

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

Школа **Инженерная школа энергетики**
Направление подготовки **13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника**
НОЦ **И.Н. Бутакова**

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Математическое моделирование процессов теплопереноса в элементе типичного лесного горючего материала (ветвь кустарника) при воздействии высокотемпературной среды

УДК 536.45:635.054

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б6Б	Попова Анастасия Николаевна		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Трубченко Татьяна Григорьевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Немцова Ольга Александровна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель профиля ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника	Бульба Елена Евгеньевна	к.т.н., доцент		

Томск – 2020 г.

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

Школа **Инженерная школа энергетики**

Направление подготовки **13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника**

НОЦ **И.Н. Бутакова**

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

 (Подпись) _____
 (Дата) **Бульба Е.Е.**
 (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5Б6Б	Попова Анастасия Николаевна

Тема работы:

Математическое моделирование теплопереноса в элементе лесного горючего материала (ветвь кустарника) при воздействии высокотемпературной среды
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	11.06.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект исследования – ветвь кустарника. Предмет исследования – теплоперенос в трехслойной структуре ветки кустарника под воздействием теплового потока от фронта верхового пожара.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений научного сообщества в рассматриваемой области. Математическое моделирование теплопереноса в ветви кустарника, находящейся в высокотемпературной среде, с учетом структурной неоднородности. Обсуждение результатов исследования. Формулировка выводов и заключения.
Перечень графического материала	Презентация
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Трубченко Т.Г.
Социальная ответственность	Немцова О.А.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	25.12.2019
---	------------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б6Б	Попова Анастасия Николаевна		

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы бакалавриата по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
P1	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе <i>на иностранном языке</i> , разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты <i>комплексной</i> инженерной деятельности.
P2	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий при решении <i>комплексных</i> инженерных задач.
P3	Демонстрировать <i>личную</i> ответственность, приверженность и следовать профессиональной этике и нормам ведения <i>комплексной</i> инженерной деятельности с соблюдением правовых, социальных, экологических и культурных аспектов.
P4	Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.
P5	К достижению должного уровня экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P6	Осознавать необходимость и демонстрировать <i>способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни</i> , непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P7	Применять <i>базовые</i> математические, естественнонаучные, социально-экономические знания в профессиональной деятельности <i>в широком</i> (в том числе междисциплинарном) контексте в <i>комплексной</i> инженерной деятельности в производстве тепловой и электрической энергии.
P8	Анализировать научно-техническую информацию, ставить, решать и публиковать результаты решения задач <i>комплексного</i> инженерного анализа с использованием <i>базовых и специальных</i> знаний, нормативной документации, современных аналитических методов, методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования.
P9	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять <i>комплексные</i> инженерные проекты с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, <i>современных</i> методов проектирования для достижения <i>оптимальных</i> результатов, соответствующих техническому заданию <i>с учетом</i> нормативных документов, экономических, экологических, социальных и других ограничений.
P10	Проводить <i>комплексные</i> научные исследования в области производства тепловой и электрической энергии, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных, и их подготовку для составления обзоров, отчетов и научных публикаций с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, и <i>современных</i> методов.
P11	Использовать информационные технологии, использовать компьютер как средство работы с информацией и создания новой информации, осознавать

	опасности и угрозы в развитии современного информационного общества, соблюдать основные требования информационной безопасности.
P12	Выбирать и использовать необходимое оборудование для производства тепловой и электрической энергии, управлять технологическими объектами, использовать инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений.
<i>Специальные профессиональные</i>	
P13	Участвовать в выполнении работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов теплоэнергетического производства, контролировать организацию метрологического обеспечения технологических процессов теплоэнергетического производства, составлять документацию по менеджменту качества технологических процессов на производственных участках.
P14	Организовывать рабочие места, управлять малыми коллективами исполнителей, к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, планированию работы персонала и фондов оплаты труда, организовывать обучение и тренинг производственного персонала, анализировать затраты и оценивать результаты деятельности первичных производственных подразделений, контролировать соблюдение технологической дисциплины.
P15	Использовать методики испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства в соответствии с профилем работы, планировать и участвовать в проведении плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, в том числе, при освоении нового оборудования и (или) технологических процессов.
P16	Организовывать работу персонала по обслуживанию технологического оборудования теплоэнергетического производства, контролировать техническое состояние и оценивать остаточный ресурс оборудования, организовывать профилактические осмотры и текущие ремонты, составлять заявки на оборудование, запасные части, готовить техническую документацию на ремонт, проводить работы по приемке и освоению вводимого оборудования.

Реферат

Бакалаврская работа 95 с., 28 рисунков, 21 таблица, 69 литературных источников.

Ключевые слова: лесной пожар, лесной горючий материал, зажигание, математическая модель, тепломассоперенос, пиролиз. Объектом исследования является ветвь кустарника.

Предметом исследования является теплоперенос в трехслойной структуре ветки кустарника под воздействием теплового потока от фронта верхового пожара.

Цель работы – математическое моделирование теплопереноса в элементе лесного горючего материала (ветвь кустарника) при воздействии высокотемпературной среды для оценки экологических последствий лесных пожаров и их прогнозирования.

В процессе исследования проводилось численное моделирование процесса тепломассопереноса в неоднородной по структуре ветви кустарника.

Основные технологические характеристики: программная реализация математических моделей разработана с помощью среды MatLab.

Область применения: полученные модели могут стать основой для разработки классификации лесных горючих материалов.

Экономическая значимость работы заключается в том, что результаты исследования могут быть использованы для усовершенствования уже существующих или создания новых систем прогноза пожарной опасности, применение которых позволит снизить ущерб от лесных пожаров.

Сокращения

ЛГМ – лесной горючий материал;

ПАУ – полициклические ароматические углеводороды;

Оглавление

Введение	10
Глава 1. Современные состояния области исследования.	11
1.1. Типы лесных пожаров и их характеристики	11
1.2 Виды лесных горючих материалов	15
1.3 Сушка лесных горючих материалов	16
1.4 Пиролиз лесного горючего материала	19
1.5 Зажигание лесного горючего материала	22
1.6 Математические модели лесных пожаров	25
1.7 Прогнозирование лесных пожаров.....	28
1.8 Спутниковые геоинформационные и вычислительные технологии в прогнозе лесной пожарной опасности	30
Выводы по результатам аналитического обзора литературы.....	35
Глава 2. Объект и методы исследования	36
2.1 Объект исследования	36
2.2 Алгоритм решения задачи теплопроводности.....	37
Глава 3. Социальная ответственность.....	45
Введение	45
3.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	46
3.2 Производственная безопасность	47
3.3 Обоснование мероприятий по снижению воздействия	52
3.4 Экологическая безопасность	53
3.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	55
Выводы по разделу.....	57

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	59
Введение	59
4.1 Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения...	59
4.1.1 Описание потенциальных потребителей	59
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	60
4.1.3 SWOT – анализ	62
4.2 Планирование и формирование бюджета научных исследований	66
4.2.1 Планирование работ	66
4.2.2 Разработка графика Ганта	67
4.2.3 Формирование бюджета затрат на научное исследование.....	69
4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования ..	73
4.3.1 Определение финансовой эффективности и ресурсоэффективности .	73
Выводы по разделу.....	75
Заключение	77
Список используемых источников.....	78

Введение

Лесные пожары - это очень сложное и разрушительное явление. В результате лесных пожаров могут быть уничтожены населенные пункты и лесные экосистемы. В зависимости от интенсивности пламени деревья подвергаются термическому повреждению различной степени тяжести. Для того, чтобы избежать такие разрушительные бедствия, которые ежегодно преодолевают страну, необходимо разработать новые методы прогнозирования лесных пожаров. Поскольку экспериментальные исследования являются дорогостоящими и сложными в проведении, рационально использовать методы математического моделирования.

Цель: Математическое моделирование теплопереноса в элементе лесного горючего материала (ветвь кустарника) при воздействии высокотемпературной среды для оценки экологических последствий лесных пожаров и их прогнозирования.

В ходе выполнения данной работы был сформулирован ряд задач:

- 1) Аналитический обзор литературы, с целью выявления и анализа современных результатов в области экспериментальных исследований и математического моделирования;
- 2) Разработка методики математического моделирования;
- 3) Моделирование процесса теплопереноса в ветви кустарника в программной среде MatLab;
- 4) Обработка результатов моделирования;
- 5) Формулировка выводов по полученным данным;

Глава 1. Современные состояния области исследования.

1.1. Типы лесных пожаров и их характеристики

В настоящее время классификация лесных пожаров имеет следующий вид:

- Крупные пожары – пожары, которые охватили более 25 га площади.
- Обычные пожары – пожары, которые охватили более 25 га площади.

Существует классификация лесных пожаров по уровням сложности. Она характеризуется возможностью тушения данного пожара, площадью, количеством единиц пожарной техники и количеством людей, которые могут потушить данный пожар. Эта классификация представлена в таблице 1 [1].

Таблица 1 – Классификация лесных пожаров

Категория лесного пожара	Необходимое количество единиц техники пожаротушения и др. средств	Площадь возгорания к началу тушения, га
Начинающийся	2-3 человека со средствами тушения	До 1,5
Малый	3-12 человек с использованием ручных средств тушения и 1-2 единиц пожарной техники	1,5 – 3,0
Средний	две-три команды (20-30 человек) с использованием средств тушения: 2-3 бульдозера, тракторы с лесными плугами, пожарная техника	3,0 – 25,0
Крупный	6-9 команд (60-90 человек) с использованием различных средств тушения: 3-8 бульдозеров, тракторов и пожарных машин	25,0 – 200,0
Особо крупный	более 100 человек, а также средства тушения в количестве: 3-12 пожарных машин, бульдозеров и тракторов с лесными плугами	Более 200

Также лесные пожары можно классифицировать следующим образом:

1. Верховые пожары подразделяются на устойчивые и беглые.
2. Низовые пожары, также, бывают беглыми и устойчивыми.
3. Почвенные, или торфяные.

Устойчивые верховые пожары. Данный тип пожара имеет следующие характеристики: Температура горения 1000 °С, скорость распространения около 1,5 км/ч. Устойчивый верховой пожар распространяется при небольшом ветре. Передвигается одновременно с низовым пожаром сплошной стеной. Пламя низового пожара, передвигаясь наклонно, подогревает верхушки деревьев. Верхушки деревьев нагреваются до высоких температур, а после может быть достаточно искры, чтобы они начали гореть [2].



Рисунок 1 – Верховой пожар

Беглый верховой пожар характеризуется температурой около 900 °С и вытянутой формой. Хорошо распространяется при сильном ветре по кронам деревьев верхних ярусов и после себя оставляет только обугленные стволы. Время от времени пламя верхового пожара обгоняет территорию низового пожара [3]. Движение пламени можно назвать скачкообразным, а скорость скачка приближена к 20 км/ч, но иногда достигает больших значений. Когда огонь распространяется по наклонной поверхности или в условиях ветра,

пламя наклоняется вперед и приближается к несгоревшей лесной подстилке. Результирующий поток лучистого тепла, падающий на подстилку, увеличивается. [4] Из такого пожара с помощью ветра небольшие угли или частицы легко поднимаются и могут путешествовать на большие расстояния. Однако они могут выгореть или иметь низкую температуру при приземлении и, следовательно, с меньшей вероятностью могут вызвать возгорание. Для сравнения, крупные угли или частицы могут иметь длительное время горения, но их труднее транспортировать, и поэтому они не перемещаются далеко от фронта пожара. Угли или частицы промежуточного размера имеют относительно долгое время горения и могут быть подняты на значительные расстояния[5]. Именно они и разлетаются на большие расстояния. Как следствие, образуются новые очаги, которые наращивают скорость распространения пожара.

Верховые пожары считаются производными от низовых пожаров, которые в последующем становятся составной его частью. Формированию верховых пожаров содействуют сухая погода, ветер, захламленность лесов и т.д. [6].

Проведем краткую характеристику низовых пожаров. Низовой устойчивый пожар характеризуется температурой 800 °С, овальной формой и маленькой скоростью передвижения (несколько десятков м/ч). Наносят большой ущерб растениям с поверхностной корневой системой.



Рисунок 2 – Низовой пожар

Низовой беглый пожар имеет температуру 400-500°C, скорость распространения 0,5 км/ч, иногда быстрее. Приносят наименьший ущерб. В период весны для данного типа пожаров складываются благоприятные условия, так как подсыхает самый верхний слой мелких ЛГМ. Огонь в короткий срок сжигает то, что способно гореть, потом двигается дальше.

Почвенные (торфяные пожары). Низовой пожар со временем проникает в почву, в слой торфа и в перегной. Для такого пожара характерен светлый дым, расстилающийся над поверхностью почвы. Временами из почвы могут прорываться языки пламени. Возгорание торфа может происходить самостоятельно, из-за жизнедеятельности микроорганизмов, входящих в его состав [7]. Тушение таких пожаров вызывает сложности, так как поверхность торфяных залежей обладает водоотталкивающими свойствами за счет высокого содержания смол, для тушения 1 квадратного метра торфяника необходима 1 тонна воды. Могут гореть и зимой, вплоть до начала весеннего половодья. Торф полностью выгорает, вплоть до минерального слоя. Такие подземные пожары очень опасны, так как они имеют высокую температуру около 1000 °С. Сложно определить площадь такого пожара.



Рисунок 3 – Почвенный (торфяной) пожар

Относительно других пожаров, почвенные (торфяные) имеют небольшую скорость. Проходят расстояние от нескольких дециметров до нескольких метров за сутки [8].

1.2 Виды лесных горючих материалов

Лесные горючие материалы классифицируются следующим образом [9]:

- почвенный горючий материал (торф);

Из-за различного состава растений, образующих торф, существуют различия между разными типами торфа. Также, на тип торфа может влиять характер минеральной почвы и коренной породы, под торфяником и на почве, прилегающей к торфянику [10]. На степень температуры торфа влияют химические характеристики, а химические характеристики зависят от окружающих обстоятельств. По той же причине, что и химические характеристики, физические свойства торфа также всегда меняются в зависимости от типа торфа и состояния окружающей среды. Следовательно, может обсуждаться только диапазон каждого свойства. После анализа горизонтов удельная масса составляет около $1,48 - 2,25 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. Объемная

плотность составляет $0,07 - 0,62 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, а общая пористость составляет 74,2 - 95,3%. Зольность составляет 2,2 - 72,6% [11].

- напочвенный горючий материал (мелкие кустарнички, опад, напочвенный покров);

Кустарнички и травы характерны для непокрытых лесом территорий. Часто располагаются на территориях после пожаров и вырубок[12]. Опад с течением времени превращается в подстилку, а подстилка – это верхний горизонт почвы, состоящий из отмерших частей растений.

- горючий материал в кронах хвойного молодняка (подроста) кедра, сосны, ели, пихты, который включает хвою и ветви диаметром до 7 мм [13];

Например, сосна обыкновенная имеет плотные, жесткие хвоинки изогнутой формы. На ветках они живут до 3 лет, но при хороших условиях могут и до 8 лет. Хвоя хорошо воспламеняется, потому что в ней накапливается большое количество эфирных масел и смолы, которые являются хорошим горючим.

- аналогичный горючий материал в кронах взрослых хвойных деревьев тех же пород.

Все сведения о запасах лесного горючего материала наносятся на карты растительных горючих материалов [14,15,16]. С их помощью можно оценивать класс пожарной опасности данного биогеоценоза и прогнозировать лесные пожары[17].

1.3 Сушка лесных горючих материалов

Древесная биомасса обычно неоднородна по размеру и имеет высокую влажность. Сухое древесное топливо более удобно в использовании из-за относительной простоты хранения, а также из-за преимущества с точки зрения эффективности сжигания [18]. Много исследований было посвящено повышению ценности лесной биомассы путем снижения содержания влаги [19]. Сушка – один из методов снижения влажности древесины.

Осуществляется за счет подвода нагретого воздуха к древесине. Является очень экономичным и популярным способом обезвоживания.

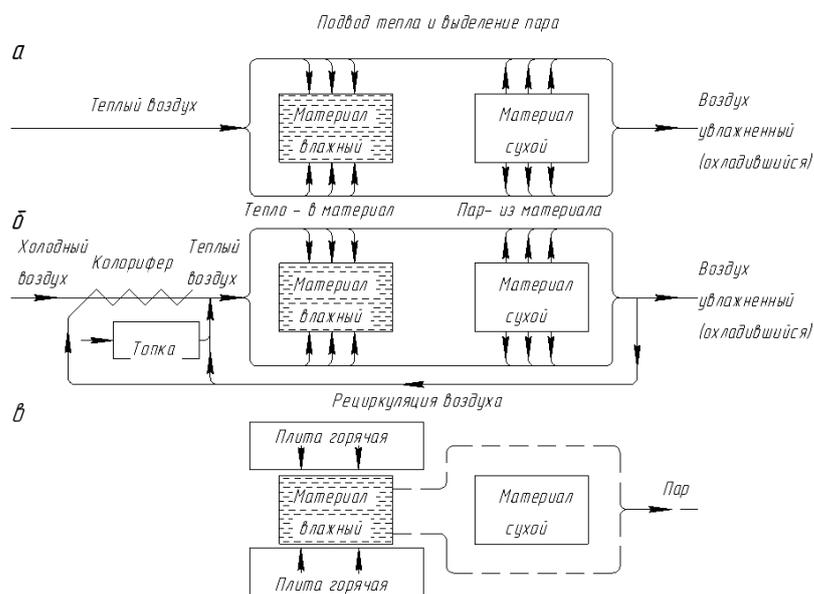


Рисунок 4 – Принципиальная схема подвода тепла к высушиваемому материалу: а – конвективно с теплым воздухом (при атмосферной сушке); б – конвективно – с нагретым воздухом или продуктами сгорания (в сушильных установках); в – кондуктивно – горячими плитами, с выпариванием влаги (штриховкой показана влага в материале)

Пиломатериалы - основной вид продукции лесопильных заводов, подвергаемый сушке. Характеристики сушки можно измерить следующим образом: необходимо непрерывно контролировать вес и определять высыхание путем расчета потери массы до и после сушки. Время процесса сушки может варьироваться, оно зависит от свойств материала. На рис. 4,а изображена атмосферная сушка. Процесс испарения влаги воздухом может происходить без искусственного его подогрева, когда используется теплота относительно нагретого солнцем наружного воздуха.

С помощью подвода к материалу теплоты (продуктов сгорания, воздуха от калориферов, или электронагревом), получаемой в результате сжигания топлива, применения электроэнергии от тепловых или

гидравлических станций и т.п., осуществляют комбинированную сушку.

Процесс включает в себя следующие этапы:

-пиломатериалы укладываются рядами

-после по зазорам продувают нагретый воздух, но продувают во влажной среде, чтобы пиломатериал не растрескался.

В современных сушильных установках используют принцип рециркуляции воздуха: вышедший из пиломатериалов влажный воздух опять подогревается в калориферах и направляется в тот же пиломатериал (рис. 4,б). Так как объем выделяющегося из материала пара при обычной температуре сушки (50 – 100 °С) примерно в 1,2 – 1,7 тыс. раз больше объема испарившейся воды, пар устремляется из нагретой древесины в окружающий воздух и отводится им[20].

На рис. 4,в схематически изображен кондуктивный подвод тепла к пиломатериалу горячими металлическими поверхностями. В этом случае отпадает потребность в воздухе как сушильном агенте. Возможен подвод тепла к материалу лучеиспусканием (от ламп или горелок), а также диатермический нагрев – электрическим током или токами высокой частоты [21].

В математическом моделировании лесных пожаров сушку ЛГМ можно описать соотношением [22]:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{AmSM}{\sqrt{2\pi MRT}} p_0 \exp\left(-\frac{E_2}{RT}\right), \quad (1)$$

где m – масса, S – площадь поверхности, M – молекулярная масса воды, A – коэффициент аккомодации, E_2 – эффективная теплота испарения, p_e – парциальное давление воды во внешней среде, R – универсальная газовая постоянная, T – абсолютная температура в предположении, что при высоких температурах, сопровождающих фронт лесного пожара, давление насыщенного пара

$$p_n = p_0 \exp\left(-\frac{E_2}{RT}\right) \gg p_c, \quad (2)$$

где p_c - парциальное давление влаги.

Теоретически, сушка древесной биомассы приведет к получению более эффективного материала, поскольку более сухой материал будет ближе по свойствам к материалу с теоретической высокой теплотворной способностью древесной биомассы. Потеря веса, измеренная в биомассе, принимается равной потере воды.

1.4 Пиролиз лесного горючего материала

Понимание поведения древесины имеет важное значение для борьбы с лесными и городскими пожарами [23]. Во время пожара древесина подвергается пиролизу, который является термохимической реакцией, превращающей древесину в уголь, конденсирующиеся жидкости (смола) и газы. Во время пожаров растения теряют влагу из-за испарения и подвергаются двухстадийному процессу термического разложения (пиролиз и сжигание) при воздействии высоких температур [24], [25]. Пиролиз ЛГМ - это процесс термического разложения, не требующий присутствия кислорода. Продукты пиролиза могут позднее реагировать с O_2 при высоких температурах и образовывать пламя в присутствии источника возгорания [26], [27],[28].



Рисунок 5 – Механизмы теплообмена в лесных пожарах

Во время лесных пожаров растения подвергаются пиролизу и сжигаются с помощью очень сложных механизмов теплообмена [29]. Как показано на рис. 5, механизмами теплопередачи в лесных пожарах являются: (1) конвективная теплопередача от горячих газов к растениям, особенно при пожарах от ветра; (2) радиационная передача тепла от горящих растений; и (3) излучательный теплообмен от пламени [30]. Радиационные и конвективные механизмы теплопередачи являются двумя наиболее доминирующими типами механизмов теплопередачи при лесных пожарах. Тепло от сгорания продуктов пиролиза передается на окружающие ЛГМ, запуская процессы испарения и пиролиза для этих растений. Этот процесс повторяется непрерывно и распространяет огонь [31]. Излучаемая тепловая энергия передается от: (1) частиц горячей сажи в пламени; (2) твердого топлива, такого как обугленные листья, кора дерева и ветви; и (3) горячих газов, образующихся после сгорания. Сажа в лесных угодьях в основном образуется в результате полимеризации полициклических ароматических соединений в пиролизованной смоле [32]. В литературе было предложено несколько определений для смолы. Смола обычно определяется как любой продукт пиролиза, который конденсируется при комнатной температуре и давлении. Смола была также определена как смесь конденсируемых

углеводородных соединений, включая полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и кислородсодержащие углеводороды [33]. Во время процесса потери массы ЛГМ происходит разложение на гемицеллюлозу, целлюлозу и лигнин [34]. Во время пиролиза растений из лигнина образуются три единицы лигнина (то есть ванилин, гваякол и катехол). Затем звенья лигнина пиролизуются или реагируют с водородом с образованием первичных гудронов, которые включают ароматические соединения с 1 кольцом, такие как бензол и фенол [35]. Первичные реакции пиролиза завершаются при температуре около 500 ° С. При более высоких температурах пиролиза и скоростях нагрева ПАУ с более низким молекулярным весом (первичные продукты пиролиза) подвергаются вторичным реакциям и образуют более тяжелые ПАУ, такие как нафталин, антрацен и пирен, которые известны как вторичные и третичные гудроны [36].

Описать процесс пиролиза ЛГМ можно системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dm_{i0}}{dt} = -k_1 m_{i0} \exp\left(-\frac{E_1}{RT}\right), t = 0 \quad m_{i0} = m_{iH}, \\ \frac{dm_{ic}}{dt} = \alpha_c m_{i0} \exp\left(-\frac{E_1}{RT}\right), t = 0 \quad m_{ic} = 1, \end{cases} \quad (3)$$

где α_c – отношение молекулярных масс и стехиометрических коэффициентов конденсированного продукта пиролиза и исходного вещества; m_{i0} – текущая масса сухого органического вещества в элементе ЛГМ; k_1 , E_1 – предэкспоненциальный множитель и энергия активации пиролиза; m_{ic} – текущая масса кокса, получающегося при пиролизе ЛГМ; m_{iH} – текущая масса сухого органического вещества в элементе ЛГМ в начальный момент времени.

Данные уравнения действительны в том случае, если время процесса переноса в ЛНМ меньше времени пиролиза.

Модель пиролиза привлекла значительное внимание ученых в сфере лесных пожаров, но она редко используется за пределами научного сообщества.

1.5 Зажигание лесного горючего материала

Самовозгорание лесных пожаров происходит очень редко и требует очень высокой интенсивности. Наиболее распространено в лесных пожарах зажигание, где горючие материалы нагреваются излучающими и / или конвективными источниками тепла, присутствуют источники возгорания (например, пламя, раскаленные угли). Зажигание происходит при более низкой температуре, чем самовозгорание. Этот чрезвычайно сложный процесс зависит от нескольких факторов, в том числе: размера и состояния уголька (тлеющего / тлеюще–горящего), характеристик топливного слоя, на который приземляется уголь (температура, плотность, пористость, содержание влаги) и условий окружающей среды (температура, влажность, скорость ветра). Могут возникнуть три типа механизмов зажигания [37]:

- 1) тлеющее зажигание;
- 2) пилотируемое зажигание в газовой фазе, вызванное раскаленной частицей;
- 3) Длительное тление с последующим самопроизвольным переходом в пламя.

Содержание влаги в живом топливе может варьироваться, поэтому существует вероятность того, что значительное количество воды все еще высвобождается из топлива при воспламенении. Следовательно, механизмы контролирующего зажигания ЛГМ с разной влажностью могут отличаться. Влага увеличивает энергию, необходимую для зажигания.

Учеными проводятся экспериментальные исследования, которые посвящены изучению зажигания ЛГМ различными нагретыми частицами. В роли частиц могут выступать частицы стали и углеводород. Эксперименты проводятся как над хвойными породами деревьев, так и над лиственными,

причем механизм зажигания пород схож, но имеет различия. В общем, механизм зажигания ЛГМ, нагретой до высоких температур, можно описать следующим образом. Сначала происходит нагрев ЛГМ, после начинается термическое разложение с выделением продуктов пиролиза. Поверхностный слой ЛГМ разлагается почти целиком с небольшим коксовым остатком. Далее происходит нагрев и последующее зажигание пористой среды ЛГМ: газообразные продукты пиролиза смешиваются с окислителем. После этого идет распространение пламени по всей частице [38].

Теперь рассмотрим различия в процессах зажигания хвойных и лиственных пород. Зажигание хвои состоит из целого комплекса процессов диффузии и конвекции не только в приповерхностном слое, но и над ним [39]. Свойства хвоинок в зависимости от их местонахождения тоже различны. Время задержки зажигания зависит от пористости слоя. Различная пористость слоя ЛГМ обуславливается случайным распределением хвоинок в приповерхностном слое. Время задержки аппроксимировано прямой линией.

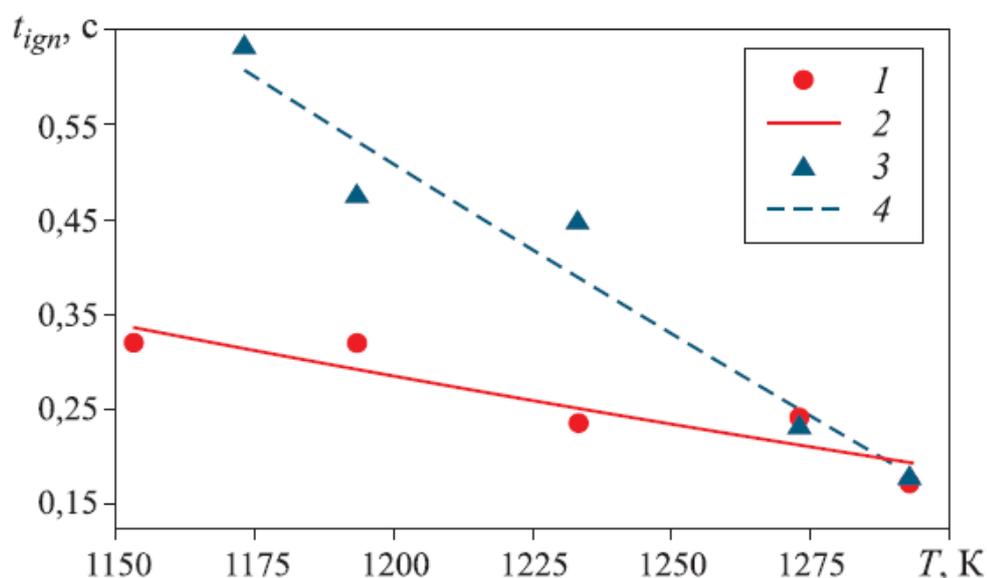


Рисунок 6 – Зависимость времени задержки зажигания ЛГМ от начальной температуры частицы: усредненные значения и аппроксимирующая прямая для частиц размером $d=8\text{мм}$; $h=17\text{мм}$; $m=6,2\text{г}$ (1,2) и $d=6\text{мм}$; $h=13\text{мм}$; $m=2,5\text{г}$

(3,4)

На рис. 6 [40] изображены зависимости времени зажигания от начальной температуры частицы. Для каждой частицы установлен нижний предел зажигания по температуре. Доверительные интервалы представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Доверительные интервалы времен задержки зажигания ЛГМ частицами

Начальная температура частицы, К	Доверительный интервал, с, при зажигании частицей размером	
	d= 8мм, h=17мм	d=6мм, h=13 мм
1153	±0,061	
1173		±0,171
1193	±0,093	±0,115
1233	±0,09	±0,041
1273	±0,137	±0,065
1293	±0,022	±0,057

Механизм зажигания сухой травы схож с механизмом зажигания хвои, но при этом отмечаются более интенсивные выделения продуктов пиролиза. Процесс зажигания лиственной породы (лист березы) можно охарактеризовать двумя фазами. Первая фаза (беспламенный режим) – медленный прогрев ЛГМ, а вторая фаза зависит от того, на какую из сторон листа упала горячая частица. Также при сравнении характеристик зажигания лиственных и хвойных ЛГМ было замечено, что рост температуры зажигания листьев более существенен для листьев, чем для хвоинок, поэтому опад из листьев является инициатором воспламенения в смешанных лесах.

Процесс зажигания различных материалов:

- 1) Зажигание у газов и паров
- 2) Зажигание у жидкостей
- 3) Зажигание у твердых тел

Зажигание у газов и паров[41]:

Зажигание горючих или горючих газов зависит от того, как воздух смешивается с топливным газом. Если топливный газ и воздух сначала смешиваются, а затем воспламеняются, происходит предварительное смешивание. Зажигание и горение предварительно смешанной смеси было тщательно изучено. Вариант, при котором топливный газ и воздух плохо перемешаны мало изучен. Газы вообще не воспламеняются, конечно, если смешивание не произошло, но ограниченное количество смешивания будет всегда происходить из-за молекулярной диффузии. Пламя, которое наблюдается, когда топливный газ попадает в атмосферу (например, выпарив из открытого резервуара растворителя), общеизвестно как диффузионное пламя. Смешивание может происходить через диффузию (молекулярные движения газа). Если природный газ выходит из сломанной трубы и горит как струя в воздухе, это считается диффузией пламя, сильная скорость истечения создает некоторое локальное смешивание, и это смешивание происходит намного быстрее, чем было бы возможно только через молекулярную диффузию. Газовые смеси могут зажигаться двумя основными способами: (1) самовоспламенением: путем повышения температуры всего объема газа; или (2) управляемым зажиганием: путем введения местного источника тепла или энергии. Минимальная температура, которой газовая смесь должна достигать, нагревая весь объем, называется температурой самовоспламенения (AIT). AIT газовой смеси не самая низкая температура пламени; скорее это самая низкая температура, до которой смесь должна быть нагрета перед зажиганием.

1.6 Математические модели лесных пожаров

Лесные пожары являются чрезвычайно сложными и разрушительными явлениями, и их поведение зависит от состояния растительности, метеорологических условий и рельефа местности. Экспериментальные исследования поведения пожара дорогостоящие и сложные мероприятия,

поэтому разработка надежных и точных моделей поведения пожара чрезвычайно важная деятельность. Существуют различные типы моделей лесных пожаров: статистические, эмпирические, полуэмпирические и физические.

Согласно обзору Morvan (2011), одной из наиболее совершенных физических многофазных моделей пожара является трехмерная (3D) модель WFDS (Wildland Fire Dynamics Simulator). Процесс распространения лесных пожаров был проанализирован Гришиным (1997) и Перминовым (2013) с использованием упрощенной двумерной (2D) многофазной модели. Уравнения трехмерной (3D) модели были интегрированы этими исследователями по высоте полого леса. Динамическая турбулентная вязкость определялась с использованием упрощенной модели локального равновесия турбулентности (Гришин, 1997), а кинетика Аррениуса применялась как для гетерогенных реакций, так и для газообразного горения [42].

В [43] рассмотрена схема низового пожара. Данная математическая модель, описывает процессы распространения низового пожара, которые впоследствии соответствуют экспериментальным данным. С помощью полученных результатов можно оценить скорость распространения пожара, а также ширину противопожарных полос, зависящую от скорости ветра, количества влаги и ЛГМ.

1.7 Прогнозирование лесных пожаров

Предпосылками для прогнозирования чрезвычайной лесопожарной ситуации (ЧЛС) являются:

- благоприятные для возникновения пожара погодные условия, а именно, теплая зима с небольшими осадками, длительный период без осадков (около 20 дней) и с высокой среднесуточной температурой воздуха;
- антропогенное воздействие на природу (непотушенные костры);
- частые грозовые разряды.

Для прогнозирования появления лесного пожара формулируют исходные данные:

- топография местности;
- класс пожарной опасности в лесу по условиям погоды;
- участки (их площадь и географическое нахождение) I - III классов пожарной опасности, на которых вероятно возгорание ЛГМ в пожароопасный период;
- расположение растительного топлива (тип и плотность);
- метеорологические условия;
- информация о грозовой деятельности на данном участке;

Также, проводят анализ на основе уже имеющихся пожаров, похожих на прогнозируемый. Пользуются результатами ретроспективного анализа распределения пожаров по территории за последние 10 лет.

В лесном хозяйстве принят комплексный показатель В.Г. Нестерова, по которому определяют степень пожарной опасности в лесу по условиям погоды:

Для вычисления комплексного показателя (КП) пожарной опасности в лесу по условиям погоды необходимы следующие данные [44]:

- температура воздуха (в градусах) и точки росы на 12 ч по местному времени;

- количество выпавших осадков (в мм) за предшествующие сутки, то есть за период с 12 ч предыдущего дня (осадки до 2,5 мм в расчет не принимаются).

Температура воздуха определяется по сухому термометру психрометра, температура точки росы - по психрометрическим таблицам на основании отсчетов по сухому и смоченному термометрам. Количество выпавших осадков определяется по осадкомеру. Температура воздуха и точки росы измеряются с точностью до 0,1 °С; количество осадков - с точностью 0,5 мм.

$$КП = \sum_n^1 t(t - r), \quad (4)$$

где t - температура воздуха; r - температура точки росы; n - число дней после последнего дождя.

Относительная оценка степени пожарной опасности лесных участков по условиям возникновения в них лесных пожаров и возможной их интенсивности по пятибалльной шкале дается на лесопожарных картах[45] и картах-схемах противопожарных мероприятий масштаба 1:100 000, на которых каждый лесной квартал закрашен цветом среднего класса пожарной опасности. На лесопожарных картах масштаба 1:50 000 и 1:25 000 цветом конкретного класса пожарной опасности закрашены выдела, составляющие лесные кварталы.

Очень популярной системой оценки риска возникновения лесных пожаров является Канадская система оценки опасности лесных пожаров CFFDRS (The Canadian Forest Fire Danger Rating System). К данной системе с каждым годом присоединяется все большее количество стран, пополняя ее своими исследованиями по лесным пожарам[46]. Система CFFDRS включает в себя четыре компонента, связь которых показана на рисунке 8.

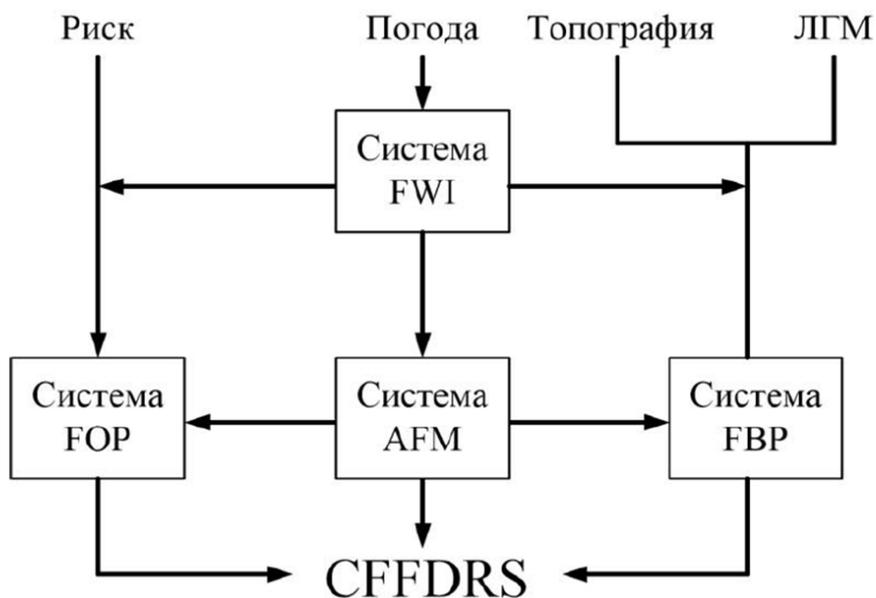


Рисунок 8 – Схема CFFDRS

Система FWI (the fire weather index) и система FBP (the fire behavior prediction) являются основными компонентами при оценивании пожара для быстрого принятия решений. Система AFI (the accessory fuel moisture) помогает оценить влагосодержание в ЛГМ в разное время суток. Система FOP (the fire occurrence prediction) рассматривает планируемое количество пожаров и риски возникновения пожара. Данная система является очень эффективной за счет огромного массива информации по лесным пожарам, накопленного за десятилетия.

1.8 Спутниковые геоинформационные и вычислительные технологии в прогнозе лесной пожарной опасности

Компьютерное моделирование одно из самых перспективных направлений в области изучения и прогнозирования лесных пожаров [47]. Для выявления и мониторинга очагов возгорания необходима технология географических интегрированных систем (ГИС), которая была разработана таким образом, чтобы пространственная информация сохранялась и эффективно извлекалась. Дополнительная ценность использования ГИС-технологий в управлении пожарами событиями напрямую связана с

прибылью, ожидаемой от использования таких технологий. Такая система облегчает процесс поиска очагов, что приводит к сохранению природных ресурсов, следовательно, происходит экономия средств. Инциденты с лесными пожарами могут поставить под угрозу жизнь людей и нанести непоправимый ущерб районам, имеющим важное значение для окружающей среды. ГИС-технологии могут служить жизненно важным технологическим ядром для разработки интегрированной операционной системы в случае кризисного управления лесными пожарами. Такая система существенно поможет в проведении процедур подготовки пожарных частей для предотвращения пожара и фактического управления ресурсами во время тушения пожаров. То есть, органам власти возможно определить наиболее эффективный способ размещения пожарных подразделений в наиболее уязвимых местах.

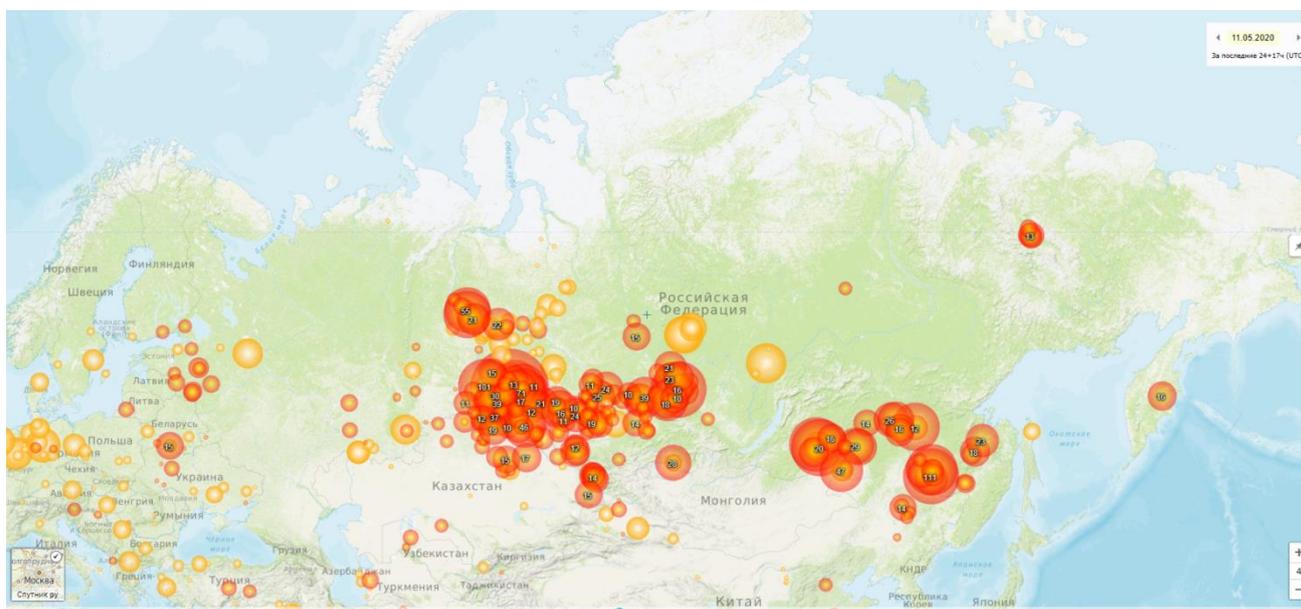


Рисунок – 9 ГИС технологии (онлайн отображение лесных пожаров)

Мониторинг и своевременное тушение пожаров возможно при своевременной оценке и эффективном прогнозировании показателей пожарной опасности и вероятности возникновения пожаров. Появление компьютерного, дистанционного зондирования и ГИС-технологий позволяет

разработать компьютерное решение модели распространения лесных пожаров[48]. При поддержке географической информационной системы и технологии дистанционного зондирования был достигнут существенный прогресс в теоретическом и эмпирическом моделировании поведения лесных пожаров. Дистанционное зондирование функционирует с использованием сенсоров на борту искусственных спутников земли. Дистанционные методы зондирования лесов могут эффективно использоваться при решении ряда задач, связанных с картированием, классификацией лесных покровов, но получение спутниковых данных дистанционного зондирования ограничено облачной и дождливой погодой [49]. Сбор и формирование банков данных по наземным измерениям представляют интерес как для формирования содержательной части геоинформационных систем, так и для выбора оптимальных алгоритмов обработки спутниковых данных [50].

В соответствии с моделью распространения пожара характерные величины распространения пожара могут быть точно рассчитаны. Затем информация о области пожара моделируется с помощью метода динамической визуализации. Ниже приведены основные задачи моделирования распространения лесных пожаров:

- предсказать тенденцию распространения лесных пожаров на данной территории;
- модель может вручную установить начальную площадь возгорания в соответствии с изображениями поля пожара, полученными с помощью авиации и спутников;
- оказывать поддержку пожарным подразделениям в создании зон изоляции лесных пожаров;
- рассчитывать пути эвакуации людей во время пожара;
- уменьшать затраты сил и средств на тушение;
- прогнозировать экологические последствия пожаров.

Соответственно, отдел пожарной охраны может установить разумную зону изоляции для управления огнем в пределах допустимого диапазона. Для реализации вышеуказанных функций модель должна включать в себя метод получения информации о горючих материалах, модель скорости распространения лесных пожаров.

ГИС обладают способностью интегрировать информацию из различных источников таких, как оцифрованные карты, чертежи, данные аэрофотосъемки и космической съемки, но ГИС-это не инструмент принятия решений, а удобное для пользователя приложение, которое помогает повысить эффективность принятия решений. Для анализа, мониторинга обстановки и моделирования чрезвычайных ситуаций используется карта области применения ГИС мониторинга лесных пожаров. Использование стандартных инструментов позволяет определить расстояние от пламени до ближайшего места, время тушения, а также средства пожаротушения, эвакуационные пункты, возможные силы и средства привлечения [51].

Технология создания карты пожарной опасности состоит из трех этапов:

1. Предварительная обработка – осуществляется на базе программного комплекса станции приема информации со спутников.

2. Программные расчеты – индикатор радиометрической пожарной опасности рассчитывается на основе данных дистанционного зондирования со спутника.

3. Полученный результат обрабатывается с использованием геоинформационных технологий. А также выводятся данные в различных формах, таких как карты, таблицы, изображения, блок-схемы. Кроме того, можно создавать формы отчета в виде электронных таблиц Excel.

Оперативные данные по ГИС изменяются с частотой одного или нескольких раз в день, например информация о погоде, данные о новых и активных лесных пожарах, а также о расположении сил и средств для ликвидации лесных пожаров.

Применение ГИС-технологий давно показало свою эффективность для прогнозирования лесных пожаров. С помощью ГИС повысилась оперативность реагирования на лесные пожары. Это делает перспективным продвижение такого продукта на рынке.

Выводы по результатам аналитического обзора литературы.

Проведя анализ обзора аналитической литературы можно сделать ряд выводов:

1) В нашей стране лесные пожары классифицируют по разным признакам: по количеству охватываемой территории, по уровням сложности и по способу распространения пламени.

2) Процесс сушки – важный этап в решении проблемы лесных пожаров. Воспламенение ЛГМ напрямую зависит от влагосодержания. Данную взаимосвязь можно использовать для оценивания пожарной опасности.

3) В последнее время было создано большое количество математических моделей лесных пожаров. Математическое моделирование является перспективным направлением в области прогнозирования лесных пожаров за счет дешевизны проведения мероприятия в отличии от экспериментальных исследований. Большая часть исследований базируется на послепожарном периоде.

4) Для прогнозирования пожаров в последнее время используется большое количество научных разработок. Например, таковыми являются ГИС-технологии. Они оказались успешными в применении.

5) Пожары несут за собой огромный ущерб не только для экономики, но и для экосистемы. Происходит разрушение экосистемы и уменьшение разнообразия видов растений.

Глава 2. Объект и методы исследования

2.1 Объект исследования

Объектом исследования является ветвь кустарника. Ветвь представляет собой трехслойную моделью Предметом исследования можно обозначить теплоперенос в трехслойной структуре ветки кустарника под воздействием теплового потока от фронта верхового пожара.



Рисунок 10 [54] – Объект исследования «кустарник ольхи»

Кустарник имеет в своей основе несколько крупных стеблей, которые в течение времени могут сменять друг друга. Жизненный цикл кустарников варьируется в промежутке 10 -20 лет, но иногда может достигать и до 150 лет, в высоту могут достигать 1-6 метров.

В лесном биогеоценозе кустарники произрастают в тени деревьев, то есть составляют подлесок. Классификация кустарников очень обширна [52],

так, например, в зависимости от требовательности к влаге, они могут быть гигрофитами, мезофитами, ксерофитами, соответственно, требовательные к влаге, средней требовательности и малотребовательные.

По способности выносить низкие температуры можно классифицировать как:

- 1)наименее морозостойкие (не ниже – 10 °С)
- 2) неморозостойкие (10-15°С)
- 3) умеренной морозостойкости (15-25 °С)
- 4) морозостойкие (25-35 °С)
- 5) весьма морозостойкие (35-50 °С)

В данной работе будет рассмотрен некоторый участок ветви кустарника, нагретый до высокой температуры. В пределах ветви будет рассмотрено распределение температур процессом теплопередачи путем теплопроводности. Исследование данного процесса будет происходить путем математического моделирования (метод конечных разностей) в программной среде MatLab.

2.2 Алгоритм решения задачи теплопроводности

Задачи многомерного типа принято решать, основываясь на локальной одномерной схеме А.А. Самарского. В данном методе шаг по времени реализуется в несколько этапов. На промежуточном шаге по времени многомерное уравнение теплопередачи дискретизируется в направлении одной из осей. После этого получаем одномерное уравнение. После решения одномерного уравнения проводится дискретизация данного уравнения по направлению другой оси и одномерное уравнение решается повторно. Количество этапов зависит от координат, которые рассматриваются в данной задаче. Например, для двумерной задачи – два этапа. Решив уравнения по направлениям осей, на целом временном шаге определяется поле температур[53].

Математическое моделирование в данной системе производится на основе метода конечных разностей (МКР).

Нестационарный перенос тепла описывается уравнением Фурье-Кирхгофа:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q_w(x, y, z, t, T) \quad (5)$$

Для решения необходимо задать физические, геометрические и начальные и граничные условия.

Геометрические условия характеризуют размеры тела и его форму.

Физические условия включают в себя теплоемкость, теплопроводность и плотность.

Начальные условия содержат распределение температуры в начальный момент времени.

Граничные условия задают особенности протекания процесса на поверхности тела.

В данной работе уравнение задается в цилиндрической системе координат (r, ϕ) и тогда уравнение теплопроводности будет иметь вид:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r^v} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda r^v \frac{\partial T}{\partial r} \right) + Q_w(r, t, T) \quad (6)$$

Далее строим конечно разностную сетку:

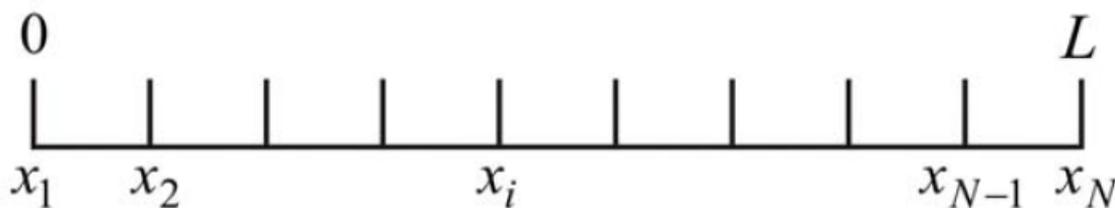


Рисунок 11 – Конечно-разностная сетка

После определяем значение температуры в i -ом узле в момент времени $t = t_n = n \cdot \tau$, где τ – шаг интегрирования.

Затем идет замена дифференциальных операторов на их конечно-разностные аналоги. В результате получим СЛАУ:

$$\rho \cdot c \cdot \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\tau} = \lambda \cdot \left(\frac{T_{i+1}^{n+1} - 2T_i^{n+1} + T_{i-1}^{n+1}}{h^2} \right), i = 2, \dots, N - 1, n \geq 0, (7)$$

Данную схему аппроксимации можно представить графически:

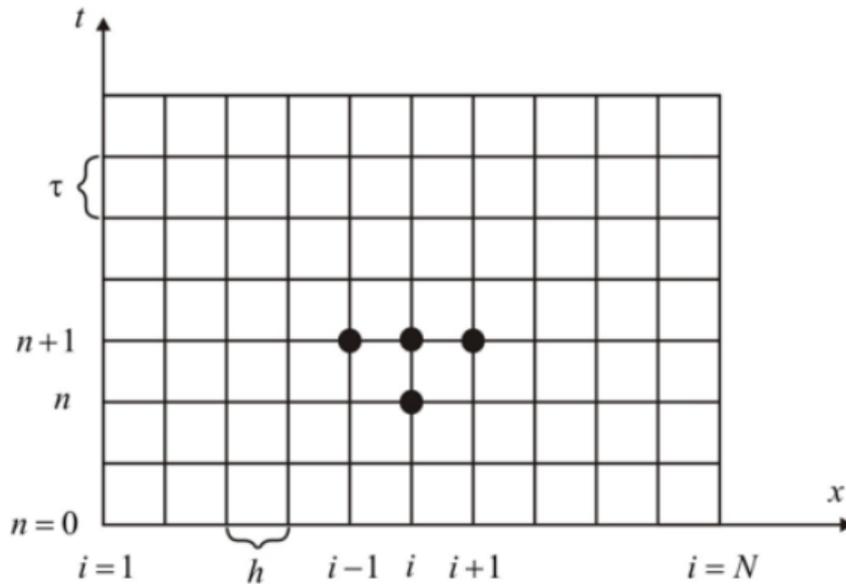


Рисунок 12 – шаблон четырехточечной схемы

Используя неявную схему, берем одну точку со старого временного слоя и три на новом временном слое. Температура представлена неявно. На рис. 3 графически изображена неявная четырехточечная схема.

Полученную систему сводим к общему виду (трехточечное разностное уравнение второго порядка):

$$A_i \cdot T_{i+1}^{n+1} - B_i \cdot T_i^{n+1} + C_i \cdot T_{i-1}^{n+1} = F_i, (8)$$

$$\text{где } A_i = C_i = \frac{\lambda}{h^2}, B_i = \frac{2\lambda}{h^2} + \frac{\rho c}{\tau}, F_i = \frac{\rho c}{\tau} T_i^n, (9,10,11)$$

и определяем коэффициенты A_i, B_i, C_i, F_i .

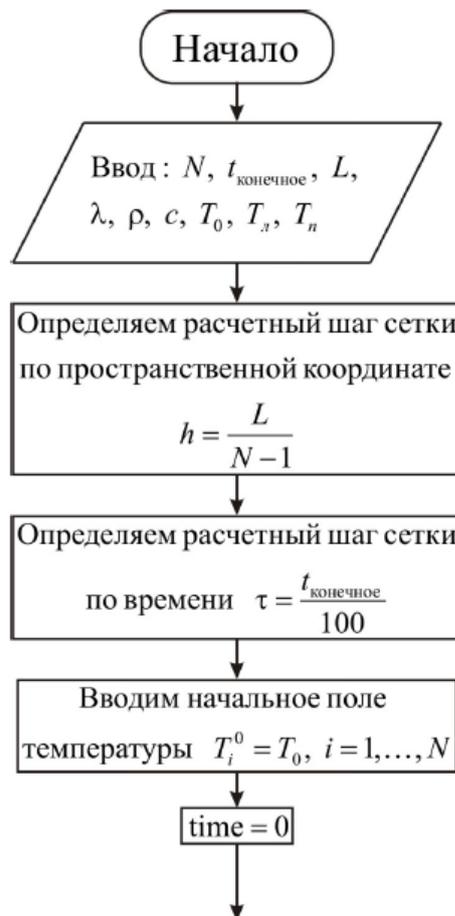
После, преобразуя уравнение, получаем:

$$T_i^{n+1} = \frac{A_i}{B_i - C_i \cdot \alpha_{i-1}} T_{i+1}^{n+1} + \frac{C_i \cdot \beta_{i-1} - F_i}{B_i - C_i \cdot \alpha_{i-1}}, \quad (12)$$

из данного уравнения можно найти прогоночные коэффициенты:

$$\alpha_i = \frac{A_i}{B_i - C_i \cdot \alpha_{i-1}}, \quad \beta_i = \frac{C_i \cdot \beta_{i-1} - F_i}{B_i - C_i \cdot \alpha_{i-1}} \quad (13, 14).$$

Прогонка будет являться корректной, если знаменатели не обращаются в ноль. В последнем узле определяется значение температуры. После этого методом обратной прогонки находим распределение температур.



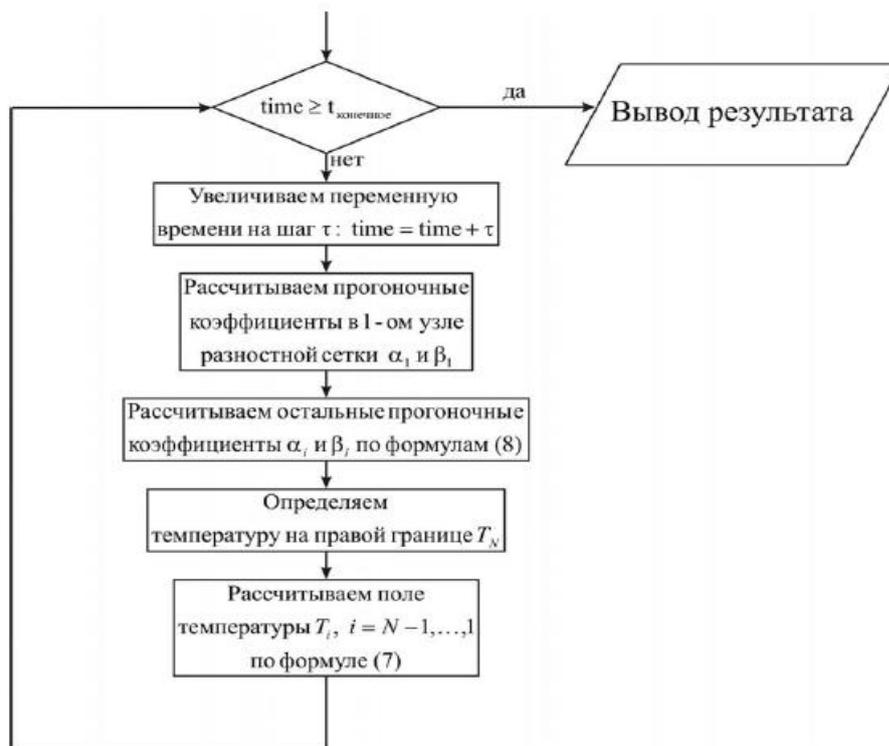


Рисунок 13 – Блок-схема

Численное решение задачи данной работы будет реализоваться на языке MatLab.

Для двумерной задачи математическая постановка будет иметь вид:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right), \begin{cases} 0 < x < L; \\ 0 < y < H. \end{cases} \quad (15)$$

Дальнейшее решение сводится к решению МКР описанному выше.

Так как, лесные пожары сопровождаются химическими реакциями, логично рассмотреть задачу теплопроводности с химической реакцией в материале. Уравнение теплопереноса в пластине, подверженной термическому разложению имеет вид:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + q_{\text{хим}} k_0 \rho \exp\left(-\frac{E}{RT}\right), 0 < x < L; \quad (16)$$

$$T=0 : T=T_0, 0 \ll x \ll L;$$

$$x=0 : -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = k(T^e - T), t > 0;$$

$$x=L : \lambda \frac{\partial T}{\partial x} = k(T^e - T), t > 0;$$

где $q_{\text{хим}}$ – тепловой эффект химической реакции, k_0 – предэкспонент химической реакции, E – энергия активации химической реакции, $R = 8.31$ Дж (моль · К) – универсальная газовая постоянная.

Дальнейшее решение сводится к методу конечных разностей, описанному выше.

Так как ветвь кустарника является многослойной, необходимо также рассмотреть постановку задачи двухслойной пластины. Математически задача будет иметь вид:

$$\rho_1 c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2}, 0 < x < x^*; (17)$$

$$\rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2}, 0 < x < x^*; (18)$$

Решение данной задачи проводится также численно на основе неявной разностной схемы. Граничное условие IV рода используется для определения прогоночных коэффициентов в точке x^* .

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Группа	ФИО
5Б6Б	Поповой Анастасии Николаевне

Школа		Отделение (НОЦ)	
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01. Теплоэнергетика и теплотехника

Тема ВКР:

Математическое моделирование теплопереноса в элементе типичного лесного горючего материала (ветвь кустарника) 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 кустарника. Ветвь имеет слоистую структуру, поэтому рассмотрению подлежит трехслойная модель. Области применения: прогнозирование лесных пожаров, математическое моделирование лесных пожаров
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	– ГОСТ 12.2.032–78 ССБТ Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные и опасные факторы: – Недостаточная освещенность рабочей зоны – Повышенный уровень электромагнитных полей – Отклонение параметров микроклимата – Повышенный уровень статического электричества – Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека
3. Экологическая безопасность:	Литосфера, атмосфера и гидросфера: – твердые бытовые отходы; Утилизация твердых бытовых отходов
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– Возможная и наиболее типичная ЧС: Пожар (причиной возникновения пожара может стать нарушение противопожарного режима, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	25.03.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент ООД ШБИП	Немцова Ольга Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б6Б	Попова Анастасия Николаевна		

Глава 3. 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 преследуется несколько задач:

- 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 возможность возникновения чрезвычайных ситуаций и разработать меры по их предупреждению.

3.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

ГОСТ 12.2.032–78 ССБТ [55] устанавливает общие эргономические требования к рабочим местам при выполнении работ в положении сидя при проектировании нового, модернизации действующего оборудования и производственных процессов.

Специфика труда оператора заключается в больших зрительных нагрузках в сочетании с малой двигательной активностью, монотонностью выполняемых операций, вынужденной рабочей позой. Эти факторы отрицательно влияют на самочувствие работающего. Зрительные нагрузки связаны с воздействием на зрение дисплея. Чтобы условия труда оператора были благоприятными, снималась нагрузка на зрение, видеотерминал должен соответствовать следующим требованиям:

- Экран должен иметь антибликовое покрытие;
- Цвета знаков и фона должны быть согласованы между собой.

Для многоцветного отображения рекомендуется использовать одновременно 6 цветов – пурпурный, голубой, синий, зеленый, желтый, красный, а также черный и белый, так как вероятность ошибки тем меньше, чем меньше используется цветов и чем больше разница между ними, а для одноцветного отображения – черный, белый, серый, желтый, оранжевый и зеленый. Красный и голубой цвета на границе видимого спектра применять нельзя.

Необходимо тщательное регулярное обслуживание ПЭВМ специалистами.

В СанПиН 2.2.2.542 – 96 «Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [56] даются общие требования к организации и оборудованию рабочих мест операторов ПЭВМ.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. Высота рабочей поверхности стола должна регулироваться в пределах 680 – 800 мм; при отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности должна составлять 725 мм. Рабочий стол должен иметь пространство для постановки ног, которое составляет: высоту не менее 600 мм, ширину не менее 500 мм, глубину – на уровне колен, не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Конструкция рабочего стула должна поддерживать рациональную рабочую позу при работе с ПЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения утомления. Рабочий стул должен быть подъемно – поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья. Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула должна быть полумягкой с нескользящим, не электризующимися и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

При работе в компьютерном классе следует выполнять правила безопасности. Во время работы в лаборатории соблюдать чистоту, порядок. В помещении запрещается пить воду, принимать пищу, курить.

3.2 Производственная безопасность

Анализ выявленных вредных и опасных факторов

Таблица 8 – Опасные и вредные факторы при выполнении экспериментов в компьютерном классе

Этапы работы	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	

<p>Математическое моделирование (работа за персональным компьютером)</p>	<p>1. Недостаточная освещенность рабочей зоны.</p>	<p>1. Повышенный уровень статического электричества</p>	<ul style="list-style-type: none"> параметры микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.4-548-96
<p>Обработка полученных данных (работа за персональным компьютером)</p>	<p>2. Отклонение показателей микроклимата 3. Повышенный уровень электромагнитных излучений</p>	<p>2. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека</p>	<p>Электромагнитные поля в производственных условиях. СанПиН 2.2.4.1191-03. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение</p>

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормативных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [57].

Основные требования к рабочему освещению:

- 1) Создание достаточной освещенности на рабочих местах согласно нормам;
- 2) Высокое качество освещения – спектральный состав, близкий к естественному, ограничение прямой и отраженной блескости, рациональное направление света, постоянство освещенности во времени;
- 3) Бесперебойность и длительность работы установки в данных условиях среды;
- 4) Пожарная и электрическая безопасность осветительных устройств;
- 5) Экономичность осветительной установки.

По СП 52.13330.2011 [58] для компьютерных классов научно-исследовательских учреждений норма освещенности составляет 400 лк.

Отклонение показателей микроклимата

Компьютерный класс № 41 4 корпуса НИТПУ можно отнести к помещениям первого класса (помещения с незначительными избытками явного тепла (до 23 Дж/м³·с и менее)) исходя из производственных условий [60].

Допустимые микроклиматические условия рабочей зоны с учетом избытков тепла, времени года (табл. 2.3) и тяжести выполняемой работы (Iб категория) указаны в СанПиН 2.2.4.548–96 [61].

Выбрана категория работ по уровню энергозатрат Iб, так как большинство работ производится сидя и с кратковременной ходьбой сопровождающейся незначительной физической нагрузкой.

Таблица 9 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений, СанПиН 2.2.4.548-96

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Iб (140-174)	21-23	20-24	40-60	0,1
Теплый	Iб (140-74)	22-24	21-25	40-60	0,1

Компьютерный класс оборудован следующими средствами для обеспечения благоприятных микроклиматических условий:

- система вентиляции (позволяет удалять загрязненный воздух);
- система кондиционирования (позволяет поддерживать относительную влажность на заданном уровне и регулировать температуру);
- система отопления (позволяет поддерживать температуру);

Температура, относительная влажность, скорость движения воздуха в рабочей зоне помещения, относящегося к первому классу, должны соответствовать оптимальным нормам метеорологических условий, указанных в табл. , которые обеспечиваются и поддерживаются на необходимом уровне с помощью систем, перечисленных выше.

Повышенный уровень электромагнитных излучений

В компьютерном классе № 41 4 корпуса НИТПУ установлено 6 персональных компьютеров. Компьютер имеет два источника электромагнитного излучения (монитор и системный блок).

Персональный компьютер оказывает неблагоприятное воздействие на организм человека по следующим причинам:

- Пользователь ПК лишен возможности работать на безопасном расстоянии.
- Длительное время влияния компьютера (для современных пользователей может составлять более 12 часов, при официальных нормах, запрещающих работать на компьютере более 6 часов в день).

Таким образом, степень воздействия ЭМП на организм человека зависит от интенсивности облучения, длительности воздействия и диапазона частот [62].

В соответствии с СанПиН 2.2.4.1191-03 [9] нормы допустимых уровней напряженности электрических полей зависят от времени пребывания человека в контролируемой зоне. Время допустимого пребывания в рабочей зоне в часах составляет:

$$T = 50/E - 2$$

Работа в условиях облучения электрическим полем с напряженностью 20–25 кВ/м продолжается не более 10 минут. При напряженности не выше 5 кВ/м присутствие людей в рабочей зоне разрешается в течение 8 часов. Так как напряженность магнитного поля в лаборатории не слишком велика, и сотрудники находятся там не более 8 часов день, то в специальных средствах защиты нет необходимости.

В зависимости от категории трудовой деятельности и уровня нагрузки за рабочую смену при работе с ПЭВМ устанавливается суммарное время регламентированных перерывов (таблица 10).

Таблица 10 – Время регламентированных перерывов при проведении экспериментов в лаборатории тепломассопереноса и гидродинамики пленочных и ривулентных течений в теплообменниках

Категория работы с ПЭВМ	Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работ с ПЭВМ	Суммарное время регламентированных перерывов, мин.	
	группа В, ч	При 8 часовой смене	При 12 часовой смене
III	до 6	90	140

В нашем случае вид трудовой деятельности – В, так как во время эксперимента работа происходит в режиме диалога. Категория тяжести и напряженности работы с ПЭВМ – III, так как в среднем эксперимент занимает до 5 часов [63].

Повышенный уровень статического электричества

Статическое электричество представляет опасность для обслуживающего персонала. Лёгкие «уколы» при работе с сильно наэлектризованными материалами вредно влияют на психику рабочих и в определённых ситуациях могут способствовать травмам на технологическом оборудовании. При постоянном прохождении через тело человека малых токов электризации возможны неблагоприятные физиологические изменения в организме, приводящие к профзаболеваниям. Вследствие этого в нашей стране в соответствии с ГОСТ 12.1.045–84 [64] введены допустимые уровни напряжённости электростатических полей – $E_{\text{пред}}$. Так, для $E_{\text{пред}} = 60$ кВ/м максимальное время пребывания $t_{\text{чел.}}$ без средств защиты составляет 1 ч. Для $E=20$ кВ/м время пребывания персонала в электростатических полях не регламентируется.

К числу основных методов защиты первой группы относится заземление технологического оборудования, тела человека, являющееся наиболее простым, но необходимым средством, поскольку энергия искрового разряда с проводящих незаземлённых элементов технологического оборудования во много раз (сотни и тысячи) выше энергии разряда с

диэлектриков. Заземляться должны все электропроводящие части и элементы оборудования, на которых возможно накопление зарядов. Электросопротивление всей цепи заземления должно быть не более 100 Ом. Непроводящее оборудование считается электростатически заземлённым, если в любой его точке сопротивление по отношению к земле – не больше $5 \cdot 10^9$ Ом.

В рассматриваемом помещении выполнено заземление всего электрического оборудования.

Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека

Согласно «Правилам устройства электроустановок» категория помещения по степени опасности поражения электрическим током для лаборатории относится к «помещениям без повышенной опасности поражения людей электрическим током».

Экспериментальная установка расположена на столе.

Поражение электрическим током может произойти в следующих случаях:

- При появлении электрического потенциала на частях оборудования установки, которая в нормальных условиях не должна находиться под напряжением.
- При случайном прикосновении к не изолированным проводникам электрического тока.
- При образовании электрической дуги между токоведущими частями установки и человеком в результате пробоя воздушного пространства.

3.3 Обоснование мероприятий по снижению воздействия

Так как расчет освещенности лаборатории показал соответствие нормам СНиП 2.2.1/2.1.1.1278-03 [57]. Отсутствует необходимость в мероприятиях по снижению воздействия данного вредного фактора. Аналогично отсутствуют отклонения показателей микроклимата в лаборатории.

В качестве защиты от электромагнитного излучения компьютера могут быть предложены следующие мероприятия:

1. Системный блок и монитор должен находиться как можно дальше от работника.

2. Не оставлять компьютер включённым на длительное время. Возможно использование «спящего режима» для монитора.

3. В связи с тем, что электромагнитное излучение от стенок монитора намного больше, необходимо поставить монитор в угол, так чтобы излучение поглощалось стенами. Особое внимание стоит обратить на расстановку мониторов в офисах.

4. По возможности сократить время работы за компьютером и как можно чаще делать перерывы в работе.

5. Компьютер должен быть заземлён. Если приобретены защитные экраны, то их тоже следует заземлить, для этого специально предусмотрен провод на конце которого находится металлическая прищепка [65].

Мероприятия по снижению воздействия статического электричества:

- ликвидация или снижение возможности возникновения искровых разрядов
- уменьшение электризации веществ и материалов;
- обеспечение рассеивания или отвод возникающих электростатических зарядов [66].

3.4 Экологическая безопасность

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

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. 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 экосистем.

3.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Правила пожарной безопасности в лесах для каждого лесного района устанавливаются Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации[67].

Меры пожарной безопасности в лесах включают в себя[68]:

- а) предупреждение лесных пожаров (противопожарное обустройство лесов и обеспечение средствами предупреждения и тушения лесных пожаров);
- б) мониторинг пожарной опасности в лесах и лесных пожаров;
- в) разработку и утверждение планов тушения лесных пожаров;

Лесные пожары представляют собой опасное стихийное бедствие. Они уничтожают не только деревья и другую растительность леса, но и все что окажется в районе пожара.

В лесу, у реки или в другом месте необходимо выполнять следующие требования безопасного поведения:

- Не оставляйте не потушенный костер, уходя, убедитесь, что огонь не разгорится вновь.

- Не выжигайте траву.

- Не бросайте промасленный или пропитанный бензином, керосином и иными горючими веществами обтирочный материал.

- Не оставляйте на освещаемых солнцем местах бутылки или осколки стекла, которые могут стать зажигательными линзами.

- Соблюдайте чистоту, не оставляйте мусор.

При тушении небольшого пожара:

- Небольшой огонь затапывайте.

- Засыпайте огонь землей, заливайте водой, забрасывайте грунтом.

- Пучком 1,5-2-х метровых веток лиственных пород или мокрой одеждой сметайте пламя, «вбивая» его затем в землю.

- Потушив огонь, не уходите, не убедившись, что огонь не разгорится.

Если вы оказались в зоне пожара:

- Окунитесь в ближайший водоем или хотя бы смочите одежду, дышите через мокрый платок.

- Если вы не можете бороться с пожаром, то нужно срочно покинуть зону огня, предупреждая встреченных людей об опасности пожара. От верхового пожара убежать почти невозможно. Укрываться от пожара следует на островах, отмелях, оголённых участках болот, на скальных вершинах выше уровня леса, на ледниках.

- Идти надо в наветренную сторону перпендикулярную кромке пожара по просекам, дорогам, берегам ручьёв и рек. При сильном задымлении рот и нос нужно прикрыть мокрой ватно-марлевой повязкой, полотенцем, частью одежды.

- После выхода из зоны пожара сообщите о месте, размерах и характере пожара в администрацию населённого пункта, лесничество или противопожарную службу, а также местному населению.

Если пожар добрался до вашего дома или населенного пункта:

- Немедленно оповестите жителей близлежащих домов. Сообщите о пожаре по телефону или через посыльного в ближайшую пожарную часть и добровольную пожарную дружину.

- Проверьте, имеются ли в доме люди, спасайте их из огня. Будьте осторожны - могут взорваться баллоны с газом или рухнуть перекрытия!

- Если есть возможность самостоятельно бороться с огнем - используйте для тушения пожара огнетушители, вёдра с водой, песок. Для предупреждения распространения огня на другие постройки охлаждайте их водой. Попросите соседей, не занятых тушением, наблюдать за соседними домами (возможно попадание искр на крыши, головёшек и кусков раскалённых кровельных материалов); уведите подальше детей.

- Если, пожар застал вас в доме, постарайтесь как можно быстрее покинуть его. Не возвращайтесь в горящий дом за имуществом, вы рискуете погибнуть в огне.

- По прибытия пожарных сообщите им о возможном нахождении людей в горящем доме; о наличии и местонахождении газовых баллонов, горючих жидкостей.

Выводы по разделу

В данном разделе были рассмотрены вопросы, связанные с экологией и социальной ответственностью, рассматривается подход к выполнению работы, 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.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б6Б	Попова Анастасия Николаевна

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	И.Н.Бутакова
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Полная стоимость проекта 124 976,51 руб., из них материальные затраты 1270 руб., амортизация 771,77 руб., заработная плата работников 81 305,1 руб., продолжительность выполнения работы 137 дня, электропотребление 78,8 кВт*ч
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Накладные расходы 16%; Норма амортизации 20 %
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на социальные нужды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	-Описание потенциальных потребителей; -Анализ конкурентных технических решений; -SWOT-анализ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	-Планирование работ; -Разработка графика Ганта. -Формирование бюджета затрат на научное исследование.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	-Определение финансовой эффективности и ресурсоэффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Многоугольник конкурентоспособности
2. Диаграмма Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	25.03.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Трубченко Татьяна Григорьевна	к.э.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б6Б	Попова Анастасия Николаевна		

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

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

В данной работе рассматривается математическое моделирование процесса теплопереноса в слоистой структуре ветви кустарника при воздействии излучения от фронта лесного пожара. Для математического моделирования использовалась среда программирования MatLab.

Для достижения поставленной цели сформулировали задачи:

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

4.1 Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Описание потенциальных потребителей

Математическое моделирование лесных пожаров – перспективный способ, применяющийся для прогнозирования лесных пожаров. Прогноз лесной пожарной опасности является очень актуальной проблемой. Для

прогнозирования лесных пожаров создаются различные системы на основе математического моделирования, например, ГИС. Система охраны природных территорий от пожаров в России сложна и запутана. За участки разной ведомственной подчиненности, относящиеся к разным типам земель, находящиеся в разных формах собственности отвечают разные структуры:

1) За выработку государственной политики и общую координацию действий государственных органов в области пожарной безопасности отвечает МЧС.

2) За охрану земель лесного фонда от пожаров и за тушение лесных пожаров на землях лесного фонда отвечают органы управления лесами (Рослесхоз в Московской области, региональные органы управления лесами - в остальных регионах).

3) За охрану лесов на землях обороны и безопасности и за тушение пожаров в них отвечает Минобороны РФ, за охрану лесов на землях особо охраняемых природных территорий федерального значения и тушение пожаров в них отвечает Минприроды РФ.

4) За осуществление мер пожарной безопасности на других природных территориях отвечают собственники земельных участков.

Все перечисленные выше структуры и являются основными потребителями систем прогнозирования лесных пожаров на основе математического моделирования.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Для успешного внедрения научной разработки необходимо изучить преимущества и недостатки конкурирующих методов исследования воспламенения ветви кустарника в высокотемпературной среде для прогнозирования верховых пожаров. В данном случае нет смысла сравнивать предприятия-конкуренты, т.к. проект является научной работой. Сравнение будет производиться между тремя методами, с помощью которых можно получить данные по воспламенению ветви кустарника в

высокотемпературной среде. В проекте используется метод математического моделирования, его конкурентами являются экспериментальные исследования и комбинированный метод.

Конкуренты:

- ЭИ – Экспериментальные исследования – получение данных по воспламенению ветви путем проведения опытов;
- КМ – Комбинированный метод – получение данных путем совмещения опытных результатов и результатов математического моделирования;
- ММ – Математическое моделирование – получение данных по воспламенению ветви кустарника в программной среде MatLab;

Список критериев и их вес из таблицы 1 подбирался и оценивался совместно с экспертом (научным руководителем).

Таблица 11 – Оценочная карта для сравнения конкурентных методов

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		ЭИ	КМ	ММ	К _{ЭИ}	К _{КМ}	К _{ММ}
1. Экологичность	0,1	1	2	5	0,1	0,2	0,5
2. Трудоемкость метода	0,1	4	3	5	0,4	0,3	0,5
3. Скорость выполнения исследования	0,1	4	3	5	0,4	0,3	0,5
4. Общая стоимость метода	0,2	3	2	4	0,6	0,4	0,8
5. Точность измерений	0,2	4	5	3	0,8	1	0,6
6. Безопасность инженера во время выполнения работы	0,2	3	3	5	0,6	0,6	1
7. Доступность метода	0,1	3	2	5	0,3	0,2	0,5
Итого	1				3,2	3	4,4

В таблице 11 представлены основные конкуренты и критерии оценки конкурентоспособности. Каждый показатель конкурентов оценивается по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей определяются в соответствии с их значимостью и

в сумме составляют 1. По таблице видим, что экспериментальные исследования и комбинированный метод имеют примерно одинаковое количество баллов. По баллам математическое моделирование превосходит своих конкурентов, это говорит о том, что данный метод может конкурировать с существующими методами в поставленных для него задачах. На рисунке 28 наглядно представлены преимущества и недостатки предложенного и существующих методов исследования воспламенения ветви кустарника в высокотемпературной среде.

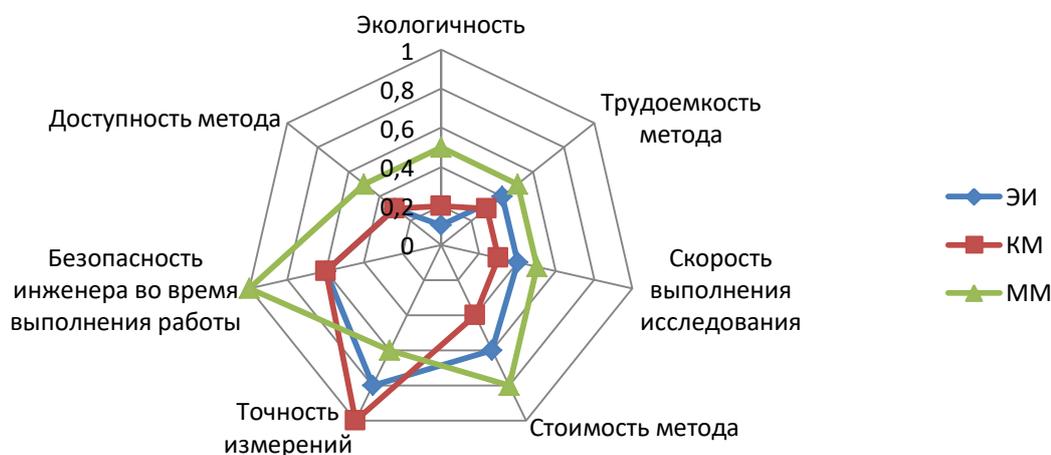


Рисунок 27 – Многоугольник конкурентоспособности

Рисунок показывает, что математическое моделирование проигрывает в точности измерения обоим методам, но имеет преимущество по таким показателям, как безопасность инженера во время выполнения работы, экологичность, скорость выполнения исследования, имеет минимальную трудоемкость.

4.1.3 SWOT – анализ

SWOT анализ – это метод оценки ситуации и будущих перспектив проекта, основная задача которого: определить сильные и слабые стороны,

возможности и угрозы со стороны внешней окружающей среды. На основании анализа делаются вывод: правильно развивается проект, какие риски нужно предусмотреть, что следует делать, каковы перспективы проекта.

Оценочная карта составлялась на основе выявления сильных и слабых сторон метода математического моделирования перед комбинированным методом и экспериментальным методом. Данные основывались на прочитанной научной литературе и мнении эксперта в данной области (руководитель проекта).

Таблица 12 – Матрица SWOT проекта

	<p>Сильные стороны:</p> <p>С1. Бесплатное программное обеспечение для математического моделирования;</p> <p>С2. Экологичность метода;</p> <p>С3. Более низкая стоимость по сравнению с другими методами;</p> <p>С4. Возможность моделирования пожара до его возникновения;</p>	<p>Слабые стороны:</p> <p>Сл1. Результаты исследования не были ранее опубликованы и оценены научным сообществом;</p> <p>Сл2. Отсутствие прототипа научной разработки;</p> <p>Сл3. Риск возникновения погрешности;</p> <p>Сл.4 Отсутствие инжиниринговой компании, способной осуществить разработку модели.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ;</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт;</p> <p>В3. Улучшение методов моделирования;</p> <p>В4. Рост стоимости оборудования и, следовательно, рост цены ошибки без применения моделирования.</p>	<p>В1В2С1 Возможно в короткие сроки и с минимальными затратами создать качественную модель зажигания ЛГМ.</p> <p>В4В3С3. Эффективность предварительного моделирования будет только возрастать.</p> <p>В2.С2. Не возникнет затруднений по внедрению метода в работу систем, т.к. он является экологичным</p>	<p>Сл3.В1. При возникновении риска погрешностей можно использовать инновационную инфраструктуру ТПУ, которая поможет свести погрешности к минимуму.</p> <p>Сл1.В3. Могут привести к переключению внимания с моделирования на другие методы.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые природоохранные технологии;</p> <p>У2. Введение дополнительных требований</p>	<p>У4.У3.С3.При увеличении стоимости программного обеспечения произойдет и увеличение стоимости всего мат. моделирования, а то может негативно сказаться</p>	<p>Сл4.У1. Отсутствие достаточной базы знаний у людей, которые могут осуществить инвестирование данного проекта из-за новизны</p>

<p>к программному обеспечению; У3. Удешевление других методов;</p> <p>У4. Увеличение стоимости программного обеспечения</p>	<p>на его конкурентоспособности в сравнении с другими методами.</p>	<p>разработки, служит весомым фактором в неосознанности актуальности данной проблемы. Из-за чего финансовая составляющая работы будет не найдена и проект может быть заморожен</p>
---	---	--

Выполнив SWOT-анализ можно сделать вывод о том, что у данного проекта, осуществляющегося методом математического моделирования, существует масса преимуществ, основным из которых является дальнейшая перспектива прогнозирования пожара лесного массива задолго до видимых причин к его возникновению. Основной сложностью данного проекта видится незаинтересованность не только частных лиц, но и государства в данной работе, что приведет к окончанию разработки модели. Описанные сильные стороны проекта позволяют осуществить возможности. Так, использование вычислительных мощностей и кадров ТПУ, позволит ускорить вычисления и повысить их качество, способствует повышению качества конечного продукта. Основная угроза проекта видится в отсутствии интереса на природоохранные технологии со стороны не государственных компаний, которые могут быть не востребованы при прогнозировании пожароопасной обстановки на территории России. Однако министерство по чрезвычайным ситуациям (МЧС России), заинтересовавшись данной разработкой, может внести данную разработку в реестр своих трат, и обеспечить финансирование проекта. Работа над этими недостатками позволит повысить конкурентоспособность, уменьшить влияние внешних угроз на проект.

Для уменьшения угроз необходимо:

Варианты предотвращения угроз:

1. Вариант возникновения первой угрозы сводится к минимуму, т.к. в современном обществе идет тенденция на сохранение природы, но в случае

возникновения такой угрозы необходимо проводить PR-компанию по популяризации природоохранных технологий, разъяснять обществу о важности применения таких технологий для сохранения экологии.

2. При возникновении второй угрозы, необходимо заранее проработать возможные варианты требований, которые могут ввести и быть готовым оперативно урегулировать этот вопрос.

3. При удешевлении других методов необходимо будет также снижать и стоимость метода математического моделирования. Сделать это возможно путем покупки менее дорогого оборудования.

4. Увеличение стоимости программного обеспечения возможно урегулировать путем переговоров с разработчиками среды MatLab. В обмен на скидку по оплате обеспечения, популяризировать MatLab в своих научных статьях, на конференциях сообществу ученых.

Варианты усиления слабых сторон:

1. Ускорить публикацию исследования, посещать как можно больше конференций по пожаробезопасности.

2. Чтобы усилить 2 и 3 угрозы необходимо закупить более дорогое оборудование с высокой точностью результатов, это поможет уменьшить погрешность и получить наиболее вероятную математическую модель.

3. Обратиться за помощью к Рослесхозу, МЧС или другим организациям, которые занимаются лесными пожарами. Данные организации заинтересованы в проекте. Они смогут поддержать данную разработку и создать благоприятные условия для создания такой компании.

4.2 Планирование и формирование бюджета научных исследований

4.2.1 Планирование работ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

В таблице 13 представлен перечень работ и участников в рамках проведения научного исследования.

Таблица 13 – Перечень работ и определение участников каждой работы

№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
1	Составление технического задания (ТЗ)	Руководитель
2	Выбор темы и направления в моделировании	Руководитель, инженер
3	Теоретические исследования, проведение обзора литературы	Инженер
4	Составление плана проведения занятий и выбор метода обработки данных. Постановка целей и задач исследования	Руководитель, Инженер
5	Закупка необходимого (недостающего) оборудования, инструментов, дополнительных деталей.	Инженер
6	Установка и подключение оборудования.	Инженер
7	Написание программы в среде MatLab	Инженер
8	Проведение исследования	Инженер
9	Обработка результатов	Инженер
10	Обобщение и оценка результатов исследований, написание выводов	Руководитель, инженер
11	Оформление проделанной работы, составление пояснительной записки	Инженер
12	Проверка проекта	Руководитель

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

4.2.2 Разработка графика Ганта

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни.

Согласно Производственному календарю на 2020 год:

В 2019 году 365 календарных дней. При пятидневной рабочей неделе с двумя выходными днями будет 247 рабочих дней, в том числе 5 сокращенных на один час предпраздничных рабочих дней, и 118 выходных и нерабочих праздничных дней.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (25)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году; $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году; $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48.$$

Продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (26)$$

где T_{pi} - продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях.

Рассчитанные значения в календарных днях округляем до целого числа.

Результаты расчетов сведем в таблицу 14.

Таблица 14 – Продолжительность работ

№ раб	Содержание работ/ затрачиваемый промежуток времени для участника в % соотношении.	T_{pi}	T_{ki}	Начало	Конец	Кол-во календарных дней, затрачиваемых на работу каждым участником проекта
1	Составление ТЗ (Руководитель –100 %)	1	2	0	2	Руководитель – 2 дня
2	Выбор темы и направления проведения	2	3	2	5	Руководитель

№ раб	Содержание работ/ затрачиваемый промежуток времени для участника в % соотношении.	T_{pi}	T_{ki}	Начало	Конец	Кол-во календарных дней, затрачиваемых на работу каждым участником проекта
	эксперимента (Руководитель – 50 %, инженер – 50%)					-1,5 дня Инженер – 1,5 дня
3	Теоретические исследования, проведение обзора(Инженер – 100%)	14	21	5	26	Инженер – 21 день
4	Составление плана проведения эксперимента и выбор метода обработки данных. Постановка целей и задач исследования (Руководитель – 50 %, инженер – 50%)	1	2	26	28	Руководитель -1 день Инженер – 1 день
5	Закупка необходимого (недостающего) оборудования, инструментов, дополнительных деталей (Инженер – 100%)	1	2	28	30	Инженер – 2 дня
6	Установка и подключение оборудования (Инженер – 100 %)	1	2	30	32	Инженер – 2 дня
7	Написание программы в среде MatLab (Инженер – 100 %)	10	15	32	47	Инженер – 15 дней
8	Проведение исследования (Инженер – 100 %)	10	15	47	62	Инженер – 15 дней
9	Обработка результатов (Инженер – 100 %)	8	12	62	74	Инженер – 12 дней
10	Обобщение и оценка результатов исследований, написание выводов (Руководитель – 20 %, инженер – 80%)	10	15	74	89	Руководитель -3 дня Инженер – 12 дней
11	Оформление проделанной работы, составление пояснительной записки (Инженер – 100 %)	30	45	89	134	Инженер – 45 дней
12	Проверка проекта (Руководитель – 100 %)	2	3	134	137	Руководитель – 3 дня

На основании таблицы 14 построен график Ганта (рисунок 28).

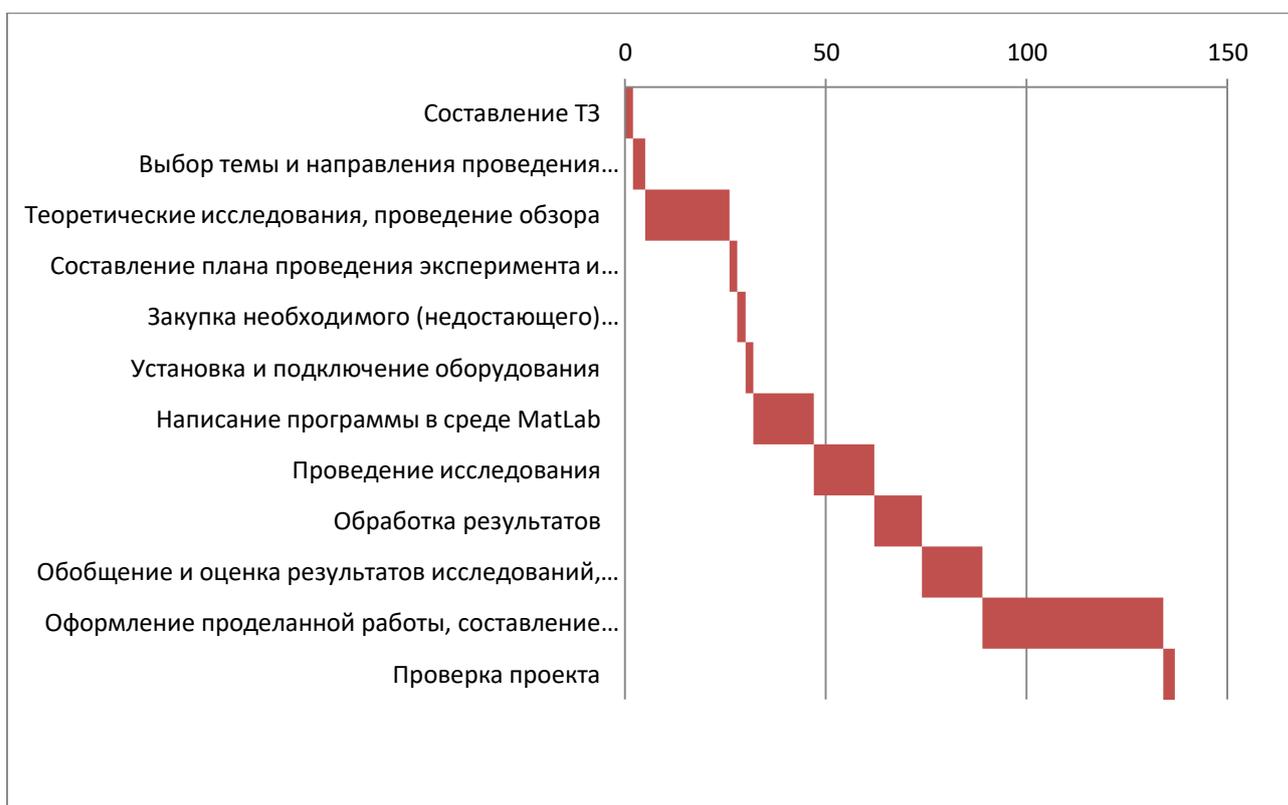


Рисунок 28 – График Ганта

Срок выполнения данного проекта составляет 137 дней. Как видно из графика, самый затратный по времени этап научного исследования это оформление работы и составление пояснительной записки, а также теоретические исследования и проведение обзора. Из них научный руководитель работает порядка 10,5 календарных дней (6,5 рабочих дней), инженер – 126,5 календарных дней (73,5 рабочих дней). Большая нагрузка в работе приходится на инженера, так как он является основным исполнителем проекта. Работы были начаты заблаговременно, поэтому проект будет выполнен в срок. Составление графика работ является одной из ключевых частей для успешного выполнения проекта.

4.2.3 Формирование бюджета затрат на научное исследование

К материальным затратам относятся: приобретаемые со стороны сырье и материалы, покупные материалы, канцелярские принадлежности, картриджи и т.п. Список материальных затрат приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Материальные затраты проекта

Наименование	Единица измерения	Цена за единицу, руб	Затраты на материалы Зм, руб.
Краска для принтера	шт.	550	550
Бумага для принтера формат А4 (500 листов)	пачка	210	420
Ручка шариковая	шт.	40	240
Карандаш	шт.	30	60
Итого	1270		

В сумме материальные затраты составили 1270 рублей. Цены приняты средние по городу Томск.

В затраты на электроэнергию входит потребление света и использование различного оборудования в течение проекта. Расходы на электроэнергию представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Электропотребление

Источники потребления	Мощность потребления, кВт	Кол-во часов работы, ч	Расход, кВт·ч
Компьютер	0,5	144	72
Освещение	0,07	90	6,3
Принтер	0,25	2	0,5
Итого, кВт*ч		78,8	

Амортизация – процесс переноса стоимости оборудования на созданную при его участии продукцию и создание источника для простого производства. В качестве специального оборудования, стоимость которого необходимо амортизировать выступает персональный компьютер, цену которого принимаем 40000 рублей и принтер с ценой 5100.

Таблица 18 – Амортизация

Объекты	Норма амортизации	Первич. стоимость	Величина амортизации в год	Кол-во часов работы в год	Амортизация в час	Кол-во часов работы	$C_{\text{Аморт}}$
Компьютер	20	40000	8000	1720	4,651163	144	669,77

Принтер	20	5100	1020	10	102	1	102
ИТОГО:	771,77						

Расходы по заработной плате определяются по трудоемкости выполняемой работы и действующей системы окладов и тарифных ставок. В основную заработную плату вносится премия, которая выплачивается каждый месяц в размере 20 –30 % от оклада.

Полная заработная плата работника:

$$Z_{\text{полн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (27)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата работника, руб.; $Z_{\text{доп}} = 0,15 \cdot Z_{\text{осн}}$ – дополнительная заработная плата работников, участвующих в работе над проектом (составляет 10-15% от основной заработной платы).

Размер основной заработной платы определяется по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p; \quad (28)$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата; T_p – суммарная продолжительность работ, выполняемая научно-техническим работником.

Размер среднедневной заработной платы определяется по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d}; \quad (29)$$

где Z_M – заработная плата за 1 месяц научно-технического работника; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года ($M = 11,2$ для 5-ти дневной рабочей недели; $M = 10,4$ для 6-ти дневной рабочей недели); F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 19 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Число дней в году	366	366
Нерабочие дни	74	74
Выходные дни	52	52
Праздничные дни	22	22

Нерабочие дни:	48	24
Отпуск	48	24
Больничный	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени (F_d)	244	292

Зарплата за один месяц научно-технического работника определяется по формуле:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{пр} + k_D) \cdot k_p, (30)$$

где Z_{TC} – заработная плата по тарифной ставке; k_p – районный коэффициент в г. Томске, равный 1,3; $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3; k_D – коэффициент доплат и надбавок, равный 0,2.

Зарботная плата руководителя:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{пр} + k_D) \cdot k_p = 20000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 39000 \text{ руб.};$$

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d} = \frac{39000 \cdot 10,4}{366 - 74 - 48} = 1662,3 \text{ руб.};$$

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p = 1662,3 \cdot 6,5 = 10\,804,95 \text{ руб.};$$

$$Z_{п} = Z_{осн} + Z_{доп} = Z_{осн} + 0,15 \cdot Z_{осн} = 1,15 \cdot 10\,804,95 = 12\,425,69 \text{ руб.}$$

Зарботная плата инженера:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{пр} + k_D) \cdot k_p = 10000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 19500 \text{ руб.};$$

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d} = \frac{19500 \cdot 11,2}{366 - 74 - 24} = 814,9 \text{ руб.};$$

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p = 814,9 \cdot 73,5 = 59\,895,15 \text{ руб.};$$

$$Z_{п} = Z_{осн} + Z_{доп} = Z_{осн} + 0,15 \cdot Z_{осн} = 1,15 \cdot 59\,895,15 = 68879,4 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты на заработную плату работников:

$$C_{з.пл.} = 12\,425,69 + 68879,4 = 81\,305,1 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды включают в себя отчисления во внебюджетные фонды: пенсионный фонд, фонд ОМС и т.д. Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды $k_{внеб}$ составляет 30%. Тогда расходы на социальные нужды:

$$C_{\text{с.н.}} = k_{\text{внеб}} \cdot C_{\text{з.пл.}} = 0,3 \cdot 81\,305,1 = 24\,391,5 \text{ руб.}$$

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, которые не попали в предыдущие статьи расходов. Накладные расходы находятся по выражению:

$$C_{\text{накл}} = (C_{\text{м.з}} + C_{\text{А}} + C_{\text{з.пл.}} + C_{\text{с.н.}}) \cdot k_{\text{нр}}; \quad (31)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы в размере 16%,

$$C_{\text{накл}} = (1270 + 771,77 + 81\,305,1 + 24\,391,5) \cdot 0,16 = 17\,238,14 \text{ руб.}$$

Полная стоимость проекта составит:

$$\begin{aligned} \sum C &= C_{\text{м.з}} + C_{\text{А}} + C_{\text{з.пл.}} + C_{\text{с.н.}} + C_{\text{накл}} = \\ &= 1270 + 771,77 + 81\,305,1 + 24\,391,5 + 17\,238,14 = 124\,976,51 \text{ руб.} \end{aligned}$$

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

4.3.1 Определение финансовой эффективности и ресурсоэффективности

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi p_i}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (32)$$

Где Φp_i – стоимость i -го варианта исполнения;

Оценка ресурсоэффективности проводится для двух различных вариантов выполнения поставленной задачи. Первым вариантом исполнения является вариант с использованием не лицензированного MatLab, а второй вариант с покупкой лицензионного MatLab.

Таблица 20 – Расчет бюджета затрат

Наименование статьи	Сумма, руб.	
	Тек ущее исп.	Исп.2
Материальные затраты проекта	127 0	81 270
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	81 305,1	81 305,1
Расходы на социальные нужды	24 391,5	24 391,5
Амортизация	771,77	771,77
Накладные расходы (16 % от суммы ст. 1-2)	17 238,14	30 038,14
Бюджет затрат проекта (Сумма ст. 1- 3)	124 976,51	217 776,51

Интегральные показатели финансовой эффективности научного исследования:

$$I_{\text{исп.1}} = \frac{124\,976,51}{217\,776,51} = 0,57;$$

$$I_{\text{исп.2}} = \frac{217\,776,51}{217\,776,51} = 1;$$

В таблице 21 представлена оценка характеристик вариантов исполнения проекта. Первый вариант с использованием не лицензированного MatLab, а второй вариант с покупкой лицензионного MatLab.

Таблица 21 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Текущее исп.	Исп.2
1. Скорость выполнения проекта	0,25	5	5
2. Финансовая возможность выполнения проекта	0,3	4	1
3. Точность результатов	0,25	5	5
4. Энергосбережение	0,05	2	2
5. Надежность	0,15	4	5

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_{\text{исп.1}}^p = 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,05 + 4 \cdot 0,15 = 4,4;$$

$$I_{\text{исп.2}}^p = 5 \cdot 0,25 + 1 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,05 + 5 \cdot 0,15 = 3,65.$$

Из расчетов выявлено, что текущий проект по интегральному показателю ресурсоэффективности вариантов является выгодным и превосходит аналог.

Выводы по разделу

В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были решены следующие задачи:

1. Выявлены потенциальные потребители результатов исследования. Таковыми являются государственные структуры, заведующие лесами, а также МЧС. Можно сделать вывод, что проект является актуальным, т.к. он может помочь в системах прогнозирования лесных пожаров, следовательно, перечисленные структуры заинтересованы в нем.

2. Проведён анализ конкурентных технических решений. Конкурентами являются другие методы, с помощью которых можно получить данные по воспламенению лесного горючего материала (экспериментальные исследования и комбинированный метод). Метод математического моделирования выступает лидером по многим параметрам.

Оценочная карта для сравнения конкурентоспособности методов приведена в подразделе 5.1.2

3. При рассмотрении SWOT-анализа основными угрозами выступают: отсутствие спроса на новые природоохранные технологии; введение дополнительных требований к программному обеспечению; удешевление других методов; увеличение стоимости программного обеспечения.

Также, выявлены слабые стороны проекта, такие как отсутствие прототипа научной разработки; риск возникновения погрешности; отсутствие инжиниринговой компании, способной осуществить разработку модели. Возможные пути снижения влияния установленных угроз для проекта представлены в подразделе 5.1.3.

4. Составлена смета затрат на выполнение проекта. Стоит отметить, что основной статьей расходов на разработку проекта является полная заработная плата научно-технических работников и составляет 81 305,1 рублей. Меньшая доля всех затрат уходит на: амортизационные расходы – 771,77 рублей. Материальные затраты составили 1270 руб. Общий бюджет разработки составил 124 976,51 рублей. При этом запланированная продолжительность работы составляет 137 календарных дней.

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволило понять, что более эффективным вариантом решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является выполнение работы по первому исполнению. В таблице 21 представлена оценка характеристик вариантов исполнения проекта.

На основании полученных результатов данного раздела делаем вывод о том, что данный проект является экономически целесообразным и успешным.

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы проведен обзор литературы по тематике лесных пожаров и математического моделирования в этой области. На основе изученного материала было проведено исследование распределения температуры по ветви некоторых кустарников при воздействии излучения от фронта пожара на основе математического моделирования.

В ходе выполнения дипломной работы построена геометрическая модель ветви кустарника и написан код в программной среде «MatLab» с использованием неявного численного метода для решения уравнения теплопроводности. Определен ряд зависимостей при распределении температуры по ветви некоторых кустарников (зависимости представлены на рисунках главы 3).

Полученные результаты будут иметь значение для практики, поскольку позволят лучше понять процесс распределения температуры по ветви кустарника во время лесного пожара. Программные реализации таких математических моделей могут быть использованы в системах прогнозирования лесной пожарной опасности и экологических последствий лесных пожаров.

Выполнены разделы «Социальная ответственность» и «Менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

Список используемых источников

1. Тушение лесных пожаров: учебно-методическое пособие. ГБУ Архангельской области «Служба спасения». 2013. 106 с.
2. Шешуков М.А. Пирогенез – важнейший фактор формирования лесов // Горение и пожары в лесу. Красноярск, 1984. 99–100 с.
3. Софронов М.А. Лесные пожары в горах южной Сибири. М.: Наука, 1967. 148 с.
4. Morandini F., Santoni P.A., Balbi J.H. The contribution of radiant heat transfer to laboratory-scale fire spread under the influences of wind and slope // Fire Safety Journal. 2001. Vol. 36. P. 519-543.
5. Scott S., Chris Lautenberger C., Fernandez-Pello C. Ignition of Combustible Fuel Beds by Hot Particles: An Experimental and Theoretical Study // Fire Technology. 2010. Vol. 47. P. 341-355.
6. Мелехов И.С. Природа леса и лесные пожары. Архангельск, 1947. 60 с.
7. Арманд Д.Л. Наука о ландшафтах. М: Мысль, 1975. 141 с.
8. Ю.А. Андреев, А.Ю. Андреев, П.В. Михайлов, В.Г. Паутяк, В.С. Коморовский. Оценка запаса лесных горючих материалов при государственной инвентаризации леса // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2015. 39-46 с.
9. Ступников Д.С. Классификация лесных пожаров // Современные тенденции развития науки и технологий. 2017. 119-124 с.
10. Курбатский Н.П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы пирологии. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1970. С. 5–58.
11. Guan Ting, An overview of peat related chemistry // Central University of Applied sciences. 2015. P. 45.

12. Добровольский В.В. География почв с основами почвоведения: учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: Гуманит. изд. центр. ВЛАДОС, 2001. 384 с.
13. Гусев В.Г.; Лопухова Е.Л.; Дубовый В.К. Классификация и общие свойства лесных горючих материалов // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2012. 134 -145 с.
14. Валендик Э.Н., Кисилыхов Е.К., Верховец С.В. Пожарная опасность на вырубках в темнохвойных лесах Красноярского края // Лесное хозяйство. 2003. № 3. С. 36—38.
15. Шешуков М.А., Нешатаев В. В., Найкруг И. Б. Некоторые принципы составления планов противопожарного устройства // Лесное хозяйство. 1973. № 6. С. 48—53.
16. Волокитина А.В., Ноженкова Л.Ф., Софронов М.А., Назимова Д.И. Прогноз чрезвычайных ситуаций при пожарах растительности вблизи населенных пунктов // Сопряженные задачи механики и экологии: Мат-лы международной конференции. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2000. С. 39—48.
17. Курбатский Н.П. Терминология лесной пирологии // Вопросы лесной пирологии / ИЛИД СО АН СССР. Красноярск, 1972. С. 171—231.
18. Mak J., Landry H., Grieger L., Agnew J., Krigstin S. An Assessment of Ambient and Heated Forced Air Drying Pre-treatments for Enhancing the Quality of Various Forest Biomass Feedstocks // Frontiers in Energy Research. 2020. Vol. 8. P. 1-11.
19. А.М. Гришин, А.Н. Голованов, Л.Ю. Катаева Е.Л.Л. Постановка и решение задачи о сушке слоя лесных горючих материалов // Физика горения и взрыва. 2001. т. 37 65–76 с.
20. Кречетов В.И. Сушка древесины. М.: Лесная промышленность 3-е изд., перераб. 1980. 432 с.
21. Орлов В.В. Повышение эксплуатационных свойств топливной щепы из лесосечных отходов путем ее обезвоживания: автореф. дис. ... канд.

- техн. наук 05.21.01. ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М.Кирова». 2016. -158 с.
- 22.А. М. Гришин [и др.]. Экспериментальное и теоретическое исследование сушки лесных горючих материалов // Известия Томского политехнического университета. 2002. Т. 305, вып. 2 : труды II-го семинара вузов Сибири и Дальнего Востока по теплофизике и теплоэнергетике, Томск, 24-25 октября 2001. С. 31-43.
- 23.Софронов М.А., Волокитина А.В. Пирологическое районирование в таежной зоне. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1990. 205 с.
- 24.McAllister S, Grenfell I, Hadlow A, Jolly WM, Finney M, Cohen J. Piloted ignition of live forest fuels. Fire Safety J. 2012. Vol.56. P. 33–42.
- 25.Biagini E, Tognotti L. A generalized procedure for the devolatilization of biomass fuels based on the chemical components. Energy Fuel 2014. Vol. 28. P. 14–23.
- 26.Amini E, Safdari MS, DeYoung JT, Weise DT, Fletcher TH. Characterization of pyrolysis products from slow pyrolysis of live and dead vegetation native to the southern United States. Fuel 2019. Vol. 14. P.75–91.
- 27.Safdari MS. Characterization of pyrolysis products from fast pyrolysis of live and dead vegetation. Dissertation, Chemical Engineering Department. Brigham Young University; 2018. P. 176.
28. Safdari MS, Diitenberger M, Weise DR, Fletcher TH. Characterization of pyrolysis products from fast pyrolysis of live and dead vegetation native to the southern United States. Fuel 2018. Vol. 29. P. 51–66.
- 29.McAllister S, Finney M. Autoignition of wood under combined convective and radiative heating. P Combust Inst 2017. Vol. 36. P. 73–80.
- 30.Wagner CEV. Calculations on forest fire spread by flame radiation. 6th World Forestry Congress. 1967. Madrid, Spain.

31. Albin FA. A model for fire spread in wildland fuels by radiation. *Combust Sci Technol* 1985. Vol. 42. P. 29–58.
32. Orfao, J.J.M., Antunes, F.J.A., and Figueiredo, J.L., 1999 Pyrolysis Kinetics of Lignocel-lulosic Materials - Three Independent Reactions, *Fuel* 78, p. 349
33. Ni M, Leung DYC, Leung MKH, Sumathy K. An overview of hydrogen production from biomass. *Fuel Process Technol* 2006. Vol. 30. P. 61–72.
34. Коробейничев О.П., Палецкий А.А., Гончикжапов М.Б., Шундрин И.К., Chen H., Liu N. Пиролиз и горение лесных горючих материалов: Мат-лы международной конференции. 2012. 50.1-50.8 с.
35. Farag S, Fu DB, Jessop PG, Chaouki J. Detailed compositional analysis and structural investigation of a bio-oil from microwave pyrolysis of Kraft lignin // *J Anal Appl Pyrol* 2014. Vol.109. P. 49–57.
36. Shen YF, Wang JF, Ge XL, Chen MD. By-products recycling for syngas cleanup in biomass pyrolysis - an overview. *Renew Sust Energ Rev* 2016. Vol.59. P. 46–68.
37. Р.Ш. Еналеев, Э.Ш. Теляков, Ю. С. Чистов, В.С. Гасилов. Критерий зажигания твердых топлив // *Вестник Казанского технологического университета*. 2014. 116-119 с.
38. Фильков А.И. Физико-математическое моделирование возникновения природных пожаров и исследование особенностей сушки, пиролиза и зажигания горючих материалов: автореферат дис. ... доктора физико-математических наук: 01.04.14 Нац. исслед. Томский гос. ун-т, 2014. 39 с.
39. Барановский Н.В., Захаревич А.В., Максимов В.И. Условия зажигания слоя лесных горючих материалов при локальном нагреве // *Химическая физика и мезоскопия*. 2012. 175-180 с.
40. Захаревич А.В. Барановский Н. В Максимов В.И. Зажигание лесных горючих материалов одиночными, нагретыми до высоких температур частицами // *Пожаровзрывобезопасность*. т.21 №4. 2012. С. 13-14.
41. Vytenis Babrauskas. *Ignition Handbook*. Ph.D. Copyright . 2003. 1116 с.

42. Vladimir Agranat , Valeriy Perminov, Mathematical modeling of wildland fire initiation and spread Environmental // Modelling and Software. Vol. 70. 2020. P. 1747-1752.
43. Adel M.N., Pourbabaei H., Omid A., Dey D. C. Forest structure and woody plant species composition after a wildfire in beech forests in the north of Iran // Journal of Forestry Research. 2013. Vol. 14. P. 255–262.
44. Шапошников С.В. Управление системой мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.13.10. Санкт-Петербург, 2003. - 227 с.
45. ГОСТ Р 22.1.09-99 «Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров» общие требования.
46. Deeming J.E. The National Fire-Danger Rating System // Forest Service, 1972. P.165
47. Chris Lautenberger, Carlos Fernandez-Pello Generalized pyrolysis model for combustible solids // Fire Safety Journal. 2007. Vol. 10. P. 352.
48. Chen Q. Study On Forest Fire Spreading Model Based On Remote Sensing And GIS // 1st International Conference on Environment Prevention and Pollution Control Technology (EPPCT). 2018. P. 1-8.
49. Глаголев В.А., Баженов Р.И. Пространственный прогноз пожарной опасности растительности по метеорологическим условиям // Интернет-журнал «Науковедение». 2017. 1-9 с.
50. Е.И. Пономарев. Геоинформационная технология оперативной оценки пожарной опасности в лесах на основе использования спутниковой информации // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2004. № 1. 364-368 с.
51. Методические рекомендации по проведению государственной инвентаризации лесов / Рослесхоз.– М.: Рослесхоз, 2011 – 131 с.

- 52.Збруева И. И. Деревья и кустарники в ландшафтной архитектуре: учебно-методическое пособие. ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА». 2011. 66 с.
53. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. Разностные методы решения задач теплопроводности: учебное пособие // Томск: Изд-во ТПУ. 2007. 172 с.
54. Bing.com. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.bing.com/> свободный. – Загл. с экрана.
- 55.ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ «Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»
- 56.СанПиН 2.2.2.542-96 «Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам»
- 57.СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий»
- 58.СП 52.13330.2011 «Свод правил естественное и искусственное освещение»
- 59.СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
- 60.ГОСТ 12.1.005-87 «Система стандартов безопасности труда. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования»
- 61.СанПиН 2.2.4.548–96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»
- 62.ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Система стандартов безопасности труда, опасные и вредные факторы»
- 63.СанПиН 2.2.4.1191-03 «Физические факторы производственной среды электромагнитные поля в производственных условиях»
- 64.ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартов безопасности труда»
- 65.ГОСТ 12.1.045–84 «Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля»

66. СанПиН 2.2.2./2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»
67. РД 39-22-113-78 «Временные правила защиты от проявлений статического электричества»
68. ГОСТ Р 22.0.01-2016 «Безопасность в ЧС. Защита населения»
69. ЛК РФ Статья 53. «Пожарная безопасность в лесах»