойдет загрязнение воздуха токсичными веществами, (в зависимости от масштаба). Поэтому необходимо соблюдать технику безопасности.

5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

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

Причинами возникновения пожара могут быть:

1. неисправности электропроводки, розеток и выключателей которые могут привести к короткому замыканию или пробоем изоляции;
2. использование поврежденных (неисправных) электроприборов;
3. использование в помещении электронагревательных приборов с открытыми нагревательными элементами;
4. возникновение пожара вследствие попадания молнии в здание; – возгорание здания вследствие внешних воздействий;

5. неаккуратное обращение с огнем и несоблюдение мер пожарной безопасности.

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

Одно из условий обеспечения пожаробезопасности - ликвидация возможных источников воспламенения пожарной техники.

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

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

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

1. разделение лесных массивов противопожарными разрывами;
2. создание (устройство) вдоль противопожарных разрывов и дорог, а также у других объектов пожароустойчивых опушек (лиственных или с преобладанием лиственных пород);
3. устройство защитных (минерализованных) полос и канав;
4. устройство дорог, мостов и прочего;
5. проведение мероприятий по противопожарной пропаганде (устройство постоянно действующих выставок, витрин, мест отдыха и курения в лесу, установка предупредительных аншлагов);
6. строительство кордонов для лесной охраны, пожарных наблюдательных вышек, средств радио и телефонной связи, организация метеопунктов в лесхозах и лесничествах и дозорносторожевой службы;
7. устройство водоемов, промежуточных посадочных площадок и наземных ориентиров для самолетов и пунктов приема донесений с самолетов;
8. организация пожарно-химических станций и пожарных бригад и строительство помещений для них; создание пунктов сосредоточения противопожарного инвентаря

Для составления плана противопожарного устройства территория лесхоза разбивается на пожарные выделы в зависимости от пожарной

опасности лесных насаждений в соответствии с вышеуказанной шкалой классов пожарной опасности.

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

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

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

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

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

При возникновении чрезвычайной ситуации следует:

1. Увеличить противопожарные разрывы между лесом и границами застройки путем вырубki деревьев и кустарников.

2. Вспахать широкие полосы вокруг населенного пункта и отдельных строений.

3. Создать запасы воды и песка.

4. Если пожар только начинает разгораться, необходимо сбить пламя метелкой из веток. Использовать для тушения можно ветки деревьев лиственных пород или дерева длиной 1,5-2 метра, плотную ткань, мокрую одежду. Необходимо наносить скользящие удары по кромке огня сбоку в сторону очага пожара, как бы сметая пламя. Затаптывать небольшой огонь ногами, не давать ему перекинуться на стволы и кроны деревьев.

5. Необходимо немедленно предупредить всех находящихся поблизости людей о необходимости выхода из опасной зоны.

6. Если пожар потушить своими силами невозможно, то от низового пожара можно уйти: скорость пешехода превышает 80 метров в минуту (около 5 км/час), а скорость распространения пожара - составляет 1-3 метра в 86 минуту. Идти необходимо в наветренную сторону, перпендикулярно кромке пожара, по просекам, дорогам, полянам, берегам ручьев и рек.

7. При возгорании торфяного болота воспрещается самостоятельно тушить пожар, необходимо обойти его стороной. Двигаться надо против ветра внимательно осматривая перед собой дорогу, ощупывая её шестом или палкой.

8. Выходить из опасной зоны быстро, перпендикулярно к направлению движения огня, используя открытые пространства и избегая бурелома.

9. Вал низового огня лучше преодолевать против ветра, укрыв голову и лицо одеждой; при этом следует учесть ширину распространения низового огня и трезво оценить возможность преодоления Вами этой полосы.

10. Если невозможно уйти от пожара, войдите в водоем или накройтесь мокрой одеждой.

11. Прикройте органы дыхания платком, рукавом, шарфом и т.п. (предварительно смочив ткань водой).

12. После выхода из зоны пожара сообщите о месте и характере пожара в администрацию населенного пункта, местному населению, лесничеству и противопожарную службу.

5.5. Выводы по разделу

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

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

В результате проведенного исследования разработана математическая модель теплопереноса в слоистой структуре ветви хвойного дерева при воздействии лучистого теплового потока от фронта лесного пожара.

Воздействие пожара на древесные растения проявляется чаще всего в нанесении термических повреждений (травм). Термические повреждения

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

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

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

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

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

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

Тепловые и дымовые выбросы обширных лесных пожаров меняют динамику атмосферы, процессы циркуляции воздушных масс и, тем самым, погодные условия в отдельных регионах. Интенсивная и длительная

задымленность от лесных пожаров создают серьезные угрозы для здоровья населения.

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

Прогнозирование пожароопасных ситуаций существенно влияет на:

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

Разработка данных моделей открывает перспективы создания более совершенных математических моделей прогнозирования лесных пожаров и условий пожароопасных ситуаций. Полученные результаты могут быть применены при создании информационно-вычислительных систем геомониторинга лесных массивов

Заключение

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

В результате проведения экспериментальных исследований удалось установить стадии воздействия теплового потока на образец.

Разработка данных моделей открывает перспективы создания более совершенных математических моделей прогнозирования лесных пожаров и условий пожароопасных ситуаций. Благодаря полученному расчету температурного поля в структуре ветви хвойного дерева при различной интенсивности и времени воздействия теплового потока от фронта пожара определен критерий теплового поражения, по которому можно судить о степени повреждения. Полученные результаты могут быть применены при создании информационно-вычислительных систем геомониторинга лесных массивов

Список литературы и источников

1. Сафронов М.А, Вакуров А.Д. «Огонь в лесу» Издательство «Наука», Новосибирск, 198 С.
2. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. Новосибирск: Наука, 1992. 408 С.
3. Дмитриев А.Н., Кречетова С.Ю., Кочеева Н.А. Грозы и лесные пожары от гроз на территории Республики Алтай: монография / Дмитриев А.Н., Кречетова С.Ю., Кочеева Н.А. – Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2011. 154 С.
4. Мелехов И.С. Природа леса и лесные пожары. Архангельск: ОГИЗ, 1947. 44 С.
5. Мелехов И.С. Влияние пожаров на лес. М.; Л.: Гослестехиздат, 1948. 44 С.
6. Анцышкин С.П. Противопожарная охрана лесов. М.;Л.: Гослесбумиздат, 1957. 30 С.
7. Курбатский Н.П. Пожары тайги, закономерности их возникновения и развития: автореф. дис. ... д-ра с.-х.наук. – Красноярск, ИЛиД им. В. Н. Сукачева СО АН 1964. 54 с
8. Курбатский Н.П. О классификации лесных пожаров // Лесное хозяйство. 1970. №3. – С 68-73.
9. Сафронов, М.А. Еще раз о классификациях лесных пожаров // Лесное хозяйство. 1971. №2. С 22-25.
10. Курбатский Н.П., Шешуков М.А. О лесных пожарах в Хабаровском крае // Лесное хозяйство. 1978. № 4. С 79-83.
11. Шумилова Л.В. Ботаническая география Сибири. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1962. 52 С.
12. Методические указания по курсу «Лесная пирология» для самостоятельной работы студентов очной и заочной форм обучения “Классификация лесных пожаров”. / А.С.Залесов. – Екатеринбург. Изд-во УГЛТУ. 2011. 18 С.

13. Первый лесопромышленный портал “Лесные пожары: классификация, прогнозирование, организация тушения”. [Электронный ресурс] / URL: <http://www.wood.ru/ru/lofire.html> (Дата обращения - 22.11.2018)
14. Лебединская А.А., Кичигина А.К., Свиридова И.В., Внукова З.А., Мандрыкина Н.Е., Пусная О.П. Прогнозирование пожароопасных ситуаций на примере ивнянского района белгородской области // Материалы VIII Международной студенческой электронной научной конференции «Студенческий научный форум» / URL: <https://scienceforum.ru/2017/article/2017033065> (Дата обращения - 22.11.2018)
15. Рекомендации по обнаружению и тушению лесных пожаров (утв. Рослесхозом 17.12.1997). 10 С.
16. Федеральное агентство лесного хозяйства / Об утверждении классификации природной пожарной опасности лесов и классификации пожарной опасность в лесах в зависимости от условий погоды. Приказ от 5 июля 2011 г. № 287
17. Софронов М.А., Волокитина А.В. Пирологическое районирование в таежной зоне. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1990. 205 С.
18. Курбатский Н.П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы пирологии. Красноярск: ИЛИД СО АН СССР. 1970. С 5-58.
19. Софронов М.А. Лесные пожары в горах южной Сибири. М.: Наука, 1967. 148 С.
20. The National Fire-Danger Rating System. J.E. Deeming, G.W. Lancaster, M.A. Fosberg N.-Y.; London; Toronto; USDA.,Forest Service, 1972. 165 P
21. Редькин А. Ю., Волокитина А. В. Составление карт растительных горючих материа- лов при лесоустройстве заповедников // Вестник КрасГАУ. 2010. № 3. С. 139–144.

22. Залесов С. В. Лесная пирология : учеб. Пособие для вузов/ Под общ. ред. Н. А. Луганского; С. В. Залесова, Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. акад. 1998. 296 С.
23. Шешуков, М. А. Влияние некоторых факторов на повреждаемость деревьев пожарами / М. А. Шешуков, В. И. Соловьев, И. Б. Найкруг // Горение и пожары в лесу: сб. ст. Красноярск, 1978. С. 176–177.
24. Goldammer J. G. (ed.) Vegetation fires and global change. Challenges for Concerted International Action: A White Paper Directed to the United Nations and International Organizations. Remagen-Oberwinter: Kessel Publ. House, 2013. 399 P.
25. Groisman P. Ya., Blyakharchuk T. A., Chernokulsky A. V., Arzhanov M. M., Marchesini L. B., Bogdanova E. G., Borzenkova I. I., Bulygina O. N., Karpenko A. A., Karpenko L. V., Knight R. W., Khon V. C., Korovin G. N., Meshcherskaya A. V., Mokhov I. I., Parfenova E. I., Razuvaev V. N., Speranskaya N. A., Tchebakova N. M., Vygodskaya N. N. Climate changes in Siberia. Ch. 3 // Regional environmental changes in Siberia and their global consequences. Dordrecht: Springer Science-Business Media, 2013. P. 57–109.
26. Sukhinin A. I., French N. H., Kasischke E. S., Hewson J. H., Soja A. J., Csiszar I. A., Hyer E. J., Loboda T., Conrad S. G., Romasko V. I., Pavlichenko E. A., Miskiv S. I., Slinkina O. A. AVHRR-based mapping of fires in Russia: new products for fire management and carbon cycle studies // Rem. Sens. Environ. 2004. Vol.93. P. 546–564.
27. Vivchar A. Wildfires in Russia in 2000–2008: estimates of burnt areas using the satellite MODIS MCD45 data // Rem. Sens. Letters. 2011. Vol. 2. N. 1. P. 81–90.
28. Kukavskaya E. A., Soja A. J., Petkov A. P., Ponomarev E. I., Ivanova G. A., Conrad S. G. Fire emissions estimates in Siberia: evaluation of uncertainties in area burned, land cover, and fuel consumption // Can. J. For. Res. 2013. Vol. 43. N. 5. P. 493–506.

29. Furyaev V. V., Vaganov E. A., Tchebakova N. M., Valendik E. N. Effects of fire and climate on successions and structural changes in the Siberian boreal forest // *Euras. J. For. Res.* 2001. N. 2. P. 1–15
30. Malevsky-Malevich S. P., Molkentin E. K., Nadyozhina E. D., Shklyarevich O. B. An assessment of potential change in wildfire activity in the Russian boreal forest zone induced by climate warming during the twenty-first century // *Climatic Change.* 2008. V. 86. P. 463–474.
31. Gustafson E. J., Shvidenko A. D., Sturtevant B., Scheller R. M. Predicting global change effects on forest biomass and composition in south-central Siberia // *Ecol. Appl.* 2010. Vol. 20. P. 700–715
32. Гусев В. Г., Лопухова Е. Л., Дубовый В. К. Классификация и общие свойства лесных горючих материалов // *Известия ВУЗов. Лесной журнал.* 2012. №1.
33. Системы пожарной безопасности. “Классификация лесных горючих материалов” / [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogar-bezopasnost.ru/news/1775-2016-07-14-08-53-21> (Дата обращения - 22.11.2018)
34. Волокитина А. В. Софронова Т.В. Картографирование растительных горючих материалов // *Сибирский лесной журнал.* 2014. №6. С. 8-28.
35. Лашхиа Ш.В. Природные ресурсы и хозяйственная практика. 1982
36. Николаев А. И. Проблемы лесного хозяйства в экономике РФ // *Экономика, управление, финансы: материалы V Междунар. науч. конф.* (г. Краснодар, август 2015 г.). — Краснодар: Новация, 2015. — С. 31-34.
37. Парламентская газета. “Лесное хозяйство страны” / [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pnp.ru/economics/chto-proiskhodit-v-lesnom-khozyaystve-strany.html> (Дата обращения – 22.11.2018)
38. Ушаков М. И., Николаева И. О., Фролова А. В., Морозов А. М. Лесной пожар и его влияние на лес // *Молодой ученый.* 2016. №1. С. 282-286.

39. Сухомлинова В. В. Влияние пирогенного фактора на эволюцию фитоценозов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 1 (5). С. 148-154.
40. Шешуков М. А., Громыко С. А. Влияние пирогенного фактора на формирование лесов в различных зонально географических условиях Дальнего Востока // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2008. № 1 (8). С. 21-26.
41. Щеглова Е.Г. О воздействии пожаров на окружающую среду и лесные биогеоценозы в степной зоне оренбургского региона. Альманах современной науки и образования. Тамбов: Грамота, 2013. № 6. С. 196-198.
42. Буряк Л.В., Кукавская Е.А., Каленская О. П., Малых О.Ф., Бакшеева Е.О. Последствия лесных пожаров в южных и центральных районах забайкальского края // Сибирский лесной журнал. 2016. № 6. С. 94-102.
43. Демаков, Ю. П. Лесоводство. Ведение хозяйства в лесах пораженных пожарами: Учебное пособие. / Ю. П. Демаков, К. К. Калинин. / Йошкар-Ола 2003. МарГТУ, ОПП МарГТУ. 135 С.
44. Макаров А.В. Исследование состояния древостоев после повреждения пожаром // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2011. №28. С 112.
45. Барановский Н.В., Андреева К.Н. Математическое моделирование теплового воздействия от фронта лесного пожара на ствол хвойного дерева // Cloud of science. 2015. №4. С.591-598 .
46. Андреева Н.Ю., Квартальнова С.Е. Численное моделирование процессов тепломассопереноса с химическими превращениями на примере верховых лесных пожаров // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 2. С. 10-14.
47. Плотникова А.С., Ершов Д.В. Метод актуализации карт классов природной пожарной опасности лесной территории с помощью спутниковых тематических продуктов // Современные проблемы

- дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 1. С. 181-189.
48. Цыркин В.Н. Гайсин М.М. А01G23/00 - Лесное хозяйство. № 2574898
49. Маркс А. Мониторинг лесов с помощью группировки спутников RapidEye. Геоматика №3 2011. с.58-59.
50. Разностные методы решения задач теплопроводности: учебное пособие. / Кузнецов Г.В , Шеремет М.А. Томск: Изд-во ТПУ. 2007. 15 С.
51. Самарский А.А. Теория разностных схем. М.: Наука, 1977. 656 С.
52. Ковалева Н.М, Собачкин Р.С, Екимова Е.Ю. Динамика нижних ярусов растительности после экспериментальных пожаров в сосновых древостоях. Сибирский лесной журнал. 2018. № 2. С. 61–70.
53. Кулешов А.А, Мышецкая Е.Е, Якуш С.Е, Моделирование распространения лесных пожаров на основе модифицированной двумерной модели. Математическое моделирование, 28:12 (2016), С. 20–32; Math. Models Comput. Simul., 9:4 (2017), С. 437–447
54. Алёшин Е.А., Методы обработки экспериментальных данных, Издательский центр ЮУрГУ 2013, С. 43-46

The study on ignition of forest fuel exposed to high temperatures

Introduction

Forest fires are of great importance in the life of a forest - they significantly change the environment, since fire is a powerful environmental factor.

As a result of heat exposure, trees suffer various injuries, which are manifested in the form of burns of the trunk, burns and burnout of roots, and crown burns.

Since conducting experimental research is a problem, due to the fact that the degree and type of damage to trees depends not only on the characteristics of a forest fire, but is also determined by the pyrological properties of each species and their plantations as a whole. Therefore, it is rational to study the effect of thermal regimes on woody plants using numerical simulation methods.

The reliability of the results obtained in the research process is confirmed by using well-tested numerical methods for solving partial differential equations (based on the method of Samarsky, solving less complex problems), analyzing the numerical results on a sequence of condensing grids, comparing the results obtained with other results by researchers.

Objective - Numerical and experimental studies on ignition of forest fuel when exposed to high temperatures to predict forest fire danger.

To achieve the goal of the work, the following tasks were set:

1. Overview of domestic and foreign literature.
2. Formulation of the mathematical model.
3. Conducting experiments.

4. On the basis of the conducted numerical study on the effect of radiant heat flux on the trunk of a coniferous tree, analyze the results of mathematical modeling for a branch of a coniferous tree.

5. Comparative analysis of the results of experiments and numerical studies.

6. Formulation of the findings of the study.

Theoretical and practical significance of the work

As a result of the study, mathematical models of heat transfer have been developed in the branches of a coniferous tree. The development of these models opens up prospects for creating more sophisticated mathematical models for predicting the environmental consequences of forest fires and the conditions of fire-hazardous situations. The obtained results can be applied when creating information and computational systems for forest geomonitoring.

Types and characteristics of forest fires

A forest fire is the uncontrolled spread of fire throughout the forest. In any situation, even a small fire can turn into a natural disaster. Currently, the probability of fire and large-scale spread of fire due to natural factors does not exceed 20% . Most forest fires are provoked by human activities.

There are the following main causes of forest fire:

1. Natural factors. For example, spontaneous combustion of vegetation and peat during drought, lightning from thunderstorms

2. Anthropogenic factors. It is mainly connected with planned arsons, arsons for cleaning the territories from logging waste and preparing them for new plantations, followed by deforestation. But there are also fires, triggered

by accidental arson, due to an oversight or non-compliance with the rules of conduct with fire.

You should also note that the classification of Melekhov did not define the concept of "forest fire". It indicated that when a forest site burns, there may be various fires in the area that is engulfed in fire, since various components of the plantation are engulfed in fire. A fire is classified as grassroots if the ground cover is burning. Mounted fire is classified in the event that there is a burning tree tops at the same time above the burning ground cover. If the trunks of dead trees are burning, it is classified as a stem fire.

Antsyshkin (1967) proposed a slightly different concept. Under the forest fire, he proposed to understand only the burning, which spreads spontaneously throughout the forest area. According to this definition, in the classification of Melekhov are classified as separate fragments of a fire (stem fires), as well as forest fires themselves (general, ground). This circumstance has reduced the number of categories of forest fires in the created Kurbatsky to 9.

Kurbatsky, in the classification, as the burning of single trunks, there are no "stem fires"; "Fallen ones" - on the grounds that the dead tree burns slowly; "fallen ones" - on the ground that the dead tree burns slowly; "General runaway" fires, because general forest fires are characterized by the burning of tree crowns over a slowly advancing front fire. "Sustainable summit" fires were also excluded, since the spread of burning along the canopy of the stand from the summit to the summit is possible only at a wind speed of more than 5 m / s as the rapid advance of the flame. Combustion of such an integral part as the soil during "underground" and "peat" fires caused the name to be replaced by "soil-peat" with the division of the latter into single-focal and multifocal. shrub fires were proposed to be considered as transitional types of bottom fire in riding, and litter-humus fires - as a

transitional form from grassroots to soil fire. In the classification, horse and soil fires were considered as the results of grassroots development.

Creating a classification of fires, Melekhov proceeded from the fact that a forest fire is a type of landscape fire. In its classification, in addition to forest fires, there are also “steppe, meadow, tundra, agricultural trees, etc.”. The landscape direction received its further development in the classification of Safronov (1971).

At the same time, a number of provisions of the classification Safronov is controversial. Steppe, forest and tundra fires in this classification are identified on the basis of vegetation zones, meadow - as a subtype of vegetation, and agricultural trees as an economic measure, i.e. for various reasons. This circumstance is explained by the absence of a clearly defined classification of landscapes and their subdivisions, as well as by the poor knowledge of most fires. Trying to eliminate the noted deficiency, further Kurbatsky proposed to introduce such a thing as “plant fire”. It was defined as burning, spontaneously spreading over the area occupied by vegetation. In this case, a forest fire will be a type of vegetation, not a landscape one, as there are other types and subtypes of vegetation in the forest reserve, which serves as an object of protection, in addition to forest protection. The botanico geographical classification of vegetation by LV was taken as the basis for the classification of plant fires. Shumilova (1962).

Forecasting forest fires and their consequences

Methods for assessing the fire safety of forests that already exist make it possible to determine the area and perimeter of a possible fire zone in a region. The initial data are the value of the fire coefficient and the time of fire development.

The value of the forest fire coefficient depends on the natural and weather conditions of the region and the time of year.

The time of development of fires is determined by the time of arrival of the forces and means of extinguishing a fire in the forest fire zone [4].

The main causes of forest fires are careless handling of fire, human factors, non-observance of precautionary measures of collective farmers.

Conifer plantations — pine, spruce, fir, cedar and larch — with coniferous undergrowth and undergrowth, with a soil cover of lichens, mosses, heather, dried herbaceous plants and in the presence of forest trash are most susceptible to burning, deciduous forests are noted with lower inflammability - oak forests on fresh and wet soils, birch forests, alders. The burning of forests also depends on the season and meteorological conditions. In the spring before the appearance of green vegetation and in the autumn after its drying, more frequent massive forest fires are observed. In the summer, the duration of the rainless period is of great importance in relation to the occurrence of forest fires (increased fire danger): the more days have passed after the rain, the higher the inflammability (fire danger) and vice versa.

Large forest fires have the following characteristics:

- 1) high propagation velocity;
- 2) duration over several days;
- 3) ease in overcoming natural and artificial obstacles, such as a river or a road;
- 4) occurrence in “fire hazardous” periods accompanied by drought and strong wind;
- 5) passing on the background of outbreaks of fires of small and medium sizes;

6) significant smoke over large areas, which complicates fire-fighting operations.

Forest combustible materials

In addition to the above root causes of a forest fire, a number of factors such as weather, topography, vegetation, and the like, accompany its occurrence and further spread. All these factors should be taken into account, first of all, for more efficient, simple and fast fire extinguishing.

For example, combustible forest materials can be divided into two groups in accordance with the conditions of fire:

The first group consists of flammable and quickly burning materials, such as dry leaves and grass, fallen and green needles, dried branches and branches.

The second group consists of materials that do not ignite immediately, in the process produce a lot of heat, which contributes to the further development of a forest fire. First of all, these are the deep layers of the forest floor, shrubs, old stumps, dead trees, trees.

The forest fund of Russia is approximately half of the entire country, reaching a value of 1.2 billion hectares. In this vast territory every year a huge number of fires are registered - from 10 to 35 thousand. In different cases, fires can cover from half a hectare to 2.5 million, and taking into account the little protected and unguarded Far Eastern areas, and the northern Siberian regions with high inflammability, it is possible to bring the total value of the area exposed to fire from 2 to 5.5 million hectares .

A statistical analysis of observations from 1994 to 2005 suggests that fires are one of the main destructive factors for the Forest Power (Russia accounts for one-fifth of the world's forest resources, and half of the world's coniferous forests). During this period, Russia lost more than five thousand

hectares of forests, which is on average about 400 thousand hectares in one year. Of the above number, 70% died from fires, the remaining 30 percent are allocated to the cumulative impact of pests, adverse weather, diseases, wildlife and human.

In assessing the total damage caused by forest fires, for example, for 2009, they receive a value of 20-30 billion rubles. If we estimate the losses in wood as an industrial object, then on average they will be about 27 million cubic meters in one year. A recalculation of the value of wood in the market will give a value of approximately 1,350 million rubles

Classification of forest combustible materials

For forest fuel materials (FFM) include flammable plants, both living and dead. As well as their remnants of the degree of decomposition, which somehow burn partially (or completely) during a forest fire. They consist of fiber. The heat of combustion of dry FFM varies about 17 ... 21 MJ / kg .

In relation to wetting and drying, FFM are divided into two broad categories: hygroscopic and non-hygroscopic.

Dead hygroscopic materials (dead wood, dried grass, litter, stumps, felling residues, deadwood, litter), as well as non-vascular plants with absent (lichen) or poorly developed (mosses) to root system. Their moisture content is constantly changing depending on hydrometeorological conditions. The maximum moisture content of hygroscopic FFM depends on their porosity and can vary from 100 (wood) to 3000% (sphagnum).

Non-hygroscopic FFM are living vascular plants (trees, self-sowing, undergrowth, shrubs, bushes, grasses) that are capable of maintaining a certain level of moisture content in their tissues through a well-developed root system. Shrubs and grasses usually dominate in the forest ground cover of non-hygroscopic FFM. Shrubs have woody stems, contain tar and essential oils. They maintain their moisture content at 80. 150%. Burning in the flames

of a forest fire, they intensify the burning and support its spread. Dense thickets of heather and wild rosemary are especially dangerous .

Vegetating herbs are distinguished by high moisture content, which usually exceeds 200%, and in spring, at the beginning of the growing season, can reach 700%, therefore all types of growing herbs prevent burning.

In highland fires, living needles and foliage in the canopy of a stand can be burned along with bearing shoots up to 7 mm thick and dry branches. The moisture content of the needles in the crowns in the fire-hazardous season usually ranges from 90 to 130%, but its good fermentability is provided by the relatively high content of essential oils in it.

There are the following approaches to the classification of FFM:

- 1) if possible, and the speed of their drying, used in the National Fire Danger Rating System NFDRS (National Fire Danger Rating System);
- 2) the location occupied in the phytocenosis (France);
- 3) by their origin (genetic classification proposed by Sheshukov);
- 4) according to the function of FFM in the spread and development of fire, taking into account their physical properties and location in the phytocenosis.

The classification of FFM (forest fuel materials) can be at three levels:

- 1) classification of elementary parts of FFM complexes, including individual plants from ground cover, undergrowth, shrubs, litter and tree debris on the soil, morphological parts of trees, etc., which do not affect small particles, considered in aggregate in the form of layers (bedding, peat, etc.);
- 2) classification of the layers of FFM within forest areas;

3) classification of homogeneous forest areas as complex FFM complexes.

For comparison, consider the foreign classifications of FFM. In the National Fire Hazard Assessment System, US, are divided into two categories: dead (dead fuel) and live (life fuel). Living plants are usually able to maintain their high moisture content, while the moisture content of dead FMM depends on the processes of their moisture and drying under the influence of weather conditions. This division is true for the main part of the United States, where there is practically no moss-lichen cover in the forests. Lichens and mosses are not able to actively maintain their moisture content. They dry out and become wetted like dead FFMs. In the boreal zone of Russia, moss-lichen soil covers are very widespread, and therefore the American division can be accepted only under the condition that these covers will be treated similarly to dead. The latter, depending on the time lag, are divided into four classes: light, medium, heavy and very heavy fuel. Under the time lag we understand the period of time during which there is a loss of two-thirds (63%) of the amount of water that can evaporate from a given sample of FFM under standard atmospheric conditions. Forest combustible materials forest plants, their morphological parts and plant residues of varying degrees of decomposition, which can burn during forest fires.

On the protection of forests from fires

The basic principle of protecting forests from fires is the principle of early detection and elimination in the initial stage of fire development. As professional firefighters say, any fire can be put out with a glass of water. Two or three patrol foresters using primary fire extinguishing equipment in case of timely detection of the source of ignition can eliminate it at an early stage or at least stop the spread of fire before the arrival of the fire brigade.

Early detection of the source of fire and the landing of a small group (5-7 people) for its elimination make it possible to fight fire in hard-to-reach areas. If this is not the case, then no amount of facilities, technology, aircraft, the introduction of an emergency situation, the creation of countless headquarters and committees can help. If a forest fire spreads to thousands of hectares, it will go out only after heavy rains or a drastic change in the weather. The experience of 2010, 2012 and 2015 confirms these words. Supporting the development of modern fire extinguishing technologies, it can be stated that without the presence of full-fledged forest guards, forest fire stations, the service of aviation forest protection, the fight against forest fires will be lost.

Forest Geomonitoring System

In forestry, for assessing forest areas according to the degree of fire occurrence on their territory, scales of natural fire danger are used. The class of natural fire hazard (KPPO) of a territory is determined by the type of ground cover, the breed composition and the age of the stand, the category of lands and a number of other characteristics of forest plantations. Natural fire hazard is divided into five classes depending on the object of fire (typical types of forest, felling, other categories of plantations and treeless spaces), as well as the conditions of occurrence and spread of fire. The first class corresponds to the highest probability of occurrence and development of a fire, the fifth class corresponds to the lowest probability.

The subjects of Russia update information on the natural fire danger when preparing a forest plan, which is carried out every ten years. During the period of renewal of the Central Power Purchasing Agency significant changes in forest stands occur - the categories of land and the species composition of the forest change. As a result of logging and forest fires, mass reproduction of pests and other destructive effects, there is a change in the type of ground cover and woody vegetation.

The invention "Forest Watch" refers to ground monitoring of forests and populated areas in order to detect emergency situations.

Known system of forest monitoring and early detection of forest fires "Forest Watch"

The system "Forest Watch" consists of the following elements:

- distributed video camera system;
- communication channels connecting video cameras with the Internet;
- Forest Watch system server connected to the Internet;
- software server system "Forest Watch";
- equipment of the automated workplace of the operator;
- software "Forest Watch" automated workplace.

A disadvantage of the known system is that the analysis of the situation occurs only on the basis of data from the central server of the system, connected by high-speed communication channels (recommended camera connection speed of at least 512 kbit / s) with video cameras and the Internet, which reduces the efficiency of the system and limits the monitoring area those areas where there is a developed communication infrastructure.

The objective of the invention is to increase the probability of detecting fire and expanding the area of monitoring in areas that do not have high-speed communication channels.

The monitoring system for forests, containing a network of controlled video cameras distributed over a forest, installed on towers equipped with video data transmitters, a central server, characterized in that it is additionally equipped with local servers, each of which is connected by high-speed wireless communication channels located on video cameras video transmitters

located in a radius actions of these channels, the central server is connected to the local servers by wireless communication channels of cellular networks, while the local server configured to allocate static images from the video data received from video cameras and to transmit the image to the central server associated with a geographic information system

Impact of forest fires on tree stands

The studies of Melikhov showed that the direct impact of a fire on a tree stand is most often manifested in the carrying of fire damage (grass), depending on the size of which the viability of trees is weakened or their death occurs. Fire damage to trees manifests itself in the form of: burns of the trunk and deeper wounds causing hollowness; burns and burning out the roots; crown burns. It is known that a thin layer of living cells is most sensitive to the thermal effects of a fire, ensuring the growth of the trunk, roots and branches of trees in diameter - the cambium. Studies have shown no differences in the thermal resistance of protoplasm among different tree species. The latter indicates greater resistance to fires of trees with a deep root system and thick bark. As noted earlier, pine stands are more inflammable than plantations of other forest formations growing under similar conditions. However, despite the high inflammability, pine plantations rarely die completely as a result of fires. Due to the highly raised crown and core root system, pine is more fire resistant than fir, spruce and cedar. Many researchers have conducted work to establish the degree of sustainability of plantations, depending on the taxation indicators. The dependence of the stability of pine stands against fire depending on the forest type, age of stands, fullness of stand, average height of stand, and a number of other factors experimentally established. For practical activities, it is very important to know immediately after a fire what proportion of trees in the coming years (or month) will lose viability.

In a number of regions of Russia, due to the prevailing complex of factors in recent decades, there has been an increase in the duration of the fire-hazardous season, the frequency of occurrence of fires and an increase in the burning of forests. One of the main reasons for the increase in the frequency of fires is the urbanization of the regions, and the situation is aggravated by climate warming. In certain fire-hazardous seasons, the area covered by fires in Siberia can reach several million hectares. An increase in fire activity can lead to aggravation of the effects of fire exposure. The most sensitive to changes are the territories of south Siberia. Other conditions are created that make it important to understand the consequences of possible changes in the state of forest ecosystems, primarily in forest areas that are characterized by the highest degree of burning.

Peak fermentation in the Baikal region in recent decades has been observed in 3-4 years. During the period from 1964 to 2015, the highest fire frequency and degree of fire hazard in the Baikal Territory was characterized by the fire-hazardous season of 2003.

Analysis of the literature in the field of research leads to the following conclusions:

- 1) In high forest fires, typical forest combustible materials are, inter alia, thin twigs up to 7 mm. Therefore, a complex theoretical and experimental study of heat transfer processes is necessary when exposed to a branch of a coniferous tree of a high-temperature environment.

- 2) Multivariate numerical calculations can facilitate the identification of conditions for forest fire danger. Therefore, it is necessary to develop a mathematical model of heat and mass transfer under the influence of damaging factors of a forest fire on a branch.

- 3) The results obtained, namely, mathematical models of heat and mass transfer can be used in systems of geomonitoring of forest fires. They can be

implemented as software tools for geographic information systems for monitoring and forecasting forest fires.

Conclusion

As a result of the study, a mathematical model of heat transfer in a layered structure of a branch of a coniferous tree under the influence of a radiant heat flux from the front of a forest fire was developed. A numerical simulation of the process of heat transfer under the influence of radiant heat flux from a forest fire front of varying intensity and variation of the impact of a damaging factor of a forest fire (radiation) has been carried out.

The development of these models opens up prospects for creating more sophisticated mathematical models for predicting forest fires and the conditions of fire-hazardous situations. Due to the obtained calculation of the temperature field in the structure of the branch of a coniferous tree at different intensities and times of exposure to heat flow from the fire front, a criterion of thermal damage was determined by which one can judge the degree of damage. The results obtained can be applied when creating information and computing systems of forest geomonitoring.