

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

Инженерная школа энергетики

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

Направление подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Математическое моделирование процессов сушки слоя ЛГМ под воздействием лучистого теплового потока

УДК 630:66.045/.047:519.876

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ6В	Сорокодум Марина Евгеньевна		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Кузьмина Н.Г.	-		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2018 г.

Запланированные результаты обучения по программе

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

<i>педагогическая деятельность:</i>	
P7	осуществлять педагогическую деятельность в области профессиональной подготовки
Универсальные компетенции	
P8	мыслить абстрактно, обобщать, анализировать, систематизировать и прогнозировать, принимать решения в сложных инженерных задачах с технической неопределенностью и недостатком информации
P9	использовать творческий потенциал, саморазвиваться, самореализовываться
P10	использовать иностранный язык для эффективного взаимодействия в профессиональной сфере

Министерство образования и науки Российской Федерации

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

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

Направление подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль Тепломассообменные процессы и установки

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель профиля

Б.В. Борисов

(Подпись)

(Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

(бакалаврской работы, /работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ6В	Сорокодум Марине Евгеньевне

Тема работы:

Математическое моделирование процессов сушки слоя ЛГМ под воздействием лучистого теплового потока

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№9740/с от 12.12.2017
Срок сдачи студентом выполненной работы:	11.06.2018

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является двуслойная структура лесного горючего материала. Предмет исследования – испарение влаги в приповерхностном слое лесного горючего материала при внешнем тепловом воздействии.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Численное моделирование испарения влаги в слое лесного горючего материала под воздействием теплового потока для оценки лесной пожарной опасности.</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Презентация Power Point Presentation</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент</p>	<p>Кузьмина Наталья Геннадиевна</p>

Социальная ответственность	Василевский Михаил Викторович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Введение	
Сформулирована новая физическая модель сушки слоя лесного горючего материала, ограниченная рамками применения при выпадении небольшого числа жидких осадков, проникающих только в приповерхностный слой лесного горючего материала.	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	12.12.2017
---	------------

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
5БМ6В	Сорокодум Марина Евгеньевна		

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

Студенту:

Группа		ФИО	
5БМ6В		Сорокодум Марине Евгеньевна	
Институт		Кафедра	
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:			
1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>		<i>Должностной оклад НР – 26300 руб. Должностной оклад инженера – 17000 руб.</i>	
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>		<i>Норма амортизации основных фондов: 20%</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>		<i>Социальные отчисления – 30% от ФЗП</i>	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:			
1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>		<i>Технико-экономическое обоснование НИР</i>	
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>			
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>		<i>Смета затрат на проект</i>	
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>		<i>Оценка научно-технического уровня НИР</i>	
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):			

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ6В	Сорокодум Марина Евгеньевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа		ФИО	
5БМ6В		Сорокодум Марине Евгеньевна	
Инженерная школа энергетики		Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова	
Уровень образования	Магистр	Направление подготовки	13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:			
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения		Разработка математической модели и численное исследование сушки слоя лесного горючего материала под воздействием теплового потока от фронта лесного пожара с учетом продвижения фронта испарения влаги вглубь слоя. Опасные факторы лесных пожаров по механизму воздействия на организм человека можно разделить на три группы: физико-химические, психофизические и биологические.	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:			
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:		1.1. Анализ выявленных вредных факторов на рабочем месте специалиста по математическому моделированию: – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью; – предлагаемые средства защиты; 1.2. Анализ выявленных опасных факторов: – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество – источники, средства защиты)	
2. Экологическая безопасность:			
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:		– перечень возможных ЧС на рабочем месте специалиста по математическому моделированию; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:		– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику			

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ6В	Сорокодум Марина Евгеньевна		

Оглавление

РЕФЕРАТ	12
ВВЕДЕНИЕ	13
ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОБЛАСТИ ПРОГНОЗА ЛЕСНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ.....	16
1.1 Характеристика лесных пожаров и ЛГМ	16
1.2 Математические модели сушки слоя ЛГМ	31
1.3 Методы прогнозирования лесной пожарной опасности	36
1.4 Системы геомониторинга лесных пожаров	38
1.5 Дистанционное зондирование лесных массивов	39
ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ	46
2.1 Объект исследования	46
2.2 Алгоритм решения поставленной задачи	46
ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	53
3.1 Сушка слоя ЛГМ под воздействием теплового потока, представленного как монолитный слой ЛГМ без учета отражения солнечной радиации от поверхности ЛГМ.....	53
3.1.1 Физическая постановка задачи.....	53
3.1.2 Геометрия области решения	54
3.1.3 Математическая постановка	54
3.1.4 Основные закономерности лесопожарного созревания слоя ЛГМ.....	55
3.2 Сушка слоя ЛГМ под воздействием теплового потока, с учетом отражения солнечной радиации от поверхности ЛГМ.	59
3.2.1 Физическая постановка задачи.....	59
3.2.2 Геометрия области решения	60
3.2.3 Математическая постановка	61
3.2.4 Основные сценарии лесной пожарной опасности.	62
3.2.5 Основные закономерности лесопожарного созревания слоя ЛГМ	64
ГЛАВА 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕССУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	54
4.1 Планирование НИР	54
4.2 Смета затрат на проект	55
4.2.1 Материальные затраты на реализацию проекта	56
4.2.2 Амортизация компьютерной техники.....	56

4.2.3 Затраты на заработную плату	56
4.2.4 Затраты на социальные нужды	58
4.2.5 Прочие затраты.....	58
4.2.6 Накладные расходы	58
Заключение	59
ГЛАВА 5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	60
Введение.....	60
6.1 Производственная безопасность	61
6.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации исследуемого объекта.	61
6.1.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	63
Приложение А.....	96

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация 114 с, рисунков 17, источника 64, 1 приложение.

Ключевые слова: лесной горючий материал, моделирование, теплоотдача, сушка, испарение.

Объектом исследования является слой лесного горючего материала, в котором происходит испарения влаги под воздействием теплового потока для оценки лесной пожарной опасности.

В процессе исследования проводились моделирование процесса сушки слоя ЛГМ в условиях интенсифицированного теплообмена, изучение зависимостей величин температур на поверхности слоя лесного горючего материала от времени воздействия теплового потока.

В результате исследования были получены распределение температур в определенный временной диапазон при соответствующих теплофизических характеристиках различных типов подстилающей поверхности ЛГМ.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: двумерная математическая модель выполненная в среде программирования PascalABC, графические зависимости построены с помощью Origin.

Степень внедрения: результаты внедрены в учебный процесс

Область применения: мониторинг и прогнозирование лесной пожарной опасности.

ВВЕДЕНИЕ

Лесопожарные инциденты последних десятилетий трансформировались в катастрофические процессы, в результате которых страдает экономика, экология и живые существа, в том числе, и люди [1]. Происшествия такого рода возникают в различных странах мира, в том числе, в Канаде, Соединенных Штатах Америки, Австралии и Южной Европе. Российские леса также подвержены этим катастрофическим явлениям. Специалисты различных государств мира ведут активное исследование вопросов возгорания лесных массивов. Уже предложены различные классификации ЛГМ. Исследованы процессы сушки, пиролиза и зажигания ЛГМ [2].

В исследования вовлечены процессы грозовой активности, антропогенной нагрузки и, как следствие, возникновение пожаров в лесу в результате этих факторов. К настоящему времени развиты системы прогноза лесной пожарной опасности. Распространены методы оценки лесной пожарной опасности на основе канадской, американской и европейской систем [3]. В Российской Федерации в качестве государственного стандарта до сих пор используется критерий Нестерова [4], который был разработан еще в середине прошлого столетия. Существуют также разработки в стадии активного создания и модернизации [5].

Цель настоящей работы заключается в численном моделировании испарения влаги в слое лесного горючего материала под воздействием теплового потока для оценки лесной пожарной опасности.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Анализ современных методов и подходов к оценке лесной пожарной опасности в Российской Федерации и за ее пределами.
2. Обоснование актуальности предлагаемой работы.

3. Формулировка физической и математической моделей теплового воздействия на слой лесного горючего материала.
4. Анализ достоверности математической модели.
5. Численное исследование режимов теплового воздействия на слой лесного горючего материала.
6. Анализ результатов численного исследования и формулировка выводов.

Научная новизна работы заключается в следующем. Сформулирована новая физическая модель сушки слоя лесного горючего материала, ограниченная рамками применения при выпадении небольшого числа жидких осадков, проникающих только в приповерхностный слой лесного горючего материала. Сформулирована новая детерминированная математическая модель сушки слоя лесного горючего материала. В настоящее время подобные модели для определения условий сушки слоя лесного горючего материала под воздействием внешних условий в научной периодике отсутствуют. В результате исследования выявлены условия лесопожарного созревания слоя лесных горючих материалов.

Теоретическая и практическая значимость работы

Разработана программная реализация математической модели, которая может быть применена для создания более совершенных систем прогноза лесной пожарной опасности. Создание подобных моделей закрепляет перспективу широкого применения детерминировано-вероятностного подхода на основе детерминированных математических моделей сушки, пиролиза и зажигания лесных горючих материалов. Полученные результаты могут быть применены при создании новых и модернизации существующих информационно-вычислительных систем геоинформационного мониторинга лесных массивов и припоселковых территорий.

Достоверность полученных результатов

Достоверность результатов выполненного исследования подтверждается использованием апробированных численных методов решения нестационарных нелинейных задач теплопроводности (на основе метода Самарского А.А.), а также анализом результатов численного моделирования на последовательности сгущающихся сеток. Кроме того, было проведено сравнение с результатами схожих задач в предельном случае.

ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОБЛАСТИ ПРОГНОЗА ЛЕСНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

1.1 Характеристика лесных пожаров и ЛГМ

Лесным и степным пожарам отводится очень важная роль в формировании и поддержке лесных и степных экосистем. [11]. Установлено и положительное и отрицательное влияние на экосистемы. Необходимо оценивать перспективы их распространения и уметь предвидеть их возникновение. Огромный вес имеет прогнозирование низовых пожаров, т.к. они составляют более 80 % из общего числа пожаров [7], из них образуются все верховые пожары.

В результате лесной и степной пожарной опасности образуются огромное количество газообразных и дисперсных продуктов пиролиза и горения ЛГМ и СГМ для выброса в атмосферу, это приводит к ее загрязнению [8]. Более того, лесная и степная пожароопасность ведут к возрастанию в ней содержания углекислого газа, а это, в свою очередь, способствует глобальному потеплению [8].

В последнее время важность и актуальность проблемы природных пожаров еще больше возросло в связи с усилением в лесах и степях хозяйственной деятельности человека. Именно по этой причине каждый год в Прибайкалье, Красноярском крае, и Западной Сибири, и на Дальнем Востоке, а также в некоторых областях европейской части страны и на территории Казахстана наблюдаются самое большое количество лесных пожаров [7].

Грозовые разряды, деятельность человека, самовозгорания торфяной крошки и сельскохозяйственные палы в пожароопасный сезон являются основными причинами возникновения лесных пожаров.

Естественные пожары отличаются от пожаров, индуцированных действиями людей, потому что, молнии обычно попадают в деревья на подъемах, и огонь, спускающихся по склону, развивается медленно, при этом сила пламени уменьшается, поэтому огонь редко продвигается на большие площади [9]. Возгорания, вызванные людьми, как правило, развиваются из в

низин и распадков, это и определяет увеличение скорости и опасности распространения природной катастрофы [10].

В зависимости от причины возгорания и состава лесного биогеоценоза лесные пожары делятся на низовые, верховые и почвенные. В засушливую погоду низовой пожар достаточно легко и быстро становится верховым, далее, верховой пожар может распространиться на огромную площадь.

Лесная пожарная активность бывает трех видов в зависимости от их интенсивности [7]:

1. слабые;
2. средние;
3. сильные.

Такие показатели как состояние, запас горючих материалов, уклон местности, время суток и сила ветра влияют на интенсивность горения.

Скорость распространения огня влияет на вид низовых и верховых пожаров: устойчивые и беглые. Скорость распространения слабого низового пожара достигает величины не более 1 м/мин, сильного – более 3 м/мин. Слабый верховой пожар имеет скорость не более 3 м/мин, средний – не выше 100 м/мин, а сильный – более 100 м/мин. Высота распространения слабого низового пожара не более 0,5 м, среднего – 1,5 м, сильного – более 1,5 м. Слабым почвенным, иначе подземным, пожаром – это пожар, у которого глубина прогорания – менее 0,25 м, средним – 0,25-0,5 м, сильным – более 0,5 м [11].

Ныне известные методы оценки лесопожарной опасности помогают определить площадь и периметр зоны возможных возгораний в регионе. Исходными значениями являются данные лесопожарного коэффициента и

времени развития пожара. От погодных и природных условий региона и времени года зависит показатель лесопожарного коэффициента.

Время распространения пожаров определяется временем прибытия сил и средств ликвидации пожара в зону лесопожарной активности.

Продолжительность свободного развития пожара

$$\tau_{св} = \tau_{обн} + \tau_{сооб} + \tau_{сб} + \tau_{сл} + \tau_{р} \quad (1),$$

где, $\tau_{обн}$ – диапазон времени с момента возникновения пожара до момента

его обнаружения;

$\tau_{сооб}$ – диапазон времени с момента обнаружения пожара до извещения

пожарной части;

$\tau_{сб}$ – диапазон времени сбора и выезда подразделения по тревожному

сигналу;

$\tau_{сл}$ – диапазон времени следования подразделения к месту вызова

подразделения;

$\tau_{р}$ – диапазон времени обоснования подразделения [32].

Время обнаружения и сообщения приблизительно можно определить изучением срабатывания на объектах установок автоматического обнаружения и извещения о пожаре. Данный показатель во многом зависит и от бдительности охраны и обслуживающего персонала данного объекта. Сумма этих показателей, как правило, принимается 8-12 мин, при наличии сигнализации – 5 мин.

Боеготовность подразделений влияет на время сбора и выезда по тревоге зависит от боеготовности подразделений и ее можно определить установленными нормативами. Как правило, принимается 1 мин.

Время следования подразделений определяется по формуле:

$$\tau_{\text{сл}} = 60 \frac{L}{V} \quad (2)$$

Где, L – длина пути движения подразделения от пожарного депо до места вызова, км;

V – средняя скорость движения пожарных автомобилей, км/ч.

Время развертывания предполагается в зависимости от обстановки на пожаре, расстояния до источников воды, их вида и условий забора воды из них, физической подготовленности личного состава подразделений, особенностей ландшафта местности и других местных условий. Принимается по нормативам ПСП или 3 мин. для летнего периода, 6 - 8 мин. для зимнего периода [13].

В настоящее время в практике прогнозирования лесной пожарной опасности, как правило, используются различные эмпирические или статистические индексы пожарной опасности, описывающие высыхание слоя лесного горючего материала под воздействием внешних условий.

Условия, влияющие на возникновение и поведение пожара, можно подразделить на три основные группы: лесорастительные (постоянные), метеорологические (переменные), а также дополнительные (грозовая активность и антропогенная нагрузка) [14]. Воздействие этих условий выражается оценкой лесопожарной опасности.

В связи с этим существуют различные методы оценки пожарной опасности, в основе которых лежит:

- метеорологический подход, при котором учитываются наиболее значимые погодные условия: скорость ветра, солнечная радиация, температура воздуха и почвы, количество осадков, влажность воздуха (например, методики Н. П. Курбатского, В. Г. Нестерова [14-16]);

- использование детерминировано-вероятностных моделей, которые основаны на физико-химических законах горения, а также статистических данных [17,14]. К настоящему времени создан и интенсивно развивается метод прогностического моделирования лесной пожарной опасности [17,14], учитывающий сценарий одновременного появления антропогенной нагрузки и грозовой активности, свойства лесных горючих материалов, метеорологические условия по статистическим, экспериментальным данным и результатам численного моделирования;
- использование данных космической съемки, чаще всего применяемые в так называемых «индексных» изображениях в своей работе со спектральной информацией.

На основе сочетания значений яркости в определенных каналах, имеющих вес при выделении исследуемого объекта, и вычисления по этим значениям «спектрального индекса» объекта строится изображение, соответствующее значению индекса в каждом пикселе, что и позволяет выделить исследуемый объект или оценить его состояние. Спектральные индексы, которые необходимы для изучения и оценки состояния растительности называются вегетационными индексами [18]. На данный момент известно более 160 вариаций вегетационных индексов. Вычисление большей их части базируется на двух наиболее стабильных и независимых участках кривой спектральной отражательной способности растений. Например, растительные индексы (индексы «зелености») рассчитываются по данным в широких спектральных зонах. Они выражают влияние содержания хлорофилла, площадь листовой поверхности, сомкнутость и структуру растительного покрова (NDVI, EVI и др.) [18]. Существуют индексы, которые определяют содержание углерода в виде лигнина и целлюлозы (например, PRSI), они присутствуют в древесине и в мертвых или сухих растительных тканях в огромном количестве. Рост этих показателей показывает процесс

«старения» и отмирания растений, что указывает на возможное увеличение количества сухих ЛГМ.

Используются также индексы для оценки содержания влаги в растительном покрове (NDWI, NDII и др.). Высокие показатели содержания влаги характерно для здоровой растительности, которая быстрее растет и более устойчива к пожарам. Для расчета вегетационных индексов применяют данные космической съемки (Landsat 8, Terra Modis и др.), содержащие различные диапазоны, главными из которых являются красный (Red), синий (Blue), зеленый (Green), инфракрасные каналы (ближний (NIR) и ближний коротковолновый (SWIR)) и тепловые каналы (TIRS).

Основным достоинством вегетационных индексов является простота их получения строго по материалам космической съемки и широкий диапазон решаемых с их помощью задач. При проведении оценки пожарной опасности лесов на основании материалов космической съемки системы Landsat 8 определялись ключевые вегетационные индексы, связанные с растительностью (NDVI (EVI)), влажностью (NDWI) и температурой (TVDI) в геоинформационной системе [18]. Вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) - нормализованная разность яркостей в красной (5RED) и ближней инфракрасной (BNIR) зонах космического снимка:

$$NDVI = \frac{BNIR - BRED}{BNIR + BRED}$$

$$BNIR + BRED$$

Индекс NDVI при расчете пожарной опасности лесов используется для анализа количества растительности (а значит, количества лесных горючих материалов). Чем выше значение индекса, тем больше растительности на исследуемой территории. Он имеет размах от 1 (интенсивная густая растительность) до -1 (угнетенные с точки зрения наличия хлорофилла поверхности -открытая почва, асфальт, бетон и т. д.).

В отличие от индекса NDVI, индекс EVI [11] дает возможность определить больше градаций в районах с высокой зеленой растительностью и

имеет плюсы для мониторинга растительности, т.к. влияние почвы и атмосферы в значениях NDVI минимально. Следовательно, при применении материалов космической съемки, имеющей вышеперечисленные недостатки, следует рассчитывать индекс EVI (Enhanced Vegetation Index - улучшенный вегетационный индекс), который по своей значимости аналогичен NDVI. Для этого используется следующее уравнение:

BBLUE - цифровые значения пикселей инфракрасного, красного и синего каналов космического снимка.

Индекс NDWI [14, 18] при оценке пожарной опасности применяется для определения наличия влаги в растительном покрове. Индекс NDWI (Normalized Difference Water Index - нормализованный разностный водный индекс) определяется как отношение разности и суммы коэффициентов поглощения BNIR и BSWIR каналов:

1. $NDWI = \frac{B_{nir} - B_{swir}}{B_{nir} + B_{swir}}$
2. $BNIR + BSWIR$

Существуют и другие индексы для исчисления степени обеспеченности растений водой, хотя огромное количество индексов используют средний инфракрасный канал (MIR), следовательно, их применение возможно только при использовании материалов космической съемки, которые имеют этот канал, отсутствующий на космических снимках Landsat 8.

Расчет температуры поверхности нужен для определения возможности возгорания ЛГМ, это является важным фактором при прогнозировании пожарной опасности лесов.

Космические методы исследования поверхностной температуры основываются на применении тепловых каналов изображений со спутников NOAA AVHRR, Terra Modis, которые являются наиболее используемыми для данных целей. Но для целей лесного хозяйства они не всегда применимы из-за их низкого пространственного разрешения (500-1000 м), в отличие от снимков Landsat 8 (разрешение 100 м), которые являются более предпочтительными из-за того, что размеры выделов в лесохозяйстве не

достигают разрешающей способности снимков Terra Modis и NOAA AVHRR. Это осложняет точное определение пожароопасности для каждого выдела.

Температурно-вегетационный индекс TVDI -Temperature Vegetation Dryness Index (Sandhold, 2002) изначально использовали для оценки состояния влажности и температуры почвы и растительности. Пространственное распределение этого индекса показывает отношение температуры поверхности и индекса NDVI при широком диапазоне условий влажности. Исследования Goward и др. (1985) отразили высокую обратно пропорциональную зависимость между температурой поверхности (T_s , T_{smin} , T_{smax}) и индексом NDVI, причиной чему является охлаждение при испарении влаги живой зеленой биомассы. Установление лесной пожароопасности учитывает установление конкретных классов пожарной опасности для отдельных выделов лесного фонда при последовательном выполнении следующих этапов:

- 1) сравнение средних показателей индексов с их значениями по отдельным участкам, полученным в результате классификации, и определение классов пожарной опасности данных участков;
- 2) объединение таблиц атрибутивных данных векторных индексов NDVI (EVI), NDWI, TVDI, которое выполняется с целью представления значений всех необходимых для определения пожарной опасности индексов в атрибутивной таблице данных одного векторного слоя;
- 3) расчет средних значений этих индексов, которые определяются как среднеарифметические величины для всего объекта оценки лесной пожарной ситуации в целом. После нахождения среднеарифметических значений необходимых вегетационных индексов производится сравнение полученных результатов с индексом каждого конкретного участка. Для этого вычисляется разность между среднеарифметическим значением соответствующего индекса и значением индекса конкретного участка;
- 4) интерполяция полученных значений классов. По найденным значениям разностей определяется конкретный класс пожарной опасности, который

заносится в атрибутивную таблицу данных для каждого участка. Чаще всего значение класса пожарной опасности для каждого участка, выделенного на векторном слое в результате дешифрирования космического снимка, не совпадает с границами выдела (может включать несколько классов пожарной опасности). Поэтому более целесообразно провести интерполяцию полученных значений классов пожарной опасности в пределах границ лесных выделов (кварталов) в зависимости от площади каждого класса пожарной опасности, которые приходятся на площадь выдела на основании космических снимков.

В итоге каждому выделу или лесному кварталу присваивается по площади класс пожарной опасности, который преобладает на данном фрагменте местности. Эта процедура выполняется исходя из базовых интерполяционных процедур принятой геоинформационной системы с использованием исходных векторных картографических слоев, полученных в результате лесоустройства, а также векторного слоя с классами пожароопасности объектов, которые получаются по результатам тематического дешифрирования. Итогом этой операции является векторный полигональный слой классов пожароопасности для определенного участка местности, имеющий в атрибутивной таблице таксационную характеристику насаждений и классы пожароопасности, и это даст возможность в дальнейшем проектировать противопожарные мероприятия для сохранения лесохозяйства.

В настоящее время на территории лесного фонда применяется также космический способ мониторинга лесных пожаров с использованием белорусского космического аппарата дистанционного зондирования Земли, позволяющего обеспечить получение данных о возникновении пожаров и их последствиях.

Использование материалов космической съемки при оценке пожарной опасности позволяет опосредованно учитывать как метеорологические факторы, так и характеристику лесных насаждений. При этом

метеорологические факторы учитываются путем расчета специализированных индексов (нормализованной влажности, температурно-вегетационным) и температуры поверхности, а характеристика лесной растительности - в виде вегетационных индексов. Все анализируемые показатели получены, используя только материалы космической съемки. Это значительно упрощает сбор исходных данных. Таким образом, разработанная методика позволяет интегрировано учитывать метеорологические факторы и характеристики лесных насаждений и создавать повидельные (поквартильные) карты пожарной опасности лесных территорий.

Совместное использование данного подхода определения лесной пожарной опасности с существующей методикой может вывести оценку и прогнозирование пожарной опасности лесов на новый качественный уровень. Необходима разработка физически обоснованных детерминированных моделей сушки слоя лесного горючего материала. Влагосодержание слоя ЛГМ существенно влияет на распределение температуры в поверхностном слое почвы.

По определению В.Н. Сукачева, БГЦ включает в себя пять основных составляющих: фитоценоз, зооценоз, микробоценоз, эдафотоп и климатоп [19].

Первые три составляющих лежат в основе органической части БГЦ — его экосистему, а эдафотоп и климатоп подразумевают под собой неорганическую среду. Наиболее важная часть БГЦ — это фитоценоз, создающий органическую часть среды, в то время как зооценоз и микробоценоз являются только потребителями этого вещества. Следовательно, классификация биогеоценозов построена на классификации фитоценозов.

Тип условий местопроизрастания (ТУМ) классифицируется по растениям-индикаторам эдафических условий. Если рассмотреть пример южной тайги можно увидеть, что все типы леса с преобладающим покрытием

елью объединены в эдафифитоценотический ряд: ельники-зеленомошники, ельники-долгомошники, ельники сфагновые, ельники травяные, ельники сложные.

Каждая из этих групп в отдельности — один ТУМ. Для первой группы типов леса типичны хорошо дренированные разнообразного типа почвы, сходные с реками; второй тип лесов находится на тех же почвах, однако хуже дренированных, с элементами заболачивания, вдали от рек. Для третьей группы типично заболачивание на равнине, вне предела влияния рек. По поймам рек, ручьев с избыточным, но проточным увлажнением расположены типы леса четвертой группы. Леса пятой группы находятся вблизи с самыми богатыми в зоне почвами с максимально высоким уровнем кислотности среды.

Украинские ученые Е.В. Алексеев и П.С. Погребняк на основе влажности и трофности почв составили эдафическую сетку лесов [20]. В сетке трофотопы — члены ряда с различным плодородием почв.

П. С. Погребняк определил четырехступенчатый ряд, начинающийся с наименее плодородных А (боры) до наиболее богатых почв Д (дубравы). По степени увлажнения ряд подразделяется на 6 ступеней — гигротопов: от крайне сухих — 0; через сухие — 1; свежие — 2; влажные — 3; сырые — 4 до лесных болот — 5.

Тип лесорастительных условий — классификационная единица территории, лесоводы пользуются ей наряду с типами леса. Эдафифитоценотический ареал составляет совокупность типов лесорастительных условий, в которой распространен тот или иной вид деревьев.

Кроме основной систематической единицы растительного покрова — ассоциации, в лесной геоботанике существуют единицы более высокого ранга. Их лестница в порядке произрастания выглядит так: лесная ассоциация — группа ассоциаций — лесная формация — группа формаций — класс растительности — тип растительности.

Ассоциации, которые отличаются по составу только одного из ярусов, объединяются в группу ассоциаций. К примеру, древостой образован елью европейской. Моховой ярус хорошо развит и представлен зелеными мхами идентичного состава, кустарниковый ярус отсутствует. Однако травянисто-кустарничковый ярус не идентичен: в одних фитоценозах — из черники (ассоциация ельник черничный), в других — из брусники (ельник брусничный), в третьих — из кислицы (ельник кисличный), а в четвертых — из зеленых мхов (ельник зеленомошный). Эти четыре ассоциации формируют группу ассоциаций — ельник зеленомошный. Аналогичным образом объединяют в группы и другие лесные ассоциации.

Группы ассоциаций объединены в более крупные группы на основе или общих эдификаторов. Таким образом можно выделить формации пихтовые, еловые, сосновые, кедровые, лиственничные, березовые, осиновые, дубовые и т.д.

К группе формаций относят формации с одной и той же жизненной формой эдификаторов. Таким образом, пихтовые, еловые, кедровые формации составляют группу темнохвойных формаций; сосновые и лиственничные — группу светло-хвойных формаций; березовые, осиновые, тополево-ивовые и ольховые — группу мелколиственных формаций; дубовые, буковые, ореховые, ясеневые, липовые, кленовые, ильмовые, платановые и др. — группу широколиственных формаций.

Систематической единицей крупнее является класс формации, объединяющий все группы формаций, с близкими по своим жизненным формам эдификаторам. Группы темно- и светлохвойных формаций представляют класс формаций хвойных лесов, в то время как группы мелко- и широколиственных формаций составляют класс формаций лиственных лесов.

Совокупность классов формаций составляет тип растительности — самая крупная таксономическая единица в геоботанике.

В основу классификации типов лесного участка положены экологические факторы: минеральное богатство почв, или трофность (от греческого слова «трофос» — пища), влажность почв и климат. В пределах одного климатического района местное разнообразие лесов будет зависеть от изменения плодородия почвы и влажности почвогрунта. Эти две координаты представляют основу почвенной сетки классификации типов лесного участка.

Таблица 1. Эдафическая сетка для классификации типов лесного участка по Е.В.Алексееву и П.С. Погребняку [20]

Группы влажности	Группы богатства почвы			
	Боры «А»	Субори «В»	Судубравы «С»	Дубравы «Д»
0 – Очень сухие	A ₀	B ₀	C ₀	D ₀
1 – сухие	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁
2 – свежие	A ₂	B ₂	C ₂	D ₂
3 – влажные	A ₃	B ₃	C ₃	D ₃
4 – сырые	A ₄	B ₄	C ₄	D ₄
5 – мокрые	A ₅	B ₅	C ₅	D ₅

Лесные пожары в науке разделяются на низовые, повальные верховые, вершинные верховые, подземные (торфяные) и массовые [21]. При низовых пожарах поражается напочвенный покров. При повальных верховых пожарах – и напочвенный покров, и кроны деревьев. При вершинном верховом пожаре оказываются поражены только кроны деревьев. Подземные пожары обычно характерны наличием очага горения в толще слоя. Массовые лесные пожароопасные ситуации могут возникнуть при катастрофе, вызванной столкновением, воздушном ядерном взрывом и т. д. [21]. По скорости распространения огня лесные пожары делятся на устойчивые и беглые.

Расширенную классификацию лесных пожаров дал И.С. Мелехов в 1947г. (табл.1.2).

Таблица 2. Классификация лесных пожаров И.С. Мелехова [22]

<i>Низовые пожары</i>	<i>Верховые пожары</i>	<i>Подземные пожары</i>
Подстилично-гумусовые: 1) устойчивые; Напочвенные: 2) устойчивые; 3) беглые; Подлесно- кустарниковые: 4) устойчивые; 5) беглые; Валежные и пневые: 6) устойчивые; 7) беглые;	Вершинные: 8) устойчивые; 9) беглые; Повальные: 10) устойчивые; 11) беглые; Стволовые: 12) устойчивые;	Торфяные: 13) устойчивые.

В литературе существуют несколько вариантов определения лесного пожара.

С.П. Анцышкин (1957) [20] предложил понимать лесной пожар как только горение, стихийно распространяющееся по лесной площади. Исходя из этого определения, в классификации И.С. Мелехова [22] совместно классифицируются как лесные пожары (напочвенные, повальные), так и отдельные «фрагменты» пожара, т.е. горение на той же площади сухостойных деревьев (стволовые пожары), валежника и пней (валежные и пневые пожары). Данное обстоятельство позволило доктору сельскохозяйственных наук, профессору Н.П. Курбатскому (1964) уменьшить категоричность лесных пожаров в разработанной им классификации до 9 при существующих 13 у профессора И.С. Мелехова [22].

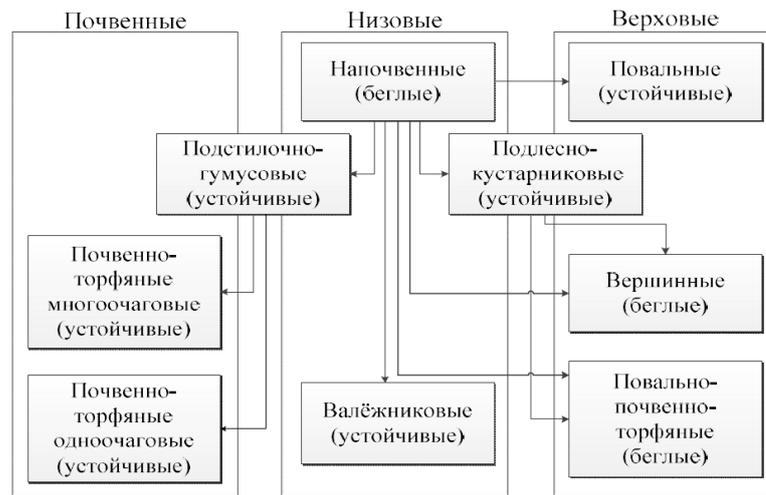


Рисунок 1. Классификация лесных пожаров по Н.П. Курбатскому [23]

Влияние лесной пожарной активности на биоценоз и человека влечет за собой экономические, экологические и социальные ущербы (рис.1.1.2) [24].

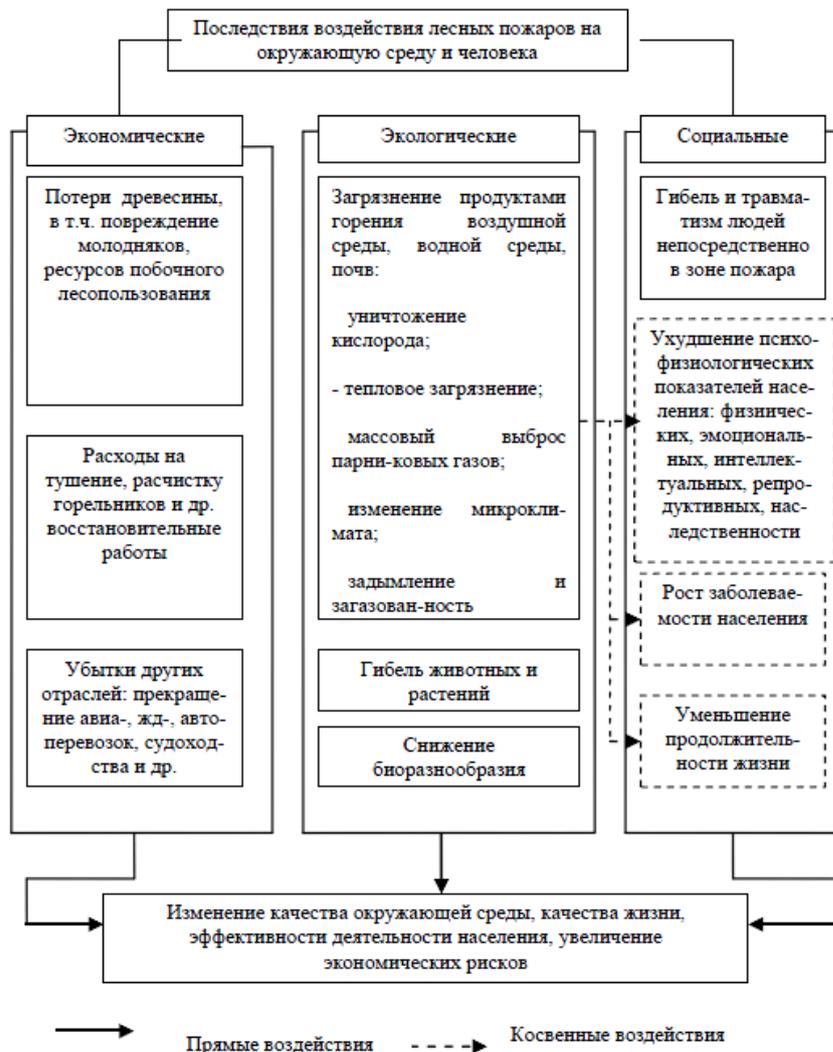


Рисунок 2. Структура последствий лесных пожаров [25]

Лесные пожары оказывают огромное влияние на здоровье человека. Последствием влияния поражающих факторов лесного пожара могут служить возникновение и обострение различного рода заболеваний. Свойства атмосферного воздуха, который включает в себя частицы дыма и газообразные соединения от лесных пожаров являются факторами, которые увеличивают риск увеличения смертности и оказывает влияние на возникновение хронических обструктивных болезней легких [25].

Лесные пожары являются причиной не только прямой эмиссии углерода при горении, но и обуславливают после пожарную эмиссию, возникающую при разложении поврежденной огнем растительности [26]. Выбросы углерода от пожаров варьируются вследствие биомов; к примеру, на пожары в саваннах, на лугах приходится примерно 50 % от годового объема выбросов, а для тропических пожаров (около 38 %) и пожаров в умеренных и бореальных лесах (около 6 % каждый) [27]

1.2 Математические модели сушки слоя ЛГМ

На данный момент разработано множество математических моделей сушки слоя ЛГМ, как например модель профессора Гришина А.М., и его последователей Лободы Е.Л., Абрамовских А.А. [28].

Используя теорию вероятностей и физические соображения, в работах А.М. Гришина получена формула для оценки вероятности возникновения лесного пожара. Впрочем предоставленная модель имела ряд дефектов [29]. В следствие этого целенаправленно создание уточненной 10-вероятностной модели мониторинга лесной пожароопасности. В результате математических исследований получена модель для мониторинга вероятности появления лесного пожара в момент времени t на i -ой территории [29]:

$$P_i(t) = [P_i(A,t)P_i(\text{ЛП}/A,t) + (P_i(B,t)P_i(\text{ЛП}/B,t))]P_i(C,t), \quad (3)$$

где $P_i(A,t)$ – вероятность антропогенной нагрузки, необходимой для зажигания ЛГМ; $P_i(\text{ЛП}/A,t)$ – вероятность возникновения пожара вследствие антропогенной нагрузки на площади F_i ; $P_i(\text{ЛП}/B,t)$ – вероятность возникновения сухих гроз на площади F_i ; $P_i(\text{ЛП}/B,t)$ – вероятность возникновения лесного пожара от молнии при условии, что сухие грозы могут иметь место на площади F_i ; $P_i(C,t)$ – вероятность возникновения лесного пожара по условиям погоды. Для определения вероятностей возникновения лесных пожаров, за счет влияния антропогенной нагрузки и молний в формуле (1.3.1), предложено применить определение вероятностей через частоты событий и воспользоваться статистическими данными для соответствующей территории. Необходимо учитывать тот факт, что сырые ЛГМ, влагосодержание которых больше критического, не горят. В следствие этого нужно установить значение вероятности того, что влагосодержание растительного горючего материала меньше критического [30]:

$$P_i(C,t) = 0 \text{ при } W_{it} > W_{i*} \text{ или при } m_i = 0 \quad (4)$$

$$P_i(C,t) = \frac{F_t}{F} \left(1 - \frac{W_{it}}{W_{i*}}\right), \text{ при } 0 \leq W_{it} \leq W_{i*} \quad (5)$$

Здесь W_{it} – влагосодержание на i -ом выделе предельного по массовой концентрации ЛГМ в момент времени t (выдел – участок леса из пород деревьев

1-го типа); W_{i*} – критическое влагосодержание на i -ом выделе максимального по массовой концентрации ЛГМ; m_i – масса ЛГМ на i -ом выделе; значение $P_i(C,t) = 0$ соответствует случаю, когда на i -ой площади лесной территории нет ЛГМ (поверхность дорог, рек, озер и водонасыщенных болот), т.е. $m_i = 0$, или на слой ЛГМ выпало более 3 мм осадков, в результате чего $W_{it} > W_{i*}$; k – эмпирический показатель степени, характеризующий количественное изменение пожарной опасности; $F = \sum_{i=1}^N F_i$ – общая площадь той территории, для которой определяется

лесная пожарная опасность (лесничество, лесхоз, район, область 11 или государство); F_i – площадь i -го выдела; N – общее число выделов на прогнозируемой территории. [30]

При разработке прикладных экспертных систем большие задачи математической физики не решают, что позволяет получать данные о последствиях катастрофы в режиме, опережающем настоящее время становления этого события, впрочем точность прогноза значительно ниже. Значит для построения экспертных систем нужно применить аналитические заключения, которые получены на базе строгой физико-математической постановки задачи. В следствие этого, для расчета текущего влагосодержания слоя ЛГМ за базу взята упрощенная математическая модель низкотемпературной сушки, рассмотренную в диссертации Лободы Е.Л. [Лобода Е.Л., 2013] и сделаны некоторые допущения: напочвенный покров всех выделов исследуемой территории разбивается на 5 основных проводников горения (ОПГ): опад хвои, мох, лишайник, опад листвы, травяная ветошь; для каждого типичного выдела температура и объемная доля воды в ОПГ описывается одной системой уравнений. Определяя кратковременный отрезок, на который дается прогноз, буквой n и приводя систему уравнений к безразмерному виду, усреднена по высоте слоя ЛГМ и ряда математических преобразований, получаем уравнения для определения объемной доли свободной и связанной воды и температуры слоя ЛГМ в функции от безразмерного времени τ на любой прогнозируемый промежуток времени [31]:

$$\varphi_2 = \exp(c_n^{(2)}\tau) \left\{ M_n - R_n \left[\exp(-c_n^{(2)}\tau) - 1 \right] + D_n \left[\exp(\tau \langle s_n^{(1)} - c_n^{(2)} \rangle) - 1 \right] + Y_n \left[\exp(\tau \langle s_n^{(2)} - c_n^{(2)} \rangle) - 1 \right] \right\} \quad (6)$$

$$\theta_s = (\theta_{sn} - k_n - h_n) \exp[s_n^{(1)}(\tau - \tau_n)] + h_n \exp[s_n^{(2)}(\tau - \tau_n)] + k_n \quad (7)$$

$$\text{Здесь } R_n = \frac{f_n^{(2)} + b_n^{(2)} k_n}{c_n^{(2)}}, \quad D_n = \frac{b_n^{(2)}(\theta_{sn} - k_n - h_n) \exp(-s_n^{(1)}\tau)}{s_n^{(1)} - c_n^{(2)}}, \quad (8)$$

$$f_1(\theta_{sn}, \varphi_{2n}) = a_n, \quad (9)$$

$$Y_n = \frac{b_n^{(2)} h_n \exp(-s_n^{(2)}\tau_n)}{s_n^{(2)} - c_n^{(2)}}, \quad (10)$$

$$h_n = \left[f_n^{(1)} + b_n^{(1)} \theta_{sn} + c_n^{(1)} \varphi_{2n} - s_n^{(1)} (\theta_{sn} - k_n) \right] / (s_n^{(2)} - s_n^{(1)}), \quad (11)$$

$$k_n = \frac{f_n^{(2)} c_n^{(1)} - f_n^{(1)} c_n^{(2)}}{c_n^{(2)} b_n^{(1)} - c_n^{(1)} b_n^{(2)}}, \quad (12)$$

$$a_n^{(1)} - b_n^{(1)} \theta_{sn} - c_n^{(1)} \varphi_{2n} = f_n^{(1)}, \quad (13)$$

$$a_n^{(2)} - b_n^{(2)} \theta_{sn} - c_n^{(2)} \varphi_{2n} = f_n^{(2)} \quad (14)$$

$$s_n^{(1)}, s_n^{(2)} = \frac{b_n^{(1)} + c_n^{(2)} \pm \sqrt{(b_n^{(1)} - c_n^{(2)})^2 + 4b_n^{(1)} - c_n^{(1)}}}{2}, \quad (15)$$

$$M_n = \varphi_{2n} \exp(-c_n^{(2)}\tau_n) + \frac{f_n^{(2)} + b_n^{(2)} k_n^{(1)} k_n}{c_n^{(2)}} \exp(-c_n^{(2)}\tau_n) - 1 - \frac{b_n^{(2)}(\theta_{sn} - k_n - h_n) \exp(-s_n^{(1)}\tau)}{s_n^{(1)} - c_n^{(2)}} (\exp(\tau_n \langle s_n^{(2)} - c_n^{(2)} \rangle) - 1) \quad (16)$$

$$f_2 = \frac{\gamma_n \varphi_2}{\sqrt{1 + \beta_n \theta_s}} [\exp(\theta_s / (1 + \beta_n \theta_s)) - \pi_{en}], \quad \tau = t/t_*, \quad (17)$$

В качестве размерных величин использовались следующие параметры: t_* - характерное время; t - время; T_s - температура конденсированной фазы; T_0 - температура почвы; α_v - коэффициент объемного конвективного теплообмена; λ - коэффициент теплопроводности газовой фазы; $\rho_r, C\rho_r$ - плотности и теплоемкости сухого органического вещества ($r=1$), и свободной и связанной с сухим органическим веществом воды ($r=2$); φ_1 - объемная доля сухого органического вещества; φ_2 - осредненная объемная доля свободной и связанной с сухим органическим веществом воды; E - энергия активации, характеризующая испарение связанной воды; R - универсальная газовая постоянная; q_{Rw} и q_{Rz} - плотности потока результирующего излучения, на границе раздела сред и потока излучения, проникающего в слой РГМ; q_2 - теплота испарения единицы массы воды; A - альbedo слоя РГМ; $q_R(h)$ - плотность потока излучения от Солнца на верхней границе слоя РГМ; P_{2e} - парциальное давление паров воды,

$$P_{2*} = P_{02} \exp\left(-\frac{E}{RT_s}\right) - \text{давление насыщенных паров,}$$

где α - угол между горизонтальной плоскостью и подстилающей поверхностью; ε_s - коэффициент черноты слоя; σ - постоянная Стефана-Больцмана; J_w - плотность потока длинноволнового излучения на верхней границе слоя РГМ; $k_1=0,4$ - коэффициент затухания излучения в слое РГМ; индекс w приписывается параметрам состояния при $z = h$, где z - вертикальная координата, h - высота напочвенного покрова; k_{02} - постоянная величина. На основе найденного аналитического решения было получено упрощенное аналитическое решение задачи. Для этого было сделано допущение о том, что на каждом временном интервале температура слоя РГМ совпадает с температурой окружающей среды, т.е. $\theta_s = \theta_e$. Тогда в качестве характерной температуры будем выбирать температуру воздуха в

начале каждого n-го временного интервала. [29] В результате на n+1 временном интервале уравнение (3) примет вид [4]:

$$\varphi_2 = \varphi_{2n} \exp[-\gamma_n(1 - \pi_{en})(\tau - \tau_n)] \quad (18)$$

1.3 Методы прогнозирования лесной пожарной опасности

В настоящее время пропагандируется концепция управления лесными пожарами. Немаловажное значение в этом направлении имеет разработка мероприятий по отжигу лесных горючих материалов (ЛГМ) или так называемые предписанные выжигания. В связи с развитием концепции управляемого огня большое значение приобретает разработка технологий прогнозирования и мониторинга лесной пожарной опасности. Существуют различные подходы к решению этого вопроса. Например, в США и Канаде разработаны национальные системы прогноза лесной пожарной опасности, которые опираются на эмпирическую и статистическую информацию. Ведутся разработки по созданию методов прогнозирования лесной пожарной опасности на основе теории вероятностей, регрессионного анализа экспериментальных данных. Однако в настоящее время интенсивно разрабатывается детерминированно-вероятностный метод прогнозирования лесной пожарной опасности.

Тот факт, что почти все они имеют под собой слабую физическую основу и учитывают в основном только метеоданные иллюстрирует анализ существующих в России и за ее пределами систем мониторинга природной пожарной опасности, т.к. они реализуются с внедрением эмпирических или полуэмпирических моделей расчета. Однако природные факторы и антропогенная нагрузка не учитываются должным образом.

Среди наиболее известных мировых методик следует отметить канадскую, американскую, российскую и австралийскую методики оценки пожарной опасности.

Канадская система оценки пожарной опасности в лесах CFFDRS (Canadian Forest Fire Danger Rating System), разрабатывавшаяся с 1968 г., состоит из подсистем FWI (для оценки пожарной опасности) и FBP (для прогнозирования поведения пожаров, включая оценку запаса сгорающих при пожаре растительных горючих материалов (РГМ), прогноз скорости распространения и активности пожаров в типовых комплексах РГМ, и модели становления пожаров) [32] Канадская система построена на базе анализа большого количества статистических данных, по которым были составлены таблицы зависимости пожароопасности от различных показателей.[33] Система CFFDRS является одной из самых разработанных и широко применяющихся схем, адаптированных ,помимо Канады, в Новой Зеландии, Фиджи, Мексике, Аляске, Флориде и странах Юго-Восточной Азии.

Американская система NFFDRS (National Forest Fire Danger Rating System) , созданная в 1972 г., представляет собой логическую структуру или абстрактную модель воздействия всевозможных факторов и условий на процесс появления и распространения пожаров [34,35].

Следует отметить, что Канадская и Американская методики очень схожи друг на друга по своей структуре, в подходах и принципах построения индексации пожарной опасности. Главный недостаток обоих этих методик заключается в невозможности их использования в других странах без предварительного определения большого количества эмпирических коэффициентов ,а также недоступность физически содержательного смысла ряда постоянных ,что ограничивает спектр варьирования значений входных характеристик и использование этих методик при иных начальных условиях [34-35].

В основе австралийской системы оценки пожарной опасности широко используются индексы МакАртура [36].

1.4 Системы геомониторинга лесных пожаров

Правильный мониторинг пространственных распределений природных и техногенных комплексов топлива на ландшафтном уровне сильно влияет на поведение лесного пожара сильно зависит. Для оценки и прогнозирования угрозы лесных пожаров и поведения пожаров важны пространственные закономерности видов топлива, а также трехмерной структуры и состояния растительности [37].

Мониторинг лесов представляет собой систему исследований, оценки и мониторинга состояния и динамики лесного фонда в целях муниципального управления в области применения, охраны, защиты лесного фонда и воспроизводства лесов, а также же увеличения их экологических функций. Федеральным органом управления лесным хозяйством совместно с специально уполномоченным Муниципальным органом в области охраны окружающей среды устанавливается порядок осуществления мониторинга лесов [37].

Своевременное обнаружение неблагополучных по санитарному состоянию участков леса, выявление и прогнозирование массового ослабления и усыхания лесов под влиянием стихийных бедствий, пожаров, насекомых, заболеваний, других факторов влияния на окружающую среду природного и антропогенного характера, получение актуальной и достоверной информации от нежелательных изменений в состоянии лесов под воздействием антропогенных процессов и материалов для обоснования заключений по охране, защите леса, способствующих увеличению его средоохраняющих и сферформирующих функций, предотвращению вреда, сохранению биологического разнообразия лесных экосистем, оптимальному применению лесных ресурсов и устойчивому развитию лесного сектора экономики России считается целью организаций геомониторинга.

Наиболее ценные леса, леса особо охраняемых природных земель, леса в районах техногенного загрязнения, пострадавшие от стихийных бедствий, подвергающихся интенсивному хозяйственному воздействию,

рекреационной нагрузки, поврежденные огнем, вредоносными организмами и другими факторами, негативного влияния природного и антропогенного происхождения являются первоочередными объектами мониторинга [38].

Моделирование оценки лесных пожаров находится в зависимости от большого количества факторов, например, от характеристик местности, вида растительности, метеорологических условий и т.д. Лесные пожары считаются одним из самых весомых факторов, который возникает каждое лето в большинстве стран Средиземного моря, и, в частности Греции, они могут поставить жизнь человека под угрозу и вызвать неисправимые повреждения окружающей среды.[38] ГИС-технологии могут служить в качестве необходимой технологической основы для разработки комплексной оперативной системы для лесной пожароопасности. Эти системы могут упростить работу пожарных служб задолго до того, как начнется сильный пожар [38].

Данная система содержит в себе процесс моделирования распространения лесного пожара. Моделирование распространения лесного пожара имеет первостепенное значение из-за 2-х основных факторов [38]:

1. Чтобы управлять имеющимися ресурсами во время пожара, ведется оценка распространения огня для того.
2. Моделирование поведения пожара при самом негативном варианте поведения огня для того, чтобы квалифицировать более эффективный путь тушения лесного пожара и предотвратить вероятные последствия.

1.5 Дистанционное зондирование лесных массивов

Одно из наиболее развитых направлений приложения дистанционного зондирования в сфере экологии – это оценка состояния растительного покрова, и, в частности, лесного покрова [39]. Спектр разработанных методик и их возможного применения - очень широкий, и приведенный ниже перечень практических направлений использования и возможных к

выявлению характеристик лесного покрова – далеко не полный. Он будет пополняться и детализироваться по мере накопления материала.

Характеристики лесного покрова, которые возможно выявить при помощи технологий дистанционного зондирования [39]:

- Степень нарушенности лесной экосистемы (оценка "здоровья" или степени приближенности лесной экосистемы к идеальному ненарушенному состоянию)
- Полнота древостоя (плотность насаждений, степень сомкнутости древостоя)
- Преобладающий возраст древостоя
- Преобладающий породный состав древостоя (для лесов умеренного пояса)
- Высота отдельных деревьев, высота древесных ярусов
- Диаметр кроны отдельных деревьев
- Граница леса
- Очаги лесных пожаров в режиме почти реального времени
- Территории с выгоревшими лесами за год наблюдений
- Вырубки разного возраста

Задачи лесного комплекса, которые возможно решить на базе технологий дистанционного зондирования (список не полный) [39]:

1. Проведение многолетнего мониторинга (с 1972 по настоящее время) лесных экосистем с отслеживанием параметров, важных для устойчивого использования, сохранения и восстановления леса, с целью выработки наиболее эффективных методик реализации этих целей.

1.1. Для задач лесовосстановления: использование ДЗЗ для оценки эффективности методик лесовосстановления с целью разработки и выбора лучших методик для данного типа климата и ландшафта.

1.2 Для задач лесопатологии: оценка эффективности методик устранения повреждений леса и их предотвращения с целью разработки и выбора

- лучших методик для данного типа климата и ландшафта.
2. Для задач создания экологических систем (эконетов): выбор приоритетных территорий для включения их в разрабатываемые экологические сети, выбор среди этих территорий приоритетных для проведения лесовосстановительных работ.
 3. Для задач борьбы с лесными пожарами: выявление лесных пожаров и оперативная разработка мер по их ликвидации, мониторинг лесов в пожароопасный период.
 4. Для задач борьбы с нелегальными вырубками
 5. Для задач лесопаталогии: выявление поврежденных лесных участков и диагностирование типов повреждений.
 6. Задачи выявления и картирования различных характеристик лесного покрова
 - 6.1. Определение высоты деревьев и диаметр кроны по спутниковым снимкам высокого разрешения

Основной ресурс определения пожаров и выгоревших территорий – продукты снимков MODIS [30], получаемых со спутников Terra и Aqua. Благодаря небольшому временному интервалу между получением снимков для одной и той же территории (всего 1-2 суток) – данные MODIS способны обеспечивать анализ ситуации с пожарами в режиме почти реального времени.

Данные MODIS детектирует два типа пожарной активности, по каждому из которых используется своя методика: активные очаги горения, то есть территории, горящие в момент съемки (active fires, hotspots) и сгоревшие площади (burned areas).

Активные очаги горения получают из продуктов MODIS – MOD14 группы Тепловые аномалии/Пожары (Thermal Anomalies - Fires and Biomass Burning). Принцип детектирования пожаров основан на их сильном излучении в среднем инфракрасном диапазоне.

Однако подход к детектированию очагов обладает рядом ограничений и не может быть использован для оценки пространственного охвата пройденных огнём территорий в том числе и из-за того, что в момент активного горения спутник часто отсутствует в точке необходимой для детектирования или она скрыта от него облачностью. Таким образом, для оценки возгораний в данный момент времени, существует потребность в площадных данных об уже сгоревших территориях.

Сгоревшие территории - получают из продуктов MODIS - MCD45. Специально разработанный для MCD45 алгоритм обнаружения сгоревших участков основан на анализе временных серий ежедневных данных об отражательной способности поверхности.[40,41]

Потенциальный очаг пожара определяется следующими методами:

- Абсолютные значения каждой из вышеназванных величин в пикселе (T_4 и dT_{411}) выше допустимых пределов, заданных в параметрах маски пожаров (например, T_4 выше 360К днем или dT_{411} больше 25 К днем).
- Значение интенсивности сигнала в канале четыре мкм некоторого пикселя сильно отличается от окружения (например, $T_4 > T_{4b} + pT_{4.s.d.c.} * dT_{4b}$ - температура текущего исследуемого пикселя в канале 4 мкм больше средней температуры окружающих пикселей + стандартное отклонение температуры окружающих его пикселей умноженное на эмпирический коэффициент (standard deviation coefficient, обычно $pT_{4.s.d.c} = 3$)).

В программе существует набор параметров, отвечающие за то, будет тот или иной пиксель регистрироваться как очаг пожара либо же нет. Сочетание этих параметров (маски пожаров) зависят от региона, например, лесостепная территория Курганской области и Ивдельская тайга имеют отличные друг от друга спектральные характеристики отражения в тепловом диапазоне,

принимаемом радиометром MODIS. Более того, порядок этих параметров зависит от сезона (зима, весна, лето, осень) и даже от времени приема.

- Программный модуль "Fire detection" к пакету прикладных программ ERDAS Imagine с критериями (Табл. 3)..

Для дневных температур	Для ночных температур
$T_3 > T_{3p}$	$T_3 > T_{3p}$
$T_4 > T_{4p}$	$T_4 > T_{4p}$
$T_3 - T_4 > T_{3,4p}$	$T_3 - T_4 > T_{3,4p}$
$(I_2 - I_1) / (I_2 + I_1) > 0.1$	

Таблица 3. Критерии обнаружения тепловой аномалии.

где T_{3p} , T_{34p} , T_{4p} , - температурные пороги, I_2 , I_1 - интенсивность излучения в 1 и 2 каналах.

Температурные пороги задаются оператором в следующих интервалах: T_{3p} - 310-322 К; T_{34p} - 7-15 К; T_{4p} - 275-285 К. По умолчанию, для летнего времени задаются следующие температурные пороги: $T_3 = 312$ К; $T_{34} = 15$ К; $T_4 = 276$ К.

Наиболее известный общемировой ресурс предоставления данных о пожарной активности на весь мир – The Fire Information for Resource Management System (FIRMS), разработанный в Университете штата Мэриленд и поддерживаемая Национальным агентством США по авиации и исследованию космического пространства (NASA).[41]

В России работает национальная система дистанционного мониторинга пожаров и оповещений в режиме почти реального времени: "Космоснимки Пожары" ИТЦ "СКАНЭКС" [42]. На карте сайта ресурса можно найти актуальную на сегодняшний день информацию о пожарах по своей

территории. Ресурс "Космоснимки Пожары" использует данные FIRMS для отображения ситуации по всему миру, и собственные данные для отображения ситуации по России, что делает точность определения очагов пожаров и выгоревших территорий по России точнее, чем данные по России, полученные только из ресурса FIRMS.

Как сообщается на официальном сайте ресурса: "Оперативность сервиса по России даже выше, чем у FIRMS, т.к. используется информация, которая размещена в России в уникальной сети наземных комплексов приема и обработки спутниковых данных УниСкан™ ИТЦ «СКАНЭКС», в скором времени добавятся данные со спутника Suomi NPP."

В нашей стране для проведения оперативного космического мониторинга в интересах служб пожароохраны лесов существуют приемные центры, открытые во многих населенных пунктах России. Создана ведомственная сеть станций Министерства Природных Ресурсов России с центрами приема спутниковых данных в гг. Москве, Екатеринбурге, Иркутске, Якутске, Южно-Сахалинске и Геленджике. [43] В интересах центральной базы авиационной охраны лесов "Авиалесоохрана" функционируют центры на базе Института космических исследований РАН (Москва) и Института солнечно-земной физики СО РАН (Иркутск). В интересах МЧС создан Центр приема и обработки космической информации в г. Москве и открыты лаборатории приема спутниковых данных в гг. Красноярске, Владивостоке, Анадыре.

В интересах региональных служб пожарной охраны лесов функционируют областные приемные центры. Например, в г. Томске на базе трёх станций приема информации со спутников серии NOAA (СФТИ, ИОА СО РАН и Управления "Томксельхозлес") проводится мониторинг лесных пожаров для Базы авиационной охраны лесов, Томского управления лесами, главного Управления ГО и ЧС по Томской области и Управления "Томксельхозлес". В г. Сыктывкаре на базе лесной службы Комитета

природных ресурсов по Республике Коми организовано прогнозирование лесных пожаров республики и соседних территорий. В г. Барнауле данные MODIS (приемная станция в Алтайском Государственном Университете) используются для принятия управленческих решений на территории Алтайского края. Региональные центры приема спутниковой информации работают также в гг. Новосибирске, Нижнем Новгороде, Уфе, Элисте, Якутске, Южно-Сахалинске, Ростове-на-Дону и др [43].

ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1 Объект исследования

Лесные пожары проходят по нескольким стадиям:

1. - инертный прогрев слоя лесного горючего материала;
2. - испарение влаги;
3. - термическое разложение (пиролиз) ЛГМ;
4. - воспламенение в газовой фазе;
5. - пламенное горение ЛГМ;
6. - догорание коксового остатка.

Объектом исследования является однослойная структура лесного горючего материала. Предмет исследования – испарение влаги в приповерхностном слое лесного горючего материала при внешнем тепловом воздействии. Наиболее упрощенное понятие лесного пожара – это горение растительности, стихийно распространяющееся по лесной территории [42].

2.2 Алгоритм решения поставленной задачи

Для исследования теплового влияния на слой лесного горючего материала в настоящей работе используется метод математического моделирования [45].

Математическая модель – это приблизительное описание, каких то либо явлений или объектов из реального мира посредством математического языка. Самарский рассматривал математическую модель, как эквивалент объекта, отражающий в своей математической форме наиболее важные свойства, законы, связи, которые присущи составляющим его частям.

Основная цель моделирования – это изучение этих явления и объектов. Посредством моделирования можно контролировать процесс изучения окружающего мира.

Этапы моделирования:

1) Разработка модели. Определен объект, его основные свойства и особенности. Затем строится математическая модель, которая учитывает зависимости, существующие между признаками данного объекта.

2) Решение задачи. На этом этапе разрабатываются численные методы решения задач на компьютере.

3) Интерпретация информации, которая получается посредством математической модели.

4) Достоверности модели. Требуется, чтобы экспериментальные результаты соответствовали теоретическим следствиям модели с определенной точностью.

5) Модификация модели (упрощение или усложнение модели).

Математическое моделирование сводится к решению нестационарного нелинейного дифференциального уравнения в частных производных параболического типа (уравнения теплопроводности) с соответствующими граничными и начальными условиями. На верхней границе выставлены модифицированные граничные условия второго рода.

Уравнение решено методом конечных разностей А.А. Самарского. Разностные аналоги дифференциального уравнения решались с помощью метода прогонки [44].

Идея метода конечных разностей (метода сеток), состоит в решении краевых задач и довольно проста: делаем замену производных в дифференциальном уравнении с использованием их конечноразностных аппроксимаций. Для построения аппроксимаций дифференциальных задач необходимо связать две противоречивые цели: хорошее качество аппроксимации и устойчивое решение результирующих алгебраических систем.

Рассмотрим задачу, которая решается на основе одномерного уравнения теплопроводности с применением метода конечных разностей. В качестве примера возьмем плоскую пластину (рис. 2.2.1). На левой границе поддерживается постоянная температура $T_{л}$, а на правой границе постоянная температура $T_{п}$. Источники, которые выделяют тепло внутри пластины, отсутствуют.

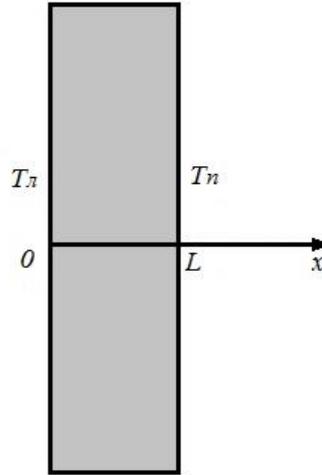


Рисунок 3 . Геометрия задачи

Для заданных условий температура меняется только в направлении перпендикулярном к границе пластины. Так как ось направлена вдоль ОХ, как показано на рис. 2.2.1, температуры по направлению ОУ и ОZ являются постоянными. Рассмотрим дифференциальное уравнение вида:

$$\rho \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad (19)$$

Заменяем дифференциальное уравнение теплопроводности на их конечно – разностные аналоги [29]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\tau} \quad (20)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T_{i+1}^{n+1} - 2 \cdot T_i^{n+1} + T_{i-1}^{n+1}}{h^2} \quad (21)$$

В результате аппроксимации частных производных второго порядка выполняется переход к разностной форме дифференциального уравнения [29]:

$$\rho \cdot c \cdot \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\tau} = \lambda \left(\frac{T_{i+1}^{n+1} - 2 \cdot T_i^{n+1} + T_{i-1}^{n+1}}{h^2} \right), \quad i = 2, \dots, N-1, \quad n \geq 0 \quad (22)$$

Когда МКР используется для решения задач теплопроводности, твердое тело делится на группу узлов. Частные производные дифференциальных уравнений заменяются конечноразностными аналогами, и в результате получаем систему линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). С помощью разностной сетке, которая представлена на рис. 4, определяется температура в каждом узле как локальная характеристика. Далее, полученная система уравнений замыкается начальными и граничными условиями, решаемыми численными методами посредством ЭВМ. [45]

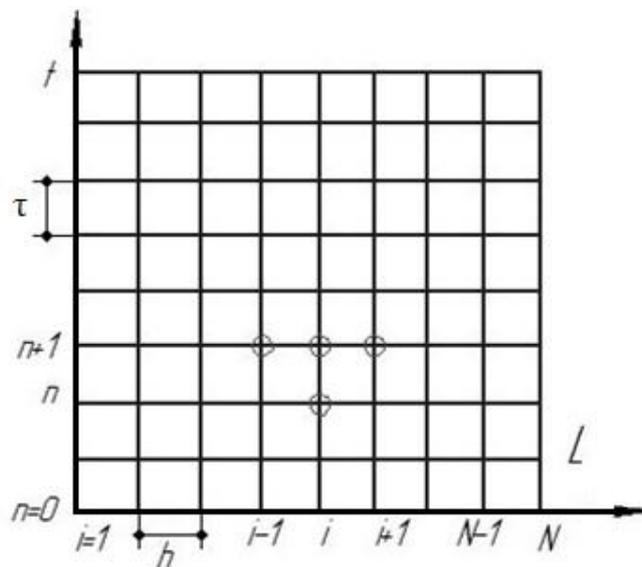


Рисунок 4. Неявная четырехточечная разностная схема

Из рис. 4 видно, что при использовании четырехточечной разностной схемы, одна точка берется со старого временного слоя, а три других берутся уже на новом временном слое.

Полученную систему сводим к общему виду и решаем методом прогонки:

$$A_i \cdot T_{i+1}^{n+1} - B_i \cdot T_i^{n+1} + C_i \cdot T_{i-1}^{n+1} = F_i, \quad (23)$$

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

Далее делаем преобразование уравнения со вторым порядком точности в двухточечное уравнение с первым порядком [29]:

$$T_i^{n+1} = \alpha_i \cdot T_{i+1}^{n+1} + \beta_i, \quad (24)$$

Уменьшив i в уравнении (24) на $i-1$, получили выражение вида $T_{i-1}^{n+1} = \alpha_{i-1} \cdot T_i^{n+1} + \beta_{i-1}$, и, подставив в (23) получаем:

$$A_i \cdot T_{i+1}^{n+1} - B_i \cdot T_i^{n+1} + C_i \cdot \alpha_{i-1} \cdot T_i^{n+1} + C_i \cdot \beta_{i-1} = F_i, \quad (25)$$

Откуда получаем:

$$T_i^{n+1} = \frac{A_i}{B_i - C_i \cdot \alpha_{i-1}} T_{i+1}^{n+1} + \frac{C_i \cdot \beta_{i-1} - F_i}{B_i - C_i \cdot \alpha_{i-1}}, \quad (26)$$

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

Для того чтобы найти α_i и β_i по (26) обязательно надо α_1 и β_1 , которые найдем из левого граничного условия. По формулам (24) находим последовательно $T_{N-1}^{n+1}, T_{N-2}^{n+1}, \dots, T_2^{n+1}$.

Решение уравнений (26) определяется методом прогонки, которые находятся из прогоночных коэффициентов α_i, β_i при $i = \overline{2, N-1}$ (прямая прогонка), а далее получение неизвестных T_N^{n+1} при $i = N-1, N-2, \dots, 2$ - это уже (обратная прогонка) [29].

Для того чтобы применить метод прогонки необходимо в процессе расчета избегать ситуаций с делением на ноль, а для больших размерностей систем не должно быть большого роста погрешностей.

Далее рассмотрим задачу с фазовым переходом на границе, а именно, испарение с поверхности материала. Испарение в пластине происходит только на одной границе. Рассмотрим дифференциальное уравнение теплопроводности вида:

$$\rho \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}, \quad (27)$$

Начальные и граничные условия:

$$t = 0, T = T_0; \quad (28)$$

На верхней границе применяем граничные условия третьего рода, так как учитывается испарение с поверхности материала. Данное условие характеризует теплообмен между окружающей средой и поверхностью материала. При этом задается температура окружающей среды T_0 , так же задается закон теплообмена между окружающей средой и поверхностью. Для того чтобы описать теплообмен между поверхностью и окружающей средой, используется закон Ньютона-Рихмана [29]. Согласно закону Ньютона-Рихмана количество теплоты, которое отдается единицей поверхности тела в единицу времени, пропорционально разности температур поверхности тела T и окружающей средой, T_0 ($T > T_0$): $q = \alpha(T - T_0)$.

Граничное условие третьего рода для верхней границы:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial y} = q - Q_{исп} \cdot W_{исп}; \quad (29)$$

где $W_{исп} = \frac{A \cdot (P - P_{амм})}{\sqrt{\frac{2\pi RT}{M}}}$ - скорость испарения, $P = P_0 \cdot \exp\left(-\frac{Q_{исп}}{RT}\right)$ - давление

насыщения; A -коэффициент аккомодации; P_0 - предэкспонент фазового перехода; $Q_{исп}$ - энергия активации процесса испарения; $R=8.31$ Дж/(моль · К)- универсальная газовая постоянная; M - молекулярный вес.

На нижней границе примем граничные условия первого рода. На поверхности объекта в каждый момент времени задается распределение температур $T=T(y, t)$. В данном случае, когда температура на поверхности постоянна на протяжении всего процесса теплообмена, это условие может принять вид: $T=const$.

Проведем дискретизацию граничного условия третьего рода для верхней границе. Для этого потребуется определить прогоночные

коэффициенты α_i и β_i , которые определяются по формуле прогонки $T_i = \alpha_i T_{i+1} + \beta_i$ или $T_1 = \alpha_1 T_2 + \beta_1$.

Далее в выражение (29) подставляем формулу для расчета скорости испарения:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial y} = q - \frac{Q_{исп} \cdot A \cdot \left(P_0 \cdot \exp\left(-\frac{Q_{исп}}{RT}\right) - P_{амм} \right)}{\sqrt{\frac{2\pi RT}{M}}}; \quad (30)$$

Заменяем, $\partial T/\partial y$ на конечно – разностные аналоги, в результате получаем

$$\frac{\partial T}{\partial y} = \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{h}$$

$$-\lambda \frac{T_2 - T_1}{h} = q - \frac{Q_{исп} \cdot A \cdot \left(P_0 \cdot \exp\left(-\frac{Q_{исп}}{RT_1}\right) - P_{амм} \right)}{\sqrt{\frac{2\pi RT_1}{M}}}; \quad (31)$$

Выражаем T_1

$$T_1 = T_2 + \frac{qh}{\lambda} - \frac{Q_{исп} \cdot A \cdot h \cdot \left(P_0 \cdot \exp\left(-\frac{Q_{исп}}{RT_1}\right) - P_{амм} \right)}{\lambda \cdot \sqrt{\frac{2\pi RT_1}{M}}}; \quad (32)$$

Таким образом, получаем прогоночные коэффициенты

$$\begin{cases} \alpha_1 = 1; \\ \beta_1 = \frac{qh}{\lambda} - \frac{Q_{исп} \cdot A \cdot h \cdot \left(P_0 \cdot \exp\left(-\frac{Q_{исп}}{RT_1}\right) - P_{амм} \right)}{\lambda \cdot \sqrt{\frac{2\pi RT_1}{M}}} \end{cases} \quad (33)$$

Из вывода прогоночных коэффициентов видно, что β_1 нелинейным образом зависит от температуры. Далее следует определить температуру T_N , которая в данном случае будет равняться заданному значению (температура

верхнего слоя почвы), так как на нижней границе выставляются граничные условия первого рода.

ГЛАВА 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕССУРОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

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

В данной работе рассматривается математическое моделирование теплопереноса в слоистой структуре кожного покрова при воздействии излучения от лесного пожара с учетом испарения клеточной влаги. Для математического моделирования использовалась среда программирования Turbo Pascal. Все графические результаты обрабатывались в пакете программы OriginPro 8. Результаты НИР представлены в виде диссертационной работы с применением пакета программ Microsoft Office.

4.1 Планирование НИР

Этапы проекта и их продолжительность представлена в табл. 5. Основными исполнителями проекта являются студент (С) и научный руководитель (НР).

Таблица 5 – Перечень работ и оценка времени их выполнения

№ п/п	Этапы работы	Продолжительность, дни	
		НР	С
1	Состав и выдача ТЗ	НР	1
		С	1
2	Аналитический обзор отечественной и зарубежной литературы по теме работы	С	35
3	Выбор направления исследований и обоснование актуальности работы	С	6

4	Формулировка физической модели теплового воздействия на человека	С	5
5	Формулировка математической модели теплового воздействия на человека	С	10
6	Численное исследование тепловых режимов воздействия на человека	С	50
		НР	5
7	Вычислительные эксперименты по моделированию тепловых режимов воздействия лесных пожаров на человека	С	30
		НР	1
8	Анализ результатов математического моделирования	С	10
9	Сравнительный анализ с результатами экспериментов других авторов	С	5
10	Оформление заключительной части работы	С	5
11	Подготовка рукописи диссертации	С	14
		НР	1
	Итого:	С	171
		НР	8

4.2 Смета затрат на проект

Расчёт сметы затрат производится с целью определения стоимости проекта. Затраты на реализацию проекта складываются из нескольких величин, каждая из которых рассчитывается в отдельности.

Смета затрат на проектирование численной модели рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{\text{иссл}} = K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о.}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}}, \quad (43)$$

где $K_{\text{мат}}$ — материальные затраты, руб.;

$K_{\text{ам}}$ — затраты на амортизацию, руб.;

$K_{з/пл}$ —затраты на заработную плату, руб.;

$K_{с.о.}$ —затраты на социальные отчисления, руб.;

$K_{пр}$ — прочие затраты, руб.;

$K_{накл}$ — накладные расходы, руб.

4.2.1 Материальные затраты на реализацию проекта

Материальные затраты на данный проект составили $K_{\text{мат}}=1585,5$ руб.
[3-5].

4.2.2 Амортизация компьютерной техники

Затраты на амортизацию оборудования определяются следующим образом:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{кт}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}}, \quad (44)$$

где $T_{\text{исп}}$ — время использования компьютерной техники, дн.;

$T_{\text{кал}}$ — количество календарных дней;

$C_{\text{кт}}$ —цена устройства, руб.;

$T_{\text{сл}}$ — срок службы устройства, год.

При выполнении проекта были использованы персональный компьютер ценой 30000 руб., а также принтер ценой 7000 руб.

Тогда амортизация компьютерной техники составляет:

$$K_{\text{ам}} = \frac{171}{365} \cdot 25000 \cdot \frac{1}{5} = 2342,47 \text{ руб/год.}$$

4.2.3 Затраты на заработную плату

В настоящую статью включаются выплаты заработной платы за фактически выполненную работу, исходя из должностных окладов в соответствии с принятыми на предприятии нормами и системами оплаты труда, выплаты по районным коэффициентам, выплаты в соответствии с

действующим законодательством очередных ежегодных и дополнительных отпусков.

Фактические затраты на заработную плату рассчитываются по формуле:

$$K_{з/пл} = ЗП_{ф.инж} + ЗП_{ф.НР}, \quad (45)$$

где $ЗП_{ф.инж}$, $ЗП_{ф.НР}$ — фактические заработные платы исполнителей проекта: инженера и научного руководителя соответственно, руб.;

Зарботная плата за месяц $ЗП_{мес}$ рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{мес} = ЗП_0 \cdot k_1 \cdot k_2, \quad (46)$$

где $ЗП_0$ — месячный оклад исполнителей проекта. Для инженера $ЗП_{0инж} = 17000$ руб., для научного руководителя $ЗП_{0НР} = 26300$ руб.;

k_1 — коэффициент, учитывающий отпуск, $k_1 = 1,1$;

k_2 — районный коэффициент $k_2 = 1,3$.

Тогда месячная зарплата каждого из участников проекта составляет:

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

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

Фактическая заработная плата $ЗП_{ф}$ определяется так:

$$ЗП_{ф} = \frac{ЗП_{мес}}{21} \cdot n_{ф}, \quad (47)$$

где 21 — число рабочих дней в месяце;

$n_{ф}$ — фактическое число дней в проекте. Для инженера — 138 дней, для научного руководителя — 13 дней.

Тогда фактическая заработная плата каждого из участников проекта составляет:

$$ЗП_{ф.инж} = \frac{24310}{21} \cdot 171 = 197952,86 \text{ руб.};$$

$$ЗП_{\text{ф.нр}} = \frac{42900}{21} \cdot 13 = 10019,1 \text{ руб.}$$

Таким образом затраты на заработную плату составляют:

$$K_{\text{з/пл}} = 197952,86 + 10019,1 = 207971,96 \text{ руб.}$$

4.2.4 Затраты на социальные нужды

Отчисления на социальные нужды — это обязательные отчисления по установленным законодательным нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда, государственного фонда занятости и медицинского страхования. Затраты на социальные нужды принимаются в размере 30% от затрат на заработную плату:

$$K_{\text{с.о.}} = 0,3 \cdot K_{\text{з/пл}}; \quad (48)$$

$$K_{\text{с.о.}} = 0,3 \cdot K_{\text{з}} = 0,3 \cdot 207971,96 = 62391,59 \text{ руб.}$$

4.2.5 Прочие затраты

В эту статью включаются расходы по командировкам научного и производственного персонала, связанного с непосредственным выполнением конкретного проекта. Прочие затраты составляют 10 % от суммы всех предыдущих затрат:

$$K_{\text{пр}} = 0,1 \cdot (K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о.}}); \quad (49)$$

$$K_{\text{пр}} = 0,1 \cdot (1585,5 + 2342,47 + 207971,96 + 62391,59) = 482263,48 \text{ руб.}$$

4.2.6 Накладные расходы

В стоимость проекта входят накладные расходы, включающие в себя затраты на аренду помещения, оплату тепловой и электрической энергии, систему затрат на ремонт зданий и сооружения, заработную плату административных сотрудников и т.д.

Накладные расходы рассчитываются как 200% от затрат на оплату труда:

$$K_{\text{накл}} = 2 \cdot K_{\text{з/пл}}; \quad (50)$$

$$K_{\text{накл}} = 2 \cdot 207971,96 = 415943,92 \text{ руб.}$$

Смета затрат на численное исследование представлена в таблице 6.

Таблица 6. Смета затрат на проект исследования

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Материальные затраты	1585,5
Амортизация компьютерной техники	2342,47
Затраты на зарплату	207971,96
Отчисления на социальные нужды	62391,59
Прочие затраты	482263,48
Накладные расходы	415943,92
Итого	1172498,92

Общие затраты на реализацию проекта составляют 1172498,92 руб.

Заключение

В случае внедрения программного комплекса происходит снижение времени и стоимости на получение объективной информации о степени повреждения кожного покрова в условиях ЧС типичного представителя населения. Эффект от экономии времени за счет оперативного получения объективной информации, снижения степени риска принятия неверных решений приводит к определенной экономии на численности лиц, задействованных в спасательных операциях при ЧС, следственно должен привести к экономии затрат на оплату труда служащих.

ГЛАВА 5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Современный курс развития производственного и исследовательского процессов взят на увеличение производительности с уменьшением затрат. Одним из способов снижения финансовых затрат на исследования является математическое моделирование.

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.

Сущность математического моделирования заключается в создании и исследовании с помощью компьютера моделей реально существующих объектов и явлений. Основное отличие математического моделирования от эксперимента в том, что все процессы происходят виртуально в специально разработанных программных продуктах.

Создание математической модели, в настоящее время, невозможно без участия человека.

Целью разработки данного раздела выпускной квалификационной работы является рассмотрение вопросов охраны труда и техники безопасности рабочего места специалиста по математическому моделированию.

В процессе разработки раздела будут рассмотрены следующие вопросы:

- производственной безопасности;
- безопасности в чрезвычайных ситуациях;
- правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Область применения: ОТ и ТБ, пожарная безопасность сотрудников.

6.1 Производственная безопасность

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

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

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

реакции и являющихся переносчиками таких заболеваний, как клещевой энцефалит, малярия.

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

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

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

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

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

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

Рабочее место специалиста по математическому моделированию представляет собой офисное помещение, рассчитанное на одного или нескольких работников.

Офис характеризуется как помещение без повышенной опасности (сухое, беспыльное помещение с изолирующими полами с нормальной температурой воздуха).

Рассмотрим вредные и опасные факторы, воздействующие на специалиста по математическому моделированию, при выполнении его должностных обязанностей (табл.7).

Таблица 7. Опасные и вредные факторы при выполнении работ по моделированию выбросов оксидов азота при помощи ПВЭМ.

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1	2	3	4
<p>Работа в офисе:</p> <p>1. Сбор необходимой информации по будущему объекту исследования</p> <p>2. Моделирование выбросов оксидов азота при сжигании твердых топлив;</p> <p>3. Оценка адекватности полученных данных;</p> <p>4. Составления отчетной документации о проделанной работе.</p>	<p>1. Недостаточная освещенность рабочей зоны.</p> <p>2. Превышение уровня шума и вибрации.</p> <p>3. Повышенный уровень статического электричества.</p> <p>4. Пониженная или повышенная температура воздуха рабочей зоны.</p>	<p>1. Электрический ток.</p>	<p>1. СН 2.2.4/2.1.8.562–96[].</p> <p>2. СН 2.2.4/2.1.8.566[].</p> <p>3. СанПиН 2.2.4.548–96[].</p> <p>4. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03[].</p> <p>5. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03[].</p> <p>6. СП 60.13330.2012[].</p>

Из всех выявленных ранее выявлены вредные и опасные факторы для более подробного изучения.

6.1.3 Электробезопасность

Вероятность электротравм на рабочем месте специалиста по математическому моделированию обусловлена следующими факторами:

- протяженностью и разветвленностью электрических сетей;
- большим количеством оборудования, проводящего электроток.

Для профилактики электротравматизма специалист по математическому моделированию должен:

- пройти инструктаж на рабочем месте;
- обучиться безопасным методам ведения работ и пройти стажировку на рабочем месте;
- сдать экзамен на II группу по электробезопасности;
- не производить самостоятельно ремонт оборудования;
- при уходе с рабочего места и в перерывах между подачей электроэнергии, обязательно выключать электрооборудование, на котором производилась порученная работа.

Помимо удара работника электрическим током, на его организм также может пагубно воздействовать статическое электричество. Лёгкие «уколы» при работе с сильно наэлектризованными материалами вредно влияют на психику рабочих и могут привести к п профзаболеваниям. Для уменьшения воздействия статического электричества на офисного работника все необходимое оборудование заземляется.

6.1.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Достаточная освещенность рабочей зоны сотрудника необходима для обеспечения нормативных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СанПиНом 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий». Нормированные параметры освещенности в зависимости от вида работ приведены в таблице 6.1.2.

Таблица 8. Нормированные параметры освещенности в зависимости от вида работ [СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03].

Различение объектов при фиксированной и нефиксированной линии зрения:	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Искусственное освещение			Естественное освещение
				Относительная продолжительность зрительной работы при направлении зрения на рабочую поверхность, %	Освещенность на рабочей поверхности от системы общего освещения, лк	Коэффициент пульсации освещенности Кп, %, не более	КЕО, %, при боковом освещении
1	2	3	4	5	6	7	8
очень высокой точности	От 0,15 до 0,30	I	в	Не менее 70	500	10	1,5

Произведем расчет общего равномерного освещения рабочей поверхности, определив необходимое количество светильников, в рассматриваемом офисе.

Офисное помещение представляет собой кабинет площадью $S=25\text{м}^2$, длиной $A=5\text{м}$. и шириной $B=5\text{м}$.), с высотой потолков $H=3,5\text{м}$. Потолок и стены побелены.

Согласно требованиям изначально предположим, что для освещения рассматриваемого помещения необходимо шесть светильников типа ОД-2х40.

Размещение светильников на потолке, согласно рекомендациям [2] представлено на рисунке 6.

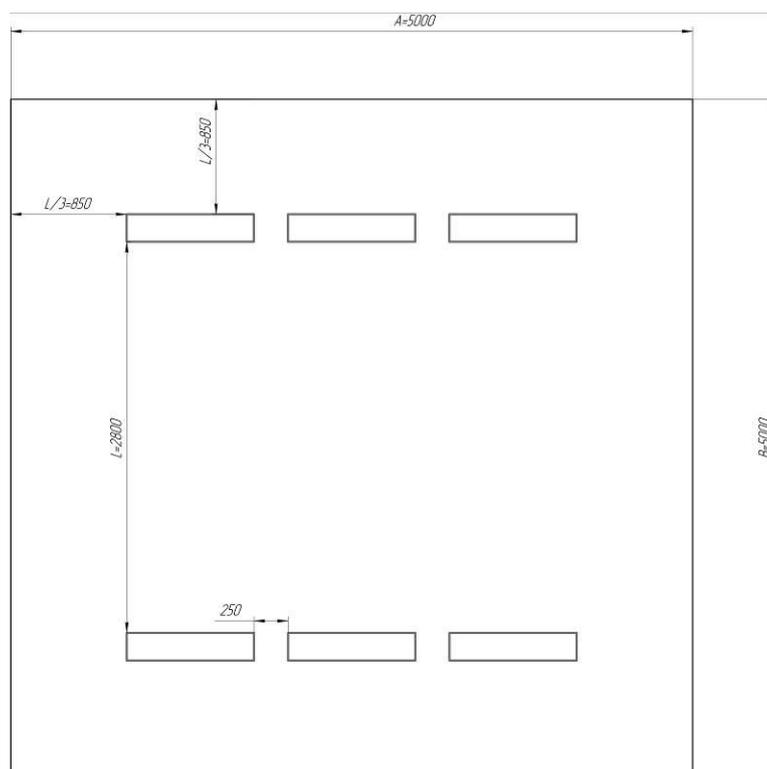


Рисунок 17. Размещение светильников в офисном помещении:

A – длина помещения в мм.; B – ширина помещения в мм.; L – расстояние между соседними рядами светильников, мм.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, в качестве источников света при искусственном освещении рекомендуется применять люминесцентные лампы. Тогда световой поток определяется по формуле:

$$\Phi = E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z \cdot 100 / (n \cdot \eta), \quad (51)$$

где E_n – нормируемая минимальная освещённость по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, лк; S – площадь освещаемого помещения, м²; K_z – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника; Z – коэффициент неравномерности освещения. Для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1; n – число светильников; η – коэффициент использования светового потока, зависящий от индекса помещения i , типа светильника, высоты светильников над рабочей поверхностью h и коэффициентов отражения стен ρ_c и потолка ρ_n .

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = S / h(A+B), \quad (52)$$

Далее, согласно источнику, коэффициент использования светового потока $\eta=49\%$. Тогда, согласно формуле 46 :

$$\Phi = 400 \cdot 25 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 100 / (6 \cdot 49) = 5612.$$

Из выполненного расчета, можно сделать вывод, что для освещения рассматриваемого офисного помещения можно выбрать лампы типа ЛБ, мощностью 40 Вт в количестве 12 штук в комплекте со светильниками типа ОД – 2-40. Основные технические характеристики ламп и светильников представлены в таблице 6.1.3.

Таблица 9. Технические характеристики лампы ЛБ и светильника ОД

Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Напряжение на лампе, В	Ток лампы, А	Световой поток, лм	
				ЛБ	
40	220	109	0,43	3200	
Тип светильника	Количество и мощность лампы	Размеры, мм			КПД %
		Длина	Ширина	Высота	
ОД – 2-40	2x40	1230	266	158	75

6.1.4 Превышение уровня шума и вибрации

По характеру спектра в помещении присутствуют широкополосные шумы. Источник шумов – электродвигатели в системе охлаждения и центральная система вентиляции ЭВМ. Допустимый уровень шумов для помещений компьютерных залов 50 дБ определяется СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96

Защитой от шумов является заключение вентиляторов в защитный кожух и установка внутрь корпуса ЭВМ.

6.1.5 Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны

Микроклимат помещений для лёгкой категории работ включает определённую температуру и влажность. В таблице.6.1.4 представлены нормы метеоусловий для категорий работ по тяжести IV в соответствии с СанПиН 2.2.4.548 – 96.

Таблица 10 – Нормы метеоусловий

Холодный период года $t_{нар}^{возд}$ ниже +10, °С						Тёплый период года $t_{нар}^{возд}$ +10, °С					
Оптимальные			Допустимые			Оптимальные			Допустимые		
Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
22-24	40-60	0,1	19-26	15-75	0,1	23-25	40-60	0,1	20-29	15-75	0,1

Для создания и поддержания норм микроклимата в рассматриваемом офисном помещении используются системы вентиляции (естественная) и отопления.

6.2 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При выполнении своих должностных обязанностей специалист по математическому моделированию стать свидетелем, либо пострадавшим от пожара. Основной причиной возникновения пожара в офисе могут быть повреждение электрической проводки (короткое замыкание и др.).

Для предупреждения возможных возгораний необходимо проводить следующие профилактические мероприятия: разработка и внедрение мероприятий, необходимых для устранения возможных причин пожаров и создание оптимальных условий для эвакуации сотрудников, и спасения имущества.

Противопожарные мероприятия подразумевают: разработку инструкций по пожарной безопасности и проведение инструктажа; ежегодную проверку сотрудников на знания правил пожарно-технического минимума с последующей сдачей экзамена аттестационной комиссии; обязательное наличие в офисе средств первичного пожаротушения: (огнетушителей, пожарных кранов). Огнетушители размещаются на видных, легкодоступных местах на высоте не более 1,5 м. Первичные средства пожаротушения, используемые на объекте, должны быть исправны и проходить ежегодную поверку.

Оптимальные условия эвакуации заключаются в правильном расположении и обслуживании эвакуационных выходов. Эвакуационные выходы запрещается загромождать. Двери на путях эвакуации должны открываться по ходу движения потока людей к выходу из здания. Запоры на дверях эвакуационных выходов должны обеспечивать возможность их свободного открывания изнутри без ключа. Эвакуационное освещение должно включаться автоматически при прекращении электропитания рабочего освещения. В офисе на видном месте должен располагаться план эвакуации сотрудников. (Приложение В).

При обнаружении пожара или признаков горения (задымление, запах гари, повышение температуры и т.п.) работник обязан действовать согласно памятки (Приложение Б)

6.3 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В помещении офисного типа, в которых производится эксплуатация ПЭВМ должны быть оснащены, как правило, источниками естественного и искусственного освещения. Окна должны быть преимущественно расположены с северной и северо-восточной сторон. Оконные проемы должны быть оборудованы регулируемыми устройствами (жалюзи, занавесей, внешних козырьков и др). Рабочий стол сотрудника должен быть размещен так, чтобы монитор компьютера был расположен боковой стороной к оконным проёмам. [СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03].

Согласно санитарным требованиям, площадь одного рабочего места, оборудованного ПЭВМ, должна иметь площадь не менее 6 м², объем – не менее 20 м³. Для исключения воздействия электромагнитных излучений на работника расстояние между экраном монитора и сотрудником должно составлять не менее 0,5 м (желательно 0,6–0,7 м).

Женщины со времени установления беременности и в период кормления грудью к работам с использованием компьютера не допускаются.

Работа специалиста по математическому моделированию, как было установлено ранее, к третьей (группа В) группе – интерактивная работа с компьютером. Для данной группы устанавливаются следующие регламентированные перерывы: при работе с компьютером от 4 до 6 часов за смену работник должен делать 2 перерыва по 20 минут через 1,5–2 часа после начала смены и через 1,5–2 часа после обеденного перерыва, либо перерывы по 15 минут после каждого рабочего часа. Работа с ПЭВМ в течение более 6 часов за смену (при 8-мичасовой рабочей смене) не допускается.

Для профилактики профессиональных заболеваний, которые могут возникать у работника из-за статичной позы при работе за компьютером, необходимо рационально организовывать рабочее место сотрудника и •

организовать санитарно-бытовое и лечебно-профилактическое обслуживание работников в соответствии с требованиями охраны труда.

Приложение Б (обязательное)

Памятка

Действия при пожаре:

1. немедленно прекратить работу и вызвать пожарную охрану по телефону «110» сообщив при этом адрес организации, наименование организации, место возникновения, фамилию, имя, отчество, телефон;
2. принять по возможности меры по эвакуации людей и материальных ценностей;
 1. отключить от питающей электросети закрепленное электрооборудование;
 2. приступить к тушению пожара имеющимися средствами пожаротушения;
 3. сообщить непосредственному или вышестоящему начальнику и оповестить окружающих сотрудников

Приложение В (обязательно)

План эвакуации при пожаре



Рисунок В.1 – План эвакуации при пожар

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов Г.В., Барановский Н.В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2009. 301 с.
2. Мелехов С.И., Влияние пожаров на лес /С.И. Мелехов. - М.-Л. Гос. лесотехн. изд-тво. 1948. – 126 с.
3. Taylor S.W., Alexander M.E. Science, technology and human factors in fire danger rating: the Canadian experience // International Journal of Wildland Fire. 2006. Vol. 15. N 1. P. 121 – 135.
4. Нестеров В.Г. Горимость леса и методы ее определения. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1949. 76 С.
5. Курбатский Н.П., Костырина Т.В. Национальная система расчета пожарной опасности США. // Сб. «Обнаружение и анализ лесных пожаров». Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1977. С. 38 – 90.
6. Буйволов Ю.А., [Быкова Е.П.](#), Гавриленко В.С., Грибков А.В., Баженов Ю.А., Бородин А.П., [Горошко О.А.](#), [Кирилюк В.Е.](#), [Корсун О.В.](#), Крейндлиг М.Л., [Куксин Г.В.](#), [Рябинина З.Н.](#) Анализ отечественного и зарубежного опыта управления пожарами в степях и связанных с ними экосистемах, в частности, в условиях ООПТ.2012.
7. <http://www.wood.ru/ru/lofire.html>
8. Бурасов Д.М. Математическое моделирование низовых лесных и степных пожаров и их экологических последствий. Томск.2006.
9. <http://www.greenpeace.org/russia/ru/campaigns/forests/90659/1902225/>
10. Богданов М.И., Архипов Г.Ф., Мясенков Е.И. "Справочник по пожарной технике и тактике". Учебное пособие. - Санкт-Петербург, 2007. - 120 с.
11. Калинин К.К. Воздействие крупных пожаров на лесные фитоценозы и система лесохозяйственных мероприятий по ликвидации их последствий. Диссертация доктора сельскохозяйственных наук – Марийский государственный технологический университет, 2002.

12. Терещнев В.В. «Расчет параметров развития и тушения пожаров (Методика. Примеры. Задания) – Екатеринбург: ООО «Издательство «Калан», 2012. – 460с.
13. В.И. Самойлов, К.М. Сосновский, «Справочник РТП», Иркутск, 1999г.
14. Hodakov V. E., Zharikova M. V. Lesnyye pozhary: metody issledovaniy [Forest fires: research methods]. Kherson, Green D. S. Publ., 2011. 470 p.
15. Kurbatsky N. P., Dorrer G. A., Dorogov B. I. Calculation of the distribution of sources of fires in the forest. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 1978, no. 7, pp. 76-78 (in Russian).
16. Katz A. L., Gusev V. L., Shabunina T. A. Metodicheskiye ukazaniya po prognozirovaniyu pozhar-noy opasnosti v lesakh po usloviyam pogody [Methodological guidelines for predicting fire danger-of forests due to weather conditions]. Moscow, Gidrometeoizdat Publ., 1975. 16 p.
17. Baranovsky N. V. Matematicheskoye modelirovaniye naiboleye veroyatnykh stsenariyev i usloviy vozniknoveniya lesnykh pozharov. Dis. kand. fiz.-mat. nauk [Mathematical modeling of the most probable scenarios and conditions of forest fires. Cand. dis.]. Tomsk, 2007. 153 p
18. Cherepanov A. S., Druzhinina E. G. Spectral properties of plants and vegetation indices. Geomatika [Geomatrics], 2009, no. 3, pp. 28-32 (in Russian). Экология. Основы реставрации. В.П. Князева М., 2005.
19. Остапенко Б.Ф. Лесорастительное районирование и классификация типов леса Украины и Молдавии / Б.Ф. Остапенко, И.Ф. Федец, М.С. Улановский // Тр. Харьковского с.-х. института. – 1978. – Т. 258. – С. 6-28.
20. Гришин А. М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1992. — 408 с. ;

21. Гришин А. М., Фильков А. И. Прогноз возникновения и распространения лесных пожаров. Кемерово: Практика, 2005. —202 с.
22. Данные по тепловым аномалиям описание и получение <http://gis-lab.info/qa/mod14a1.html>
23. Зайченко О.В. Разработка методов оценки воздействия лесного пожара на воздушную среду населенных территорий. Автореферат диссертации кандидата технических наук. – Владивосток, 2005. – 19 с.
24. Barlow J., Peres C.A. Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological sciences, 359, 367 (2004)
25. Кукавская Е.А. Воздействие лесных пожаров на баланс углерода среднетаежных сосняков Енисейской равнины. Диссертация кандидата биологических наук.
26. Rachel A. Loehmana, Elizabeth Reinhardt , Karin L. Riley Wildland fire emissions, carbon, and climate: Seeing the forest and the trees – A cross-scale assessment of wildfire and carbon dynamics in fire-prone, forested ecosystems / College of Forestry and Conservation, The University of Montana, Missoula, MT, 59812, USA.
27. ГОСТ Р 22.1.09-99 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования », 2000.
28. Фильков А.И. Физико-математическое моделирование возникновения природных пожаров и исследование особенностей сушки, пиролиза и зажигания горючих материалов. Томск, 2014.
29. Исаченко В.П. Теплопередача: Учебник для вузов / Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. – М.: «Энергоиздат», 1981. – 416 с.
30. Данные о сгоревших площадях MCD45: описание и получение <http://gis-lab.info/qa/mcd45.html>
31. B.J.Stocks, M.E. Alexander,R.S. Mc.Alpine a.o. Canadian Forest Fire Danger Rating System, Canadian Forestry service,1987.500 p.

32. Волокитина А.В., Софронов М.А. Классификация и картографирование растительных горючих материалов.-Новосибирск: Издательство СО РАН, 2002.314 с.
33. Deeming J.E.,Lancaster G.W., Fosberg M.A. a.o. The National Fire-Danger Rating System. – N.Y.;London;Toronto;USDA : Forest Service,1972.165 p.
34. Курбатский Н.П., Костырина Т.В. Национальная система расчета пожарной опасности США. // Сб. «Обнаружение и анализ лесных пожаров». Красноярск: ИлнД СО АН СССР ,1977. С.38-90.
35. McArthur A.G. Fire Behaviour in Eucalypt Forests. Canberra : Forestry and Timber Bureau, 1967. Leaflet № 107. 36 p.
36. McArthur A.G. Fire Behaviour in Eucalypt Forests. Canberra : Forestry and Timber Bureau, 1967. Leaflet № 107. 36 p.
37. EL-Gamily I.H., Selim G., Hermas E.A. Wireless mobile field-based GIS science and technology for crisis management process: A case study of a fire event, Cairo, Egypt // The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences. 2010. Vol. 13, p. 21–29.
38. Zhang Z.X., Zhang H.Y., Zhou D.W. Using GIS spatial analysis and logistic regression to predict the probabilities of human-caused grassland fires // Journal of Arid Environments. 2010. Vol. 74, p. 386-393.
39. Пинаев В. С. Пожары, вызванные ядерными взрывами, и их последствия: Физика горения и взрыва./ Пинаев В. С., Щербаков В. А., 1996. — Т. 32, № 5. — С. 116-121.
40. <http://fires.kosmosnimki.ru/>
41. <http://gis-lab.info/qa/firms.html>
42. Fraser R. H., Li Z. Remote Sensing of Environment, 82, 95 (2002)
43. <http://www.geol.irk.ru>
44. Самарский А.А. Теория разностных схем: Учебное пособие для вузов / А.А. Самарский. – М.: Наука. – 1977. – 656 с.

45. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. К 891 Разностные методы решения задач теплопроводности: учебное пособие. / Г.В. Кузнецов, М.А. Шеремет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 172 с
46. Baranovsky N. V. Matematicheskoye modelirovaniye naiboleye veroyatnykh stsenariyev i usloviy vozniknoveniya lesnykh pozharov. Dis. kand. fiz.-mat. nauk [Mathematical modeling of the most probable scenarios and conditions of forest fires. Cand. dis.]. Tomsk, 2007. 153 p.
47. Cherepanov A. S., Druzhinina E. G. Spectral properties of plants and vegetation indices. Geomatika [Geomatics], 2009, no. 3, pp. 28-32 (in Russian).
48. Экология. Основы реставрации. В.П. Князева М., 2005.
49. Остапенко Б.Ф. Лесорастительное районирование и классификация типов леса Украины и Молдавии / Б.Ф. Остапенко, И.Ф. Федец, М.С. Улановский // Тр. Харьковского с.-х. института. – 1978. – Т. 258. – С. 6-28.
50. Долгов А.А. Методология оценки лесопожарных рисков // Метериалы международной научно-практической конференции./ Долгов А.А., Сумина Е.Н., Цомаева Д.С. – Москва, 2008.
51. Залесов А.С. Классификация лесных пожаров//Методические указания по курсу «Лесная пирология» для самостоятельной работы студентов очной и заочной форм обучения Направление 250200 «Лесное хозяйство и ландшафтное строительство», 250100 «Лесное дело» Специальности 250201, 250203. Екатеринбург: Изд-о УГЛТУ, 2011. —15 С.
52. Лесные пожары: виды, причины, способы тушения. Справка [Офиц.сайт]. URL: <http://ria.ru/documents/20090414/168056182.html>.
53. Курьянова Т.К., Платонов А.Д., Косиченко Н.Е., Оценка состояния древостоев после лесного пожара, Научный журнал КубГАУ, №70(06), 2011 г

54. Самарский А. А., Вабищевич П. Н. Аддитивные схемы для задач математической физики. – М.: Наука, 2001. – 320 с.
55. Видяев И.Г. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014.
56. Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. — 73 с.
57. Электронный ресурс: прайс-лист фирмы DNS, режим доступа <http://www.dns-shop.ru>.
58. Электронный ресурс: прайс-лист фирмы Комус, режим доступа: <http://www.komus.ru/catalog>.
59. Электронный ресурс: прайс-лист фирмы OffMeб, режим доступа: <http://offmeb.ru/>.
60. Электронный ресурс: офиц.сайт интернет-магазина программного обеспечения AllSoft, режим доступа: <https://allsoft.ru/software/vendors/embarcadero/delphi-2010/>.
61. Электронный ресурс: офиц.сайт компании «АйТи Прогресс», режим доступа: <http://itprogress.ru/products/microsoft/office/2007/>.
62. Еремеева Л.Э. Дипломное проектирование. Экономический раздел [Электронный ресурс] : метод.пособие по вып. эконом. раздела дипломного проектирования: самост. учеб. электрон. изд. / Л. Э. Еремеева ; Сыкт. лесн. ин-т. – Электрон.дан. (1 файл в формате pdf : 1,2 Мб). – Сыктывкар: СЛИ, 2010. — Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com>.
63. Электронный ресурс: тарифы на электроэнергию в Томске и Томской области, режим доступа: http://energovopros.ru/spravochnik/elektrosnabzhenie/tarify-na-elektroenergiju/tomskaya_oblast/39310/.

64. Назаренко О.Б. Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех направлений и специальностей ТПУ // Томск: Изд. ТПУ, 2008. — 20 с.