

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

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

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Математическое моделирование воздействия поражающих факторов            лесного пожара на ветвь кустарника с учетом пиролиза сухого            органического вещества</b>

УДК 519.876:630.435

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ04	Шамсутдинова Инна Рустэмовна		

Руководитель ВКР

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

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сечин Александр Иванович	д.т.н		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ	Максимов Вячеслав Иванович	к.т.н.		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
<b>УК(У)-1</b>	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
<b>УК(У)-2</b>	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
<b>УК(У)-3</b>	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
<b>УК(У)-4</b>	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
<b>УК(У)-5</b>	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
<b>УК(У)-6</b>	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
<b>ОПК(У)-1</b>	Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать критерии оценки
<b>ОПК(У)-2</b>	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
<b>Профессиональные компетенции</b>	
<b>ПК(У)-1</b>	Способен проектировать, методически и консультационно обеспечивать, организовывать и вести учебно-профессиональную, проектную, исследовательскую деятельность обучающихся, в том числе при подготовке выпускной квалификационной работы по образовательным программам с использованием современных образовательных технологий
<b>ПК(У)-2</b>	Способен осуществлять планирование и научное руководство работ в соответствующей области знаний
<b>ПК(У)-3</b>	Способен осуществлять планирование и контроль работ по безопасной эксплуатации и своевременному ремонту оборудования, основываясь на анализе возможности проведения ремонтных и диагностических работ на технологических объектах с учетом режимов работы объектов
<b>ПК(У)-4</b>	Способен осуществлять проектирование и эксплуатацию теплотехнического, тепломеханического, теплообменного основного и вспомогательного оборудования, а также технологических установок, работающих под избыточным давлением, в строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве, в теплоэнергетике, газовой, химической и атомной промышленности
<b>ПК(У)-5</b>	Способен осуществлять анализ режимов работы с формулированием предложений по повышению эффективности деятельности и модернизации предприятий с учетом современных инновационных подходов

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

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

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Максимов В.И.  
 (Подпись)    (Дата)    (Ф.И.О.)

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

В форме:

магистерской диссертации
--------------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ04	Шамсутдиновой Инне Рустэмовне

Тема работы:

Математическое моделирование воздействия поражающих факторов лесного пожара на ветвь кустарника с учетом пиролиза сухого органического вещества
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 31-70/с от 31.01.2022
---------------------------------------------	-------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	07.06.2022
------------------------------------------	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

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

Объект исследования – ветвь кустарника.  
 Требования к продукту – математическая модель влияния лесного пожара на ветвь кустарника с учетом пиролиза. Исходные данные: теплофизические характеристики трех кустарников, начальная температура, температура пожара.

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Аналитический обзор литературы для оценки актуальности и выявления достижений в данной области. Постановка задачи исследования. Выполнение математического моделирования теплопереноса в ветви кустарника при воздействии пожара. Обсуждение результатов. Формулировка выводов.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Спицына Любовь Юрьевна, доцент, к.э.н.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Сечин Александр Иванович, профессор, д.т.н.</p>
<p>Раздел на английском языке</p>	<p>Гончарова Любовь Анатольевна, доцент, к.п.н.</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p>Объект и метод исследования. Типы и характеристики лесных пожаров. Характеристика и классификация лесных горючих материалов. Методы мониторинга лесных массивов.</p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>01.12.2021</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>5БМ04</p>	<p>Шамсутдинова Инна Рустэмовна</p>		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 150 с., 40 рис., 33 табл., 79 источников, 1 прил.

Ключевые слова: лесной пожар, ветвь кустарника, математическое моделирование, системы геомониторинга, пиролиз, лучистый тепловой поток, теплоперенос, термическое повреждение, термическое разложение, пожарная опасность, лесной массив.

Объект исследования – ветвь кустарника.

Цель работы – Математическое моделирование процессов воздействия поражающих факторов лесного пожара на ветвь кустарника с учетом термического разложения сухого органического вещества, для оценки термических повреждений древесины.

В процессе исследования сформулированы математические модели теплопереноса в структуре ветви кустарника. В результате исследования получены распределения температур ветви и определены условия термических поражений.

Основные технологические характеристики: программные реализации математических моделей теплопереноса в слоистой структуре ветви кустарника и оценки термического повреждения, выполнены на языке программирования высокого уровня Pascal.

Степень внедрения: Результаты внедрены в учебный процесс.

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

Экономическая значимость работы заключается в возможности оценки ущерба от лесных пожаров.

В будущем планируется расширить область исследования, написать дополнительные математические модели для других видов ЛГМ.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	9
ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОБЛАСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ	11
1.1 Типы и характеристики лесных пожаров	11
1.2 Характеристика и классификация лесных горючих материалов, в частности, кустарников	14
1.3 Экспериментальные и теоретические исследования сушки лесных горючих материалов	16
1.4 Экспериментальные и теоретические исследования пиролиза лесных горючих материалов	18
1.5 Экспериментальные и теоретические исследования зажигания лесных горючих материалов	20
1.6 Оценка термических поражений древесных растений	23
1.7 Методы мониторинга, оценки и прогнозирования воздействия лесных пожаров на древостои	26
1.8 Системы геомониторинга лесных массивов	28
1.9 Выводы по результатам аналитического обзора литературы	31
ГЛАВА 2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	33
2.1 Объект исследования	33
2.2 Методы исследования	37
2.2.1 Метод конечных разностей	37
2.2.2 Одномерная задача теплопроводности	37
2.2.3 Двумерная задача теплопроводности	38
2.2.4 Задача теплопроводности с учетом химической реакции в материале	40
2.2.5 Решение задачи теплопроводности для двухслойной пластины	41
ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	42

3.1 Двумерная задача теплопереноса в ветви кустарника при воздействии поражающих факторов лесного пожара с учетом структурной неоднородности ветви	42
3.1.1 Физическая и геометрическая модель	42
3.1.2 Математическая модель	43
3.1.3 Сценарий моделирования	44
3.1.4 Результат численного моделирования	48
3.1.5 Выводы	54
3.2 Двумерная задача тепломассопереноса в ветви кустарника при воздействии поражающих факторов лесного пожара с учетом структурной неоднородности и термического расположения сухого органического вещества	55
3.2.1 Физическая и геометрическая модель	55
3.2.2 Математическая модель	57
3.2.3 Сценарий моделирования	58
3.2.4 Результат численного моделирования	61
3.2.5 Сравнение полученных результатов	70
3.2.5 Выводы	71
3.3 Двумерная задача теплопереноса в ветви кустарника при воздействии поражающих факторов лесного пожара с учетом структурой неоднородности, термического разложения сухого органического вещества и изменения температуры по длине	73
3.3.1 Физическая и геометрическая модель	73
3.3.2 Математическая модель	74
3.3.3 Сценарий моделирования	76
3.3.4 Результат численного моделирования	79

3.3.5 Выводы	92
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	95
Введение	95
4.1 Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	95
4.1.1 Потенциальные потребители	95
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений	96
4.1.3 SWOT – анализ	98
4.1.4 Оценка готовности к коммерциализации	100
4.2 Инициация проекта	103
4.3 Планирование управления научно-техническим проектом	105
4.4 Бюджет научного исследования	108
4.5 Определение эффективности исследования	111
Выводы по разделу	113
5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	117
Введение	117
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	117
5.2 Производственная безопасность	119
5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	120
5.2.2 Обоснование мероприятий по снижению воздействия	124
5.3 Экологическая безопасность	125
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	125
Выводы по разделу	126
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	128
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	129
Приложение А	137

## ВВЕДЕНИЕ

Леса представляют собой национальное богатство России. Площадь, покрытая лесом, составляет 1254 млн. га, или 22,5% от площади и 23,9% от запаса древесины лесов всего мира [1,2,3].

В результате лесных пожаров в атмосферу выбрасывается большое количество продуктов пиролиза и горения ЛГМ, что загрязняет ее. Также, лесные пожары приводят к увеличению содержания углекислого газа в атмосфере [4], что способствует глобальному потеплению.

Лесные пожары являются чрезвычайно сложным и разрушительным природным явлением, возникновение и развитие которых зависят от многих факторов, например, от запаса и влагосодержания лесных горючих материалов, метеорологических условий, рельефа местности. Общей целью исследования является более глубокое понимание воздействия поражающих факторов пожара на ветвь кустарника.

Лесной слой является структурно неоднородным, поэтому для создания полной картины необходимо учитывать его неоднородность. Исследование ветвей, позволяет получить реальные данные [5].

Существует четыре направления борьбы с лесными пожарами: лесопожарная опасность, прогнозирование распространения фронта горения [6], тушение пожаров [7], и локализация источника горения [8].

В ходе изучения литературы по теме, было выявлено, что математические модели влияния лесного пожара на ветвь кустарника отсутствуют.

В работе предложены три математические модели влияния лесного пожара на ветвь кустарника с учетом неоднородности ветви и термического разложения сухого органического вещества.

Разработанные модели могут быть использованы для решения проблем оценки экологических последствий лесных пожаров в лесных массивах с развитым кустарничковым ярусом.

Также предложенные модели могут быть использованы для мониторинга и прогнозирования [9] возникновения термических поражений и отпада растительности в кустарничковом ярусе.

Цель работы – Математическое моделирование процессов воздействия поражающих факторов лесного пожара на ветвь кустарника с учетом термического разложения сухого органического вещества, для оценки термических повреждений древесины.

Задачи исследования, используемые для достижения поставленной цели:

1. Аналитический обзор литературы с целью оценки современного состояния в области мониторинга и прогнозирования экологических последствий лесных пожаров.

2. Формулировка физической модели теплового воздействия лесного пожара на ветвь кустарника.

3. Формулировка математической модели тепломассопереноса в элементе лесного горючего вещества (ветвь кустарника) в условиях воздействия поражающих факторов лесного пожара.

4. Разработка алгоритма и программная реализация математической модели тепломассопереноса в элементе лесного горючего материала при воздействии поражающих факторов лесного пожара.

5. Верификация модели и программы с использованием известных данных.

6. Численное исследование тепломассопереноса в элементе лесного горючего материала при воздействии поражающих факторов лесного пожара с использованием сценарного подхода.

7. Формулировка выводов и рекомендаций по результатам проведенного исследования.

## **ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОБЛАСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **1.1 Типы и характеристики лесных пожаров**

Под лесным пожаром принято понимать явление неуправляемого горения, который происходит в несколько стадий, в открытом пространств. В условиях лесного пожара имеют место тепломассообменные процессы такие как конвекция, теплопроводность и излучение, а также процессы нагревания, сушки и пиролиза ЛГМ [10].

По составу лесного массива, а также по характеру возгорания, пожары подразделяются на три типа [11]:

- низовые;
- верховые;
- почвенные.

Основным признаком низового (рисунок 1.1.1) пожара является характерное распределение огня по напочвенному покрову, огонь как бы стелется по лесной подстилке. В данном случае происходит горение опавшей листвы, ветвей, коры и травы. Низовые пожары по скорости распространения огня низовые пожары бывают беглые и устойчивые [12].



Рисунок 1.1.1 - Низовой пожар. [12]

Беглый низовой пожар имеет большую скорость распространения, которая достигает – 180-300 м/ч и существенно зависит от скорости ветра в приземном слое. Происходит сгорание лесной подстилки на несколько сантиметров. При данном типе пожара страдают участки с низкой влажностью, в свою очередь, участки имеющие высокую влажность не подвергаются воздействию пожара [12].

При устойчивом низовом пожаре происходит полное сгоранием напочвенного покрова и лесной подстилки. Наносятся серьезные повреждения лесному массиву, некоторые деревья погибают. Скорость распространения бывает различна, определяется рядом фактором и составляет от нескольких метров до 180 м/ч [12].

Основным признаком верхового (рисунок 1.1.2) пожара является то, что пожар поражает кроны деревьев, происходит их горение. Аналогично с рассмотренным ранее пожаром, верховой пожар подразделяется на беглый и устойчивый. В зависимости от направления ветра, а также его скорости беглый верховой пожар перемещается по кронам деревьев и имеет большую скорость распространения, в свою очередь при устойчивом пожаре огонь распространяется от подстилки до крон деревьев и поражению подвержены отдельные деревья. Скорость верховых пожаров значительно больше скорости низовых и составляет для устойчивого – 300-1500 м/ч, а для беглого 4500 и более м/ч [12].



Рисунок 1.1.2 - Верховой пожар [12].

Почвенный пожар (рисунок 1.1.3) возникает тогда, когда низовой пожар проникает в глубь лесной подстилки и в торфяной слой почвы. Имеет минимальную скорость распространения, которая составляет менее 1 м/ч. Наносятся повреждения корням деревьев, в результате чего деревья падают [12].



Рисунок 1.1.3 - Почвенный пожар [12].

Все рассмотренные виды пожара наносят существенный ущерб лесным массивам, но в зависимости от погодных условий, масштаб повреждений будет различный.

## **1.2 Характеристика и классификация лесных горючих материалов, в частности, кустарников**

Взаимодействие между огнем, составом и структурой ЛГМ, другими особенностями ландшафта и климатическими условиями является основным фактором, определяющим пространственно-временную динамику лесного пожара [13, 14].

Слой ЛГМ имеет неоднородную структуру, что оказывает существенное влияние на возникновение лесных пожаров [15].

Для возникновения лесного пожара необходимо обязательное наличие трех факторов влияния [16]:

- горючих материалов,
- источника огня,
- соответствующих погодных условий.

Под ЛГМ принято понимать наличие органической массы, которая способна воспламениться в определенный момент времени.

Список наиболее распространенных ЛГМ насчитывает 9 групп [10]:

1. Лишайники и мхи. Оказывают существенное влияние на возникновение лесного пожара в том случае, когда они преобладают в напочвенном покрове. Обладают достаточно высокой влагоемкостью, при этом быстро высыхают, а благодаря своей структуре, в случае возникновения пожара, способствуют его быстрому распространению.

2. Кустарнички и травы. В зоне тайги распространены не меньше, чем первая группа. Чаще встречаются в непокрытых лесом площадях.

3. Подлесок и подрост. Образуют достаточно густой ярус, который оказывает существенное пирологическое влияние. Роль подлеска, с точки зрения влияния на силу лесного пожара, не до конца изучена.

4. Опад. Опад принято рассматривать, как составную часть комплекса напочвенных горючих материалов. Количество опада обычно определяют как соотношение двух скоростей, скорости поступления опада и скорости превращения его в подстилку.

5. Подстилка. Подстилка-это верхний слой почвы, который состоит из отмерших частей различных растений. Подстилка длительное время сохраняет в себе влагу, ее высыхание происходит постепенно, слоями.

6. Валежник и пни. Валежник-это деревья, упавшие в следствии каких-то воздействий, либо отмершие, в следствии естественного процесса. В качестве горючего материала, пни рассматриваются для вырубков. При низовых пожарах древесина на отдельных пнях и валежниках не сгорает.

7. Торф. Как горючий материал торф чаще всего встречается в болотистой местности, в заболоченных лесах. Процесс протекания пожаров в болотистой местности существенно отличается от пожара в обычном лесу.

8. Полог древостоя. В случае верхового пожара сгорают: хвоя, листья, тонкие живые и отмершие веточки.

9. Стволы и крупные ветви деревьев. Составляют большую часть фитомассы леса. Чаще всего происходит так, что при пожаре они сгорают довольно-таки редко. После пожара древостои гибнут, обгорает кора, но при этом полного сгорания не происходит.

В разное время года опасность появления пожара не одинакова. Подавляющее число лесных пожаров падает на летнее и весеннее время [17].



Рисунок 1.2.1 - Горение кустарника. [<https://www.clba.org/category/clb-blog/page/23/>]

Горение кустарника схоже с горением при верховых пожарах. Огонь может распространяться по листьям и мелким веткам, при этом более крупные части кустарника могут воспламениться позже при изменении условий.

Тепловая энергия в виде излучения или конвекции может нагреть весь кустарник до температуры самовоспламенения, и оно «взорвется» пламенем [18].

### 1.3 Экспериментальные и теоретические исследования сушки лесных горючих материалов

Экспериментальные исследования сушки лесных горючих материалов.

Испарение свободной и связанной влаги в лесных горючих материалах.

Такой процесс, как испарение влаги является лимитирующей стадией горения ЛГМ при лесных пожарах. Учет влаги необходим для получения приближенных к реальности данных. Также для того, чтобы осуществлять мониторинг лесных массивов нужна информация о влаге, содержащейся в ЛГМ [19].

При математическом моделировании лесного пожара процесс сушки ЛГМ описывается законом

$$\frac{dm}{dt} = \frac{AmSM}{\sqrt{2\pi MRT}} p_0 \exp\left(-\frac{E_2}{RT}\right), \quad (1.3.1)$$

где  $m$ -масса,  $S$ -площадь поверхности,  $M$ -молекулярная масса воды,  $A$ -коэффициент аккомодации,  $E_2$ -эффективная теплота испарения,  $p_0$ -термическое давление влаги,  $R$ -универсальная газовая постоянная,  $T$ -абсолютная температура.

С применением математического моделирования можно осуществлять прогнозирования пожарной опасности, для этого используется информация о законах испарения воды в ЛГМ при низкотемпературной сушке, под воздействием факторов окружающей среды.

Испарение влаги в слое лесных горючих материалов.

Математическое моделирование задачи, относящейся к сушке лесных горючих материалов, является одним из способов, применяемых при прогнозировании и мониторинге лесных пожаров. Сама по себе задача математического моделирования включает в себя две задачи: тепломассообмена напочвенного покрова и приземного слоя атмосферы [20].

Для создания математической модели нужна информация о количественных значениях теплокинетических постоянных сушки ЛГМ [20]. Испарение влаги в слое ЛГМ подчиняется закону [21]

$$\frac{dm}{dt} = \frac{A(m-m_1)SM}{\sqrt{2\pi MRT}} \left[ p_0 \exp\left(-\frac{E_2}{RT}\right) - p_e \right], \quad (1.3.1)$$

где  $m$ -масса ЛГМ,  $m_1$ -масса высушенного ЛГМ,  $S$ -площадь поверхности,  $M$ -молекулярная масса воды,  $A$ -эмпирический коэффициент,  $E_2$ -эффективная теплота испарения,  $p_0$ -термическое давление влаги,  $R$ -универсальная газовая постоянная,  $T$ -абсолютная температура,  $p_e$ -парциальное давление паров воды.

Эксперимент осуществлялся при изотермических условиях для различных температур с хвоинками ели, кедра и сосны, при помещении образцов в сушильный шкаф. Уменьшение массы каждого из образцов определялась путем их взвешивания [19].

Теоретические исследования.

Приближенное математическое описание сушки ЛГМ.

В источнике [20] приведена математическая модель сушки ЛГМ. В данной модели учтен тепломассообмен между ЛГМ и приземным слоем атмосферы по закону Герцена-Кнудсена. Модель реализуется с учетом солнечного излучения и испарения воды в свободном и связанном виде. Недостатком такой модели является то, что для ее реализации необходимо большое количество констант, а также дифференциальных уравнений.

В статье [22] представлены результаты экспериментальных исследований процессов тепломассообмена древесной биомассы в период тепловой подготовки ее к сжиганию в топках паровых и водогрейных котлов, также произведена оценка энергозатрат на сушку древесины. Представленные эксперименты проводились на оборудовании, которое обеспечивает достаточно низкий уровень погрешности измерения основных характеристик процесса обезвоживания ЛГМ. Установлены массовые скорости влагопоглощения при различных температурах сушильного агента, в роли

которого выступает воздух. Выяснено, что время сушки почти не зависит от вида биомассы.

#### **1.4 Экспериментальные и теоретические исследования пиролиза лесных горючих материалов**

Математическая модель пожаров содержит в своем составе уравнения химической кинетики, которые описывают пиролиз ЛГМ.

В источнике [23] приведены экспериментальные и теоретические исследования пиролиза ЛГМ.

Для опыта использовался прибор - дериватограф. В исследовании использовался метод динамической термогравиметрии, который подробно описан в источнике [24]. Объектом исследования: кустарники, хвоя и листва, лишайники и мхи, травы. Скорость нагрева в проводимых опытах составила 0,083 К/с.

В результате анализ термогравиметрических кривых выяснено, что зоны изменения массы образцов можно разделить на две группы:

- низкотемпературную – зону сушки,
- высокотемпературную – зону пиролиза.

Рассмотрены кинетические схемы сушки и пиролиза, в следствие чего получены зависимости. Также было выяснено, что кинетическая схема и модель пиролиза отличаются от сушки тем, что содержат в своем составе коксовое число –  $\alpha$  [23]. Данный параметр определяется структурой и составом ЛГМ, является кинетическим. Чтобы информация о коксовом числе была достоверной, эксперименты должны проводиться в инертной среде.

Допущения, используемые при выражении термокинетических параметров сушки и пиролиза [23]:

- 1) Такие процессы, как пиролиз и сушка ЛГМ протекают независимо друг от друга;
- 2) Пиролиз протекает независимо от окисления газообразных продуктов пиролиза фронта пожара;

3) Реализуемые в лабораторных условиях темпы нагрева ЛГМ, позволяют получить термокинетические постоянные, которые описывают реальный процесс.

Приведенная в источнике [23] математическая модель, описывает пиролиз ЛГМ.

Анализируя современные представления о пиролизе лесных горючих материалов [25-27] становится ясно, что типичные температуры начала термического разложения ФКМ лежат в пределах 350-500 К.

Для моделирования в [28] принимается максимальная температура из рассматриваемого диапазона – 500К. В случае снижения температуры ЛГМ ниже этого значения рассматривалось как прекращение разложения. В источнике [28] подробно изложен процесс задания параметров для математической модели.

Уравнения энергетического баланса для лесного горючего материала ( $0 < x < H, 0 < y < y_1$ ):

$$\rho_3 C_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = \lambda_3 \left( \frac{\partial^2 T_3}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial y^2} \right) + Q_3 W_3. \quad (1.4.1)$$

Уравнение для реакции пиролиза материала ( $0 < x < H, 0 < y < y_1$ ):

$$\frac{d\varphi_3}{dt} = (1 - \varphi_3) k_3^0 \exp\left(-\frac{E_3}{RT_3}\right). \quad (1.4.2)$$

Для капель воды уравнение теплового баланса будет иметь вид ( $0 < x < x_1, x_2 < x < H, y_1 < y < y_2$ ):

$$\rho_2 C_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \left( \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial y^2} \right). \quad (1.4.3)$$

Диффузия продуктов пиролиза ( $x_1 < x < x_2, y_1 < y < y_2, 0 < x < H, y_2 < y < L$ ):

$$\frac{\partial c_f}{\partial t} = D_{11} \left( \frac{\partial^2 c_f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c_f}{\partial y^2} \right). \quad (1.4.4)$$

Диффузия водяного пара в продукте сгорания ( $x_1 < x < x_2, y_1 < y < y_2, 0 < x < H, y_2 < y < L$ ):

$$\frac{\partial c_v}{\partial t} = D_{12} \left( \frac{\partial^2 c_v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c_v}{\partial y^2} \right). \quad (1.4.5)$$

Граничные условия [28]:

$$\begin{aligned}
 x = 0, x = H, 0 < y < y_1, \frac{\partial T_3}{\partial x} &= 0 \\
 x = 0, x = H, y_1 < y < y_2, \frac{\partial T_2}{\partial x} &= 0 \\
 x = 0, x = H, y_2 < y < H, \frac{\partial T_1}{\partial x} = 0, \frac{\partial C_v}{\partial x} = 0, \frac{\partial C_f}{\partial x} &= 0 \\
 y = 0, 0 < x < H, \frac{\partial T_3}{\partial y} &= 0 \\
 y = y_1, 0 < x < x_1, x_2 < x < H, -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial y} - Q_3 W_3 - Q_2 W_2 = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial y} \\
 y = y_1, x_1 < x < x_2, -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial y} - Q_3 W_3 = -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial y}, \frac{\partial C_f}{\partial y} = \frac{W_3}{\rho_{11} D_{11}}, \frac{\partial C_v}{\partial y} &= 0 \\
 x = x_1, x = x_2, y_1 < y < y_2, -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} - Q_2 W_2 = -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x}, \frac{\partial C_v}{\partial x} = \frac{W_2}{\rho_{12} D_{12}}, \frac{\partial C_f}{\partial x} &= 0 \\
 y = y_2, 0 < x < x_1, x_2 < x < H, -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial y} - Q_2 W_2 = -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial y}, \frac{\partial C_v}{\partial y} \\
 &= \frac{W_2}{\rho_{12} D_{12}}, \frac{\partial C_f}{\partial y} = 0 \\
 y = L, 0 < x < H, \frac{\partial^2 T_2}{\partial y^2} = 0, \frac{\partial^2 C_v}{\partial y^2} = 0, \frac{\partial^2 C_f}{\partial y^2} &= 0
 \end{aligned}$$

### 1.5 Экспериментальные и теоретические исследования зажигания лесных горючих материалов

Экспериментальное исследование зажигания от радиационной панели

Определяется вес образца при естественной влажности происходит их сушка в сушильном шкафу до абсолютно сухого состояния (при температуре 105 °С) [29].

В по полученным результатам было установлено, что при критических значениях плотности лучистого теплового потока, при которых будет происходить воспламенение хвой сосны, является значение равное 20 кВт/м<sup>2</sup>. Данные экспериментальные исследования можно применять для повышения уровня противопожарной устойчивости лесных массивов. Порядок, по

которому определяются характеристики ЛГМ в лабораторных условиях, регламентируется нормативными правовыми актами [30].

Экспериментальное исследование зажигания от оптической линзы

Измерен тепловой поток концентрируемой линзой сфокусированного солнечного излучения. В экспериментах использовалась тщательно высушенная хвоя, частично разложившаяся [31].

Было выяснено, что самой первой кратковременной стадией является инертный прогрев ЛГМ. Следующим этапом стал пиролиз хвои, то есть термическое разложение. Выявлено условие, необходимое для зажигания: очаг термического разложения формируется на поверхности нагрева в диаметре равном не менее 1 см.

Результаты экспериментов можно разделить на три группы:

а) при ветре, со скоростью до 3 м/с;

Формируется очага тления, который с течением определенного времени прекращает разрастаться и затухает.

б) метеорологические условия, при ветре, имеющем скорость от 3 до 4 м/с;

С течением времени происходит рост очага тления. Процесс воспламенения носит случайный характер.

в) скорость ветра 4 м/с и более.

Характерен рост очага тления с течением времени. Возгорание в данном случае является устойчивым.

Теоретические исследования.

Процесс зажигания лесных горючих материалов потоком солнечного излучения можно описать системой уравнений нестационарной теплопроводности, с соответствующими начальными и граничными условиями [32]. Далее в [33] приведена численная реализация с использованием метода конечных разностей. Алгоритм протестирован на задачах теплопроводности [34].

Суть исследования состоит в том, чтобы определить нижний предел, при котором происходит возгорание ЛГМ. Нижний предел по результатам

численного исследования составил  $15 \text{ кВт/м}^2$ , что в 10 раз превышает значение несфокусированного теплового потока солнечной радиации [35].

На основании исследований можно сделать вывод о том, что вероятность возгорания сухих ЛГМ является достаточно большой в случае воздействия на них концентрата солнечного излучения.

Также производилось моделирование влияния лесного пожара на клетку дерева. В результате моделирования была определена вероятность возгорания клетки в определенный момент времени [36].

Вероятность того, что какая-то клетка не окажется восприимчива к огню, прямо противоположна:  $1-p(1-p_t)$ , где  $p_t$  -это средняя доля занятых ячеек в квазистационарном состоянии, в данном случае равно 0,41 [37].

Следовательно, вероятность того, что она не стала восприимчивой за время, прошедшее с момента последнего пожара, соответствующая временным шагам, заключается в том, что каждый временной шаг представляет собой независимое испытание [37].

Вероятность возгорания, которая появляется для клетки через год после того, как она сгорела в последний раз, определяется таким образом:

$$Pr_i(a) = 1 - [1 - p(1 - p_t)]^a. \quad (1.5.1)$$

Данное уравнение позволяет производить математическое моделирование, при этом единственная информация, которая должна храниться в ячейке – это время, прошедшее с момента последнего пожара, которое увеличивается в каждом цикле моделирования.

В источнике [15] приведена математическая модель зажигания ЛГМ разогретой частицей.

Уравнения энергии:

$$\rho_1 c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + \lambda_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2}, \quad (1.5.2)$$

$$\rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + \lambda_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial z^2} - q_p k_0 \varphi \rho_2 \exp\left(-\frac{E}{RT_2}\right), \quad (1.5.3)$$

$$\rho_3 c_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = \lambda_3 \frac{\partial^2 T_3}{\partial x^2} + \lambda_2 \frac{\partial^2 T_3}{\partial z^2} - q_p k_0 \varphi \rho_3 \exp\left(-\frac{E}{RT_3}\right), \quad (1.5.4)$$

Граничные условия:

- с воздушной средой

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial z} = \alpha(T_1 - T_e), \quad (1.5.5)$$

- частица – ЛГМ

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial z} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial z}, T_1 = T_2, \quad (1.5.6)$$

- частица – включение

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial z} = \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial z}, T_1 = T_3, \quad (1.5.7)$$

- ЛГМ – включение

$$\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial z} = \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial z}, T_2 = T_3, \quad (1.5.8)$$

$$\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} = \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial x}, T_2 = T_3, \quad (1.5.9)$$

Начальные условия:

$$t=0, T_i = T_{i0}, i=1,2,3.$$

где  $T_i$ -температура (1-нагретая частица, 2-слой лесного топлива, 3-включение в слой лесного топлива);  $T_c$  – температура почвы;  $t_e$  – температура окружающей среды;  $\rho_i, c_i, \lambda_i$  – плотность, теплоемкость и теплопроводности (1 - с подогревом частиц, 2 – лесной топлива слой, 3 – включения в лес топливного слоя);  $t$  - время;  $X, Z$  - пространственные координаты;  $Q_{\text{п}}$  - тепловой эффект пиролиза;  $K_0$  - пиролиз-предэкспоненциальный множитель;  $E$  – энергия активации пиролиза;  $R$  - универсальная газовая постоянная.

Такая модель может быть применена для организации систем прогнозирования зажигания ЛГМ.

## 1.6 Оценка термических поражений древесных растений

При прохождении лесного пожара повреждения древесных растений носят весьма различный характер. Ущерб, наносимый лесным пожаром может быть, как незначительным, так и глобальным.

Бывает такое, что в ходе пожара у дерева происходит ожег корневой системы, либо возможно закопчение ствола, но при этом крона дерева осталась целой и по внешним признакам не отличается от остальных деревьев,

не затронутых огнем, в таком случае оценить его жизнеспособность довольно сложно [38]. Существующие методики оценки состояния деревьев, которые были повреждены в результате воздействия огня, основным критерием, позволяющим определить жизнеспособность таких деревьев, является использование камбиального слоя [39]. Такой показатель является достаточно объективным и дает возможность с высокой точностью дать прогноз о вероятности усыхания дерева в ближайший вегетационный период. Данный метод не считается оперативным, в виду того, что его практически невозможно использовать в условиях производства в связи с его трудоемкостью и необходимостью существенного травмирования дерева [40].

Как говорится в источнике [41], в течение 2, 3 лет, большинство деревьев, которые повреждены огнем, на расстоянии, измеряемом в десятках метров по периметру горельников, отмирает, при этом в первый год зеленая крона сохраняется. Обобщая сказанное, можно сделать вывод, что имеет место проблема по реализации точной оценки жизнеспособности поврежденных древостоев.

Для того, чтобы оценить физиологическое состояние деревьев были использованы хорошо апробированные методики, в основе которых лежит определение биоэлектрических показателей дерева [42,43], а также измерения градиента температуры древостоя и окружающей среды, в которой находится дерево [41]. Из внешних признаков, необходимых для оценки повреждений были взяты: высота закопчения ствола и глубина прогара коры. Изучались деревья, которые имеют следы повреждения огнем, но сохранившие зеленую крону.

В ходе анализа были выявлены закономерности, которые можно применить для оптимизации существующих методов оперативной диагностики состояния деревьев, которые были подвержены кратковременному воздействию огня:

1. Состояние деревьев и величина нагара на стволе имеют прямую зависимость.

2. Более тесная связь обнаружена между состоянием опаленного дерева и глубиной прогара толстой коры.

3. Из приборных методов оценки состояние дерева наиболее точные данные дает метод определения градиента температур. То есть, чем ниже температура дерева в сравнении с температурой воздуха (оценка происходит в теплый летний день), тем лучше состояние дерева.

4. Устойчивость деревьев сосны к огню прямо пропорциональна возрасту дерева и толщине коры.

По экспериментальным данным [25, 44] и результатам [45], можно описать состояние среды в зоне лесного пожара. При выводе уравнений, начальных и граничных условий принимаются допущения [46]:

1. Лес среда многофазная, неоднородная.
2. В зоне пожара лес – среда пористо-дисперсная, двухтемпературная.
3. Лесной полог – среда недеформируемая.

Система уравнений имеет вид:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho v_j) = \dot{m}, j=1,2,3; i=1,2,3; \quad (1.6.1)$$

$$\rho \frac{dv_i}{dt} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{v_i v_j}) - \rho s c_d v_i |\vec{v}| - \rho g_i - \dot{m} v_i; \quad (1.6.2)$$

$$\rho c_p \frac{dT}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho c_p v_j \overline{T'}) + q_5 R_5 - \alpha_v (T - T_s) + k_g (c U_R - 4\sigma T^4); \quad (1.6.3)$$

$$\rho \frac{dc_\alpha}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{v_j' c_\alpha'}) + R_{5\alpha} - \dot{m} c_\alpha, \alpha = 1,3; \quad (1.6.4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_j} \right) - k c U_R + 4k_s \sigma T_s^4 + 4k_g \sigma T^4 = 0, k = k_s + k_g; \quad (1.6.5)$$

$$\sum_{i=1}^4 \rho_i c_{pi} \varphi_i \frac{\partial T_s}{\partial t} = k_s (c U_R - 4\sigma T_s^4) + q_3 R_3 - q_2 R_2 + \alpha_v (T - T_s); \quad (1.6.6)$$

$$\rho_1 \frac{\partial \varphi_1}{\partial t} = -R_1, \rho_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial t} = -R_2, \rho_3 \frac{\partial \varphi_3}{\partial t} = -\alpha_c R_1 - \frac{M_c}{M_1} R_3, \rho_4 \frac{\partial \varphi_4}{\partial t} = 0. \quad (1.6.7)$$

Начальные и граничные условия, используемые при решении системы уравнений:

$$t=0: v_1 = 0, v_2 = 0, v_3 = 0, T = T_e, c_\alpha = c_{\alpha e}, \quad (1.6.8)$$

$$T_s = T_{se}, \varphi_i = \varphi_{ie};$$

$$x_1 = -x_{1e}: v_1 = V_e, v_2 = 0, v_3 = 0, T = T_e, c_\alpha = c_{\alpha e}, \quad (1.6.9)$$

$$-\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_1} + \frac{c}{2} U_R = 0;$$

$$x_1 = x_{1e}: \frac{\partial v_1}{\partial x_1} = 0, \frac{\partial v_2}{\partial x_1} = 0, \frac{\partial v_3}{\partial x_1} = 0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_1} = 0, \quad (1.6.10)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x_1} = 0, \frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_1} + \frac{c}{2} U_R = 0;$$

$$x_2 = x_{20}: \frac{\partial v_1}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial v_2}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial v_3}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_2} = 0, \quad (1.6.11)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x_2} = 0, -\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_2} + \frac{c}{2} U_R = 0;$$

$$x_2 = x_{2e}: \frac{\partial v_1}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial v_2}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial v_3}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_2} = 0, \quad (1.6.12)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x_2} = 0, \frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_2} + \frac{c}{2} U_R = 0;$$

$$x_3 = 0: v_1 = 0, v_2 = 0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_3} = 0, -\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_3} + \frac{c}{2} U_R = 0; \quad (1.6.13)$$

$$v_3 = 0, T = T_g,$$

$$v_3 = v_{30}, T = T_e.$$

$$x_3 = x_{3e}: \frac{\partial v_1}{\partial x_3} = 0, \frac{\partial v_2}{\partial x_3} = 0, \frac{\partial v_3}{\partial x_3} = 0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_3} = 0, \quad (1.6.14)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x_3} = 0, \frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_3} + \frac{c}{2} U_R = 0;$$

Результаты расчетов дают возможность описать условия распространения лесных пожаров с учетом погодных условий, а также оценить состояние лесных горючих материалов, что дает возможность дать оценку термических поражений древесины, осуществить мониторинг лесных массивов.

## 1.7 Методы мониторинга, оценки и прогнозирования воздействия лесных пожаров на древостой

В наше время пожарные службы могут прогнозировать степень пожарной опасности лесных пожаров или конкретные погодные условия. [47]

Комплексный показатель В.Г. Нестерова используется для того, чтобы осуществлять оценку пожарной опасности, с учетом от погодных условий, он учитывает все основные факторы, влияющие на пожарную опасность ЛГМ.

Комплексный показатель определяется

$$КП_H = \sum_1^n T_0(T_0 - \tau), \quad (1.7.1)$$

где  $T_0$  — температура (в градусах) воздуха на 14 часов по местному времени;  $\tau$  — точка росы на 14 часов (дефицит влажности);  $n$  — число дней после последнего дождя [48].

При рассмотрении случая, когда осадков выпадает более 3 мм за один или же несколько дней, идущих подряд, определение комплексного показателя начинают с нуля, при этом принимают, что первым днем будет последний день, при котором выпадали осадки.

После определения комплексного показателя, по полученному значению, определяют класс пожарной опасности. Выделяют 5 классов пожарной опасности погоды [48]:

I класс:  $K$  от 0 до 300 — это класс, при котором пожарная опасность отсутствует;

II класс:  $K$  от 301 до 1000 — при этом классе пожарная опасность мала;

III класс:  $K$  от 1001 до 4000 — пожарная опасность носит средний характер;

IV класс:  $K$  от 4001 до 10 000 - высокая пожарная опасность;

V класс:  $K$  более 10 000 — это последний класс, пожарная опасность максимальна, то есть чрезвычайная опасность [49].

Показатель Нестерова самый распространенным для определения горимости при пожаре. Пожарная опасность в лесу зависит от ряда факторов: от засухи, от количества источников огня, и от характера растительности. Поэтому, при одном и том же значении показателя, возможен разный класс пожарной опасности как в одном районе, так и в различных районах не только в один период, но и в разные периоды сезона. В виду этого, в системах мониторинга используется информация, получаемая с различных источников [48, 50].

Методы дистанционного зондирования поверхности Земли из космоса, а также с самолетов, которые нашли применение на практике, используются для решения следующих задач [51]:

- 1) оценки степени пожарной опасности;
- 2) определения естественных преград, встречающихся при тушении очагов пожара;
- 3) обнаружения крупных очагов, при сильном задымлении территории;
- 4) определения энергетических параметров пожара;
- 5) оценки ущерба, нанесенного лесным массивам в результате пожара [52].

Во внимание должны приниматься результаты пожаров и их воздействие на лесообразовательный процесс, для организации лесного хозяйства, однако и по сей день это затруднено из-за нехватки доступных, надежных, с технической точки зрения и экономически эффективных методов для единовременной оценки состояния лесов от влияния пожаров, на территории крупных лесных массивов. Наиболее перспективным на данном этапе является применение систем, работающих с использованием дистанционных технологий [52].

### **1.8 Системы геомониторинга лесных массивов**

Основными системами для осуществления мониторинга лесных массивов служат системы дистанционного зондирования Земли. Такие системы необходимы для решения хозяйственных и экологических проблем, в том числе проблем возникновения и протекания лесных пожаров. Системы мониторинга лесных массивов позволяют получать точную информацию о состоянии лесов. Качественно организованный мониторинг лесных массивов дает возможность быстрого реагирования и решения задач, связанных с охраной леса от пожаров [53].

В России леса занимают значительную часть территории, а значит важно осуществлять мониторинг на высоком уровне [53]. Снимки космических спутников среднего разрешения способны дать информацию для выявления

крупных нарушений. Снимки высокого уровня разрешения используют для детального рассмотрения лесных площадей.

Препятствиями для получения достоверных данных о степени нарушения природных ландшафтов на основании картографических материалов, может стать отсутствие достоверных картографических материалов.

Если использовать при изучении лесных массивов только общегеографические карты или только космические снимки среднего разрешения, то невозможно получить точные данные. Использование космических снимков высокого разрешения имеет высокую стоимость, что не дает использовать их повсеместно.

В литературе предлагаются различные схемы мониторинга среды. Например, схема мониторинга геологической среды по В.К.Епишину и В.Т.Трофимову приведена на рисунке 1.8.1. Основными частями системы являются блоки управления и контроля, которые соединены каналами передачи информации, а также система инженерной защиты и автоматизированная информационная система [54].



Рисунок 1.8.1 - Структурная схема мониторинга среды.

Данная схема является достаточно простой. И дает поверхностную характеристику системам мониторинга среды.

Современные технологии предлагают большое количество программных средств мониторинга среды, которые могут быть реализованы при рассмотрении мониторинга лесных массивов.

При обработке данных используются методы, возможные к реализации с применением ГИС ArcInfo, ArcView с модулем Spatial Analyst и других. В них возможно определение объектов и их подсчет, а также построение статистических поверхностей с использованием различных данных, создание картографических модулей.

С использованием компьютерных технологий, оперативная обработка материалов, позволяет получать актуальную информацию, которую можно использовать в различных случаях [54]:

- Актуализация информационных данных;
- Оценка геологических процессов;
- Картографирование лесов, контроль за их состоянием;
- Контроль и обнаружение чрезвычайных ситуаций.

Сбор данных при мониторинге лесных массивов является основным направлением. Для этого используются камеры сверхвысокого разрешения. Продолжается разработка новейших баз данных и программных средств, необходимых для осуществления мониторинга.

В Словацкой Республике основополагающим принципом картографирования служит геобиоценологическая классификация лесов. Данная классификация является наиболее детальной, вытекает из эволюционных, показательных и дифференцирующих принципов растительности. В результате классификации, можно получить типовую модель, определяющую сходные районы, что упрощает процесс осуществления геомониторинга [55].

Также проводятся исследования дистанционного зондирования Земли в Монголии, по данным Landsat TM и ETM+, позволяющие производить

классификацию типов лесного покрова, с использованием объектно-ориентированных методов при анализе изображений. Такой подход позволяет выявить лесную и не лесную зоны, определить тип растительности, преобладающей в данном лесном массиву. По итогам исследований точность таких карт составила почти 94%. С использованием данного метода было выявлено, что на территории, которая подвергалась исследованию за 2000-2016 годы, произошли крупные пожары, общая площадь которых составила 106500 га [56].

Таким образом, современные системы мониторинга являются автоматизированными, многоцелевыми и широко направленными, способными отслеживать качество окружающей среды и лесных массивов.

### **1.9 Выводы по результатам аналитического обзора литературы**

В результате выполненного анализа литературы по теме исследования можно сделать следующие выводы:

-Рассмотрена классификация лесных пожаров в зависимости от их температуры и скорости распространения, все эти пожары наносят разный по степени ущерб лесным массивам, но во всех случаях ущерб значительный. Для того, чтобы предупредить возникновение пожара, в местах где вероятность его возникновения выше, осуществить мониторинг последствий пожара необходимо совершенствовать системы геомониторинга, с использованием математического моделирования.

-Приведена классификация лесных горючих материалов, в том числе кустарников.

-Изучена литература по сушке и зажиганию ЛГМ. Приведены экспериментальные и теоретические исследования. Сушка является этапом перед началом термического разложения сухого органического вещества. Зажигание ЛГМ является фактором возникновения лесного пожара.

-Рассмотрены основные методы мониторинга и геомониторинга лесных массивов. Основной системой мониторинга лесных массивов являются системы дистанционного зондирования Земли.

-Ранее не выполнялось воздействие лесного пожара на ветвь кустарника, имеются работы, в которых было изучено влияние лесного пожара на ветвь хвойного дерева, но без учета пиролиза, на ствол. Необходимо учитывать условия окружающей среды, температуру лесного пожара, толщину ветвей, теплофизические характеристики и время воздействия, для того, чтобы получить достоверные результаты, приближенные к реальности, при данных условиях.

## ГЛАВА 2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1 Объект исследования

В качестве объекта исследования выступает ветвь кустарника.

Внешняя отличительная особенность кустарников относительно деревьев выражается в их низкорослости. Основная их особенность — это сильное ветвление от самого основания и отсутствие толстого главного ствола, как у дерева.

В отличие от деревьев развитие кустарников более быстрое, кустарники быстрее вступают в пору плодоношения. Их высота обычно составляет от 1 до 3-6 м.

Если рассматривать долговечность кустарников, то продолжительность их жизни составляет порядка нескольких десятков лет, и только в редких случаях кустарники доживают до 40-50 лет. В случае деревьев их долговечность значительно выше.

Корневая система кустарников состоит из нескольких основных корней, располагающихся в земле на глубине не глубже 1,5 метров, а также множества обрастающих и всасывающих корней, расположенных горизонтально, для охвата площадей питания [57].

Чаще всего крона кустарника представляет собой овальную проекцию, состоящую из множества ветвей, отходящих от основания.

Рассматривая поперечный разрез ветви кустарника можно рассмотреть три основных слоя: сердцевину, подкорковый слой и кору.

Сердцевина кустарника состоит из паренхимных равномерно развитых клеток и имеет межклеточные пространства [57].

Сердцевина покрыта несколькими слоями древесины, по которой двигаются питательные вещества, кроме того в ней же имеются так называемые толстостенные клетки, обеспечивающие прочность ветви кустарника.

Древесный слой в свою очередь окружен кольцом камбия. Клетки камбия способны делиться: внутрь откладываются клетки древесины, а наружу – клетки луба. Камбий – является самой жизнедеятельной тканью. В случае, когда древесина погибает побег может восстановиться за счет создания камбием новой.

Наружный слой ветви – это кора, состоит она из пробковых тканей и паренхимных клеток.

Пробковые ткани необходимы для защиты ветви, паренхимные клетки накапливают в себе питательные вещества.

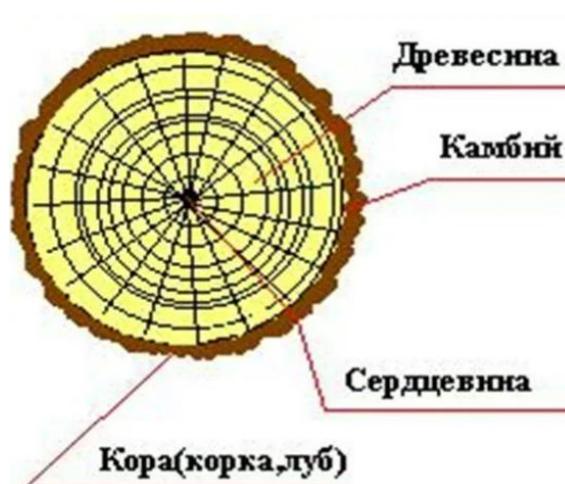


Рисунок 2.1.1 - Строение ветви кустарника в разрезе [Яндекс.Картинки].

Рассмотрим различные виды кустарников. Например, Лещина обыкновенная, в России ее можно встретить в лесной зоне, в лесостепной и степной зоне. Произрастает Лещина в широколиственных, смешанных лесах, в хвойных лесах встречается в виде подлеска, также бывает, что она разрастается на вырубках, в некоторых случаях образуя заросли [58].

Высота составляет 2—5 м, иногда может расти древовидно, крона имеет шаровидную форму, немного вытянутую кверху. Кора веточек гладкая, со светлым коричневато-серым оттенком, поперечно-полосатая.



Рисунок 2.1.2 - Лещина обыкновенная [Яндекс.Картинки].

Шиповник также является одним из видов кустарников, иногда бывает вечнозеленым, имеет прямостоящие, или лазающие или стелющиеся стебли, высота и длина которых бывает различной, соответственно высота шиповника варьируется от 15—25 см до 8—10 м, и может изменяться от условий обитания кустарника [59]. Чаще всего шиповники - многостебельные кустарники высотой около 2—3 м.

Кустовые формы шиповников имеют два вида ветвей: прямостоячие и дуговидные, изогнутые вниз [59]. Ветви шиповника образуют многочисленные побеги, с мягкими и шипами различной величины [60], в последующие годы цветущие и плодоносящие. Продолжительность жизни отдельных стволиков кустарника 4—5 лет[61].



Рисунок 2.1.3 - Шиповник [Яндекс.Картинки].

Черемуха обыкновенная, в России, встречается в Европейской части, Западной и Восточной Сибири, на Дальнем Востоке.

Черемуха - крупный кустарник высотой 0,6—10 м, с удлинённой, густой кроной. Кора взрослых ветвей матовая, чёрно-серая, с беловатыми чечевичками. Молодые веточки оливкового оттенка или вишнёво-красные.



Рисунок 2.1.4 - Черемуха обыкновенная [Яндекс.Картинки].

## 2.2 Методы исследования

### 2.2.1 Метод конечных разностей

Уравнение (2.2.1) с соответствующими граничными условиями можно решать, как численно, так и с использованием ЭВМ. Под численным методом решения понимают решение, получаемое в виде таблицы чисел. В том случае, когда решается дифференциальное уравнение в частных производных используется метод конечных разностей (МКР) [34].

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q_w(x, y, z, t, T), \quad (2.2.1)$$

где  $\rho$  – плотность,  $c$  – удельная теплоемкость,  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности,  $Q_w(x, y, z, t, T)$  – мощность внутренних источников тепловыделения [34].

При решении методом МКР: вместо производных в дифференциальном уравнении используются их конечноразностные аппроксимации. При использовании МКР для задач теплопроводности твердое тело представляют в виде совокупности узлов. При замене частных производных дифференциального уравнения (2.2.1) конечными разностями получают систему линейных алгебраических уравнений для определения температуры, в качестве локальной характеристики для всех узлов сетки. Полученная система незамкнута, чтобы она стала замкнутой, используют разностное представление граничных условий. Полученную замкнутую систему линейных алгебраических уравнений решают численными методами с помощью ЭВМ.

### 2.2.2 Одномерная задача теплопроводности

Теплопередача через плоскую бесконечную пластину или изолированный стержень (рисунок 2.2.1). На одной границе пластины поддерживается постоянная температура  $T_л$ , на другой границе – температура  $T_п$ . Начальная температура равна  $T_0$ , источники тепловыделения внутри пластины отсутствуют [34].

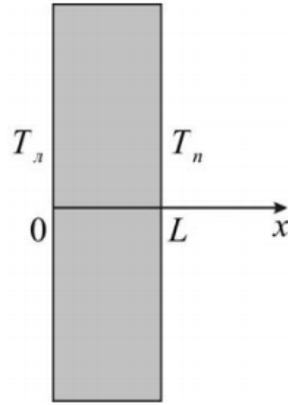


Рисунок 2.2.1 - Геометрия задачи.

Дифференциальное уравнение (2.2.1), в данном случае примет вид:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, 0 < x < L. \quad (2.2.2)$$

Начальные и граничные условия:

$$t = 0: T = T_0, 0 \leq x \leq L;$$

$$x = 0: T = T_l, t > 0; \quad (2.2.3)$$

$$x = L: T = T_n, t > 0.$$

### 2.2.3 Двумерная задача теплопроводности

Двумерная задача теплопроводности для однородного тела.

Анализ процесса теплопереноса в пластине (рисунок 2.2.2). Дана пластина с размерами  $L=H$ . Горизонтальные границы являются адиабатическими, а на вертикальных границах поддерживаются постоянные температуры  $T_h$  и  $T_c$ . Начальная температура области решения  $T_0$ .

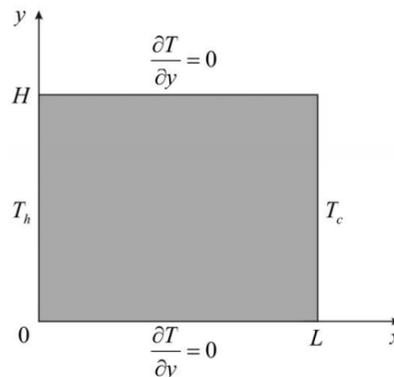


Рисунок 2.2.2 - Область решения.

В данном случае математическая постановка задачи примет вид [34]:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right), \quad \left| \begin{array}{l} 0 < x < L, \\ 0 < y < H. \end{array} \right. \quad (2.2.4)$$

$$t = 0: T = T_0, \quad 0 \leq x \leq L, 0 \leq y \leq H;$$

$$x = 0: T = T_h, \quad t > 0; \quad (2.2.5)$$

$$x = L: T = T_c, \quad t > 0;$$

$$y = 0: \frac{\partial T}{\partial y} = 0, \quad t > 0;$$

$$y = H: \frac{\partial T}{\partial y} = 0, \quad t > 0.$$

Двумерная задача теплопроводности для неоднородного тела.

Проанализируем процесс теплопереноса в пластине, содержащей два включения (рисунок 2.2.3). Примем определяющие размеры  $l_1, l_2, l_3, l_4, h_1, h_2, h_3, h_4$ , которые выбираются таким образом, чтобы используемая разностная сетка была равномерной. В программе будут задаваться количество промежутков, характеризующих рассматриваемый отрезок [34].

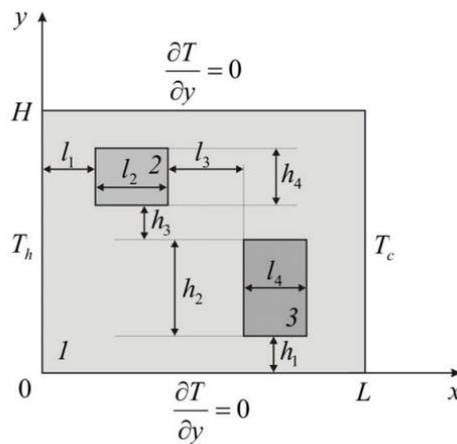


Рисунок 2.2.3 - Область решения.

Медная пластина (1 на рисунке 2.2.3) с размерами  $H=L$ . Материалы включений: сталь (2 на рисунке 2.2.3) (с параметрами  $\lambda_2, \rho_2, c_2$ ) и железо (3 на рисунке 2.2.3) (с параметрами  $\lambda_3, \rho_3, c_3$ ). На вертикальных границах области решения поддерживаются постоянные температуры  $T_h$  при  $x = 0$  и  $T_c$  при  $L=x$ .

Горизонтальные границы являются адиабатическими. Начальная температура области решения  $T_0$  [34].

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_1 c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \left( \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial y^2} \right), \left\{ \begin{array}{l} 0 < x < l_1, 0 < y < H; \\ l_1 \leq x \leq l_1 + l_2, 0 < y < h_1 + h_2 + h_3, h_1 + h_2 + h_3 + h_4 < y < H; \\ l_1 + l_2 < x < l_1 + l_2 + l_3, 0 < y < H; \\ l_1 + l_2 + l_3 \leq x \leq l_1 + l_2 + l_3 + l_4, 0 < y < h_1, h_1 + h_2 < y < H; \\ l_1 + l_2 + l_3 + l_4 < x < L, 0 < y < H; \end{array} \right. \\ \rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \left( \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial y^2} \right), l_1 < x < l_1 + l_2, h_1 + h_2 + h_3 < y < h_1 + h_2 + h_3 + h_4; \\ \rho_3 c_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = \lambda_3 \left( \frac{\partial^2 T_3}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial y^2} \right), l_1 + l_2 + l_3 < x < l_1 + l_2 + l_3 + l_4, h_1 < y < h_1 + h_2. \end{array} \right. \quad (2.2.6)$$

Начальные и граничные условия:

$$t = 0: T = T_0, \quad 0 \leq x \leq L, 0 \leq y \leq H;$$

$$x = 0: T = T_h, \quad t > 0; \quad (2.2.7)$$

$$x = L: T = T_c, \quad t > 0;$$

$$y = 0: \frac{\partial T}{\partial y} = 0, \quad t > 0;$$

$$y = H: \frac{\partial T}{\partial y} = 0, \quad t > 0.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} T_1(t, x, y) = T_2(t, x, y), \\ -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial t}, \end{array} \right. \text{ при } \left\{ \begin{array}{l} x = l_1, h_1 + h_2 + h_3 < y < h_1 + h_2 + h_3 + h_4; \\ x = l_1 + l_2, h_1 + h_2 + h_3 < y < h_1 + h_2 + h_3 + h_4; \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} T_1(t, x, y) = T_2(t, x, y), \\ -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial t}, \end{array} \right. \text{ при } \left\{ \begin{array}{l} y = h_1 + h_2 + h_3, l_1 < x < l_1 + l_2; \\ y = h_1 + h_2 + h_3 + h_4, l_1 < x < l_1 + l_2; \end{array} \right. \quad (2.2.8)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} T_1(t, x, y) = T_3(t, x, y), \\ -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial t}, \end{array} \right. \text{ при } \left\{ \begin{array}{l} x = l_1 + l_2 + l_3, h_1 \leq y \leq h_1 + h_2; \\ x = l_1 + l_2 + l_3 + l_4, h_1 \leq y \leq h_1 + h_2; \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} T_1(t, x, y) = T_3(t, x, y), \\ -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial t}, \end{array} \right. \text{ при } \left\{ \begin{array}{l} y = h_1, l_1 + l_2 + l_3 < x < l_1 + l_2 + l_3 + l_4; \\ y = h_1 + h_2, l_1 + l_2 + l_3 < x < l_1 + l_2 + l_3 + l_4. \end{array} \right.$$

## 2.2.4 Задача теплопроводности с учетом химической реакции в материале

Одномерное уравнение теплопроводности с химической реакцией в материале (термическое разложение). Теплоперенос в бесконечной пластине,

подверженной термическому разложению. На границах осуществляется теплообмен с окружающей средой [34].

Математическая постановка предложенной задачи:

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

$$T=0: T = T_0, 0 \leq x \leq L; \quad (2.2.9)$$

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

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

где  $q_{\text{хим}}$  – тепловой эффект химической реакции,  $k_0$  – предэкспонент химической реакции,  $E$  – энергия активации химической реакции,  $R$  – универсальная газовая постоянная.

### 2.2.5 Решение задачи теплопроводности для двухслойной пластины

К рассмотрению предложен процесс переноса в теле, соединенном из двух пластин, имеющих различные теплофизических характеристики.

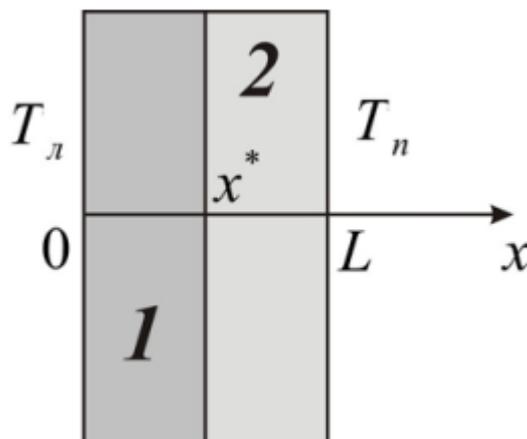


Рисунок 2.2.4 - Геометрия области исследования.

Математическая постановка задачи будет иметь вид:

$$\begin{cases} \rho_1 c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2}, 0 < x < x^*; \\ \rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2}, x^* < x < L. \end{cases} \quad (2.2.10)$$

В данном случае 1 – соответствует левой платине, представленной на рисунке 2.2.4, а 2 – правой.

Ниже представлены начальные и граничные условия для этого случая [34]:

$$t = 0: T = T_0, \quad 0 \leq x \leq L;$$

$$x = 0: T = T_{л}, \quad t > 0; \quad (2.2.11)$$

$$x = L: T = T_{п}, \quad t > 0;$$

$$\begin{cases} T_1(t, x^*) = T_2(t, x^*); \\ -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} \Big|_{x=x^*} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} \Big|_{x=x^*}. \end{cases}$$

Решение данной задачи проводится также численно на основе неявной разностной схемы. Граничное условие 4 рода используется для определения прогоночных коэффициентов в точке  $x^*$ .

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5БМ04	Шамсутдиновой Инне Рустэмовне

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	И.Н.Бутакова
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

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

Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Определены материальные затраты на создание проекта, заработная плата участников проекта.
Нормы и нормативы расходования ресурсов	При расчетах учитывались коэффициенты: 30% премии, 20% надбавки, 30% районный коэффициент.
Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на социальные нужды 30,2 %

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

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	-Оценка готовности проекта к коммерциализации -Анализ конкурентных технических решений; -SWOT-анализ
2. Разработка устава научно-технического проекта	Цели и результат проекта; Планирование проекта; Организация проекта; Ограничения и допущения проекта.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Планирование управление НТИ: – определение структуры работ; – определение участников пунктов работ; – определение продолжительности работ; – построение диаграммы Ганта. Формирование бюджета затрат НТИ: – материальные затраты проекта; – затраты на оборудование; – основная заработная плата исполнителей – отчисления во внебюджетные фонды;
4. Определение ресурсной, финансовой, эффективности исследования	Оценка сравнительной эффективности НТИ: – определение интегрального финансового показателя разработки; – определение интегрального показателя ресурсоэффективности разработки; – определение сравнительной эффективности проекта.

<b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</b>
1. Анализ конкурентных технических решений 2. Матрица SWOT 3. Оценка готовности проекта к коммерциализации 4. График проведения и бюджет НТИ 5. Оценка сравнительной эффективности НТИ

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	01.03.2022
-------------------------------------------------------------	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5БМ04	Шамсутдинова Инна Рустэмовна		

## **4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

### **Введение**

В наше время важным критерием любой работы является ее экономическое обоснование, включающее в себя затраты и коммерческая ценность разработки. Для того, чтобы дать оценку работы с экономической точки зрения в данном разделе будут рассмотрены ресурсоэффективность и ресурсосбережение научно-исследовательской работы. В главе будет выполнена оценка затрат, востребованность работы и определен бюджет выполняемого проекта.

Научно-исследовательская работа заключается математическом моделировании воздействия поражающих факторов лесного пожара на ветвь кустарника, данная модель может найти применение в системах геомониторинга и дистанционного зондирования в местах с развитым кустарничковым ярусом.

Цель главы: Определить коммерческий потенциал проекта, дать оценку его перспективности и конкурентоспособности, оценить соответствие разработки современным требованиям в области ресурсосбережения.

Для достижения этой цели нужно решить следующие задачи:

1. проведение анализа конкурентных технических решений;
2. определение альтернатив проведения исследования;
3. оценка коммерческого потенциала;
4. разработать устав научно-технического проекта;
5. провести планирование научно-исследовательской работы;
6. определить бюджет научного исследования и эффективность.

### **4.1 Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИИ**

#### **4.1.1 Потенциальные потребители**

Предложенная модель воздействия лесного пожара на ветвь кустарника с учетом пиролиза позволяет получить более детальную картинку термических повреждений ветви кустарника, что может быть использовано в

системах дистанционного зондирования. Используя полученные результаты организации, осуществляющие мониторинг последствий лесных пожаров, могут оценить ущерб с экологической и экономической точек зрения. При использовании в организациях, занимающихся прогнозом возможных очагов, модель может быть полезна, для предупреждения лесных пожаров в местах с развитым кустарничковым ярусом.

#### **4.1.2 Анализ конкурентных технических решений**

Для успешного внедрения научной разработки необходимо изучить преимущества и недостатки внедрения модели. Выполнив анализ конкурирующих разработок, можно выявить их плюсы и минусы, и накопленную информацию использовать при выполнении исследования, все это необходимо для выгодного внедрения модели в работу в будущем, так чтобы она была востребована и могла конкурировать с другими моделями.

Ранее проводились исследования в данной области, рассматривалось воздействие лесного пожара на другие горючие материалы такие как: ствол дерева, лист, подстилка. Возьмем две из таких моделей для определения конкурентоспособности проекта.

В таблице 4.1 представлена оценочная карта сравнения конкурентных решений. Для сравнения выбраны два конкурентных решения. Первое – математическая модель воздействия лесного пожара на ствол хвойного дерева. Выполнено моделирование на ствол дерева, пиролиз не учтен, ствол рассмотрен как однородная поверхность, неоднородность в виде слоев ствола не учитывается. Второе – математическая модель воздействия лесного пожара на лист дерева. Модель подходит для применения только в летнее время года для деревьев, на которых имеются листочки. Ветвь и ствол не рассмотрены.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1.Повышение производительности труда пользователя	0,07	5	5	5	0,35	0,35	0,35
2.Удобство в эксплуатации	0,05	5	4	5	0,25	0,2	0,25
3.Помехоустойчивость	0,05	4	5	4	0,2	0,25	0,2
4.Энергоэкономичность	0,04	3	3	3	0,12	0,12	0,12
5.Надежность	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
6.Уровень шума	0,02	5	5	5	0,1	0,1	0,1
7.Безопасность	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
8.Потребность в ресурсах памяти	0,08	4	3	4	0,32	0,24	0,32
9.Функциональная мощность	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
10.Простота эксплуатации	0,05	4	3	2	0,2	0,15	0,1
11.Качество интеллектуального интерфейса	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
12.Возможность подключения в ЭВМ	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1.Конкурентоспособность продукта	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
2.Уровень проникновения на рынок	0,05	3	3	3	0,15	0,15	0,15
3.Цена	0,05	3	3	3	0,15	0,15	0,15

4.Предполагаемый срок эксплуатации	0,04	5	4	5	0,2	0,16	0,2
5.Послепродажное обслуживание	0,04	4	3	4	0,16	0,12	0,16
6.Финансирование научной разработки	0,02	3	5	4	0,06	0,1	0,08
7.Срок выхода на рынок	0,02	5	4	4	0,1	0,08	0,08
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>82</b>	<b>76</b>	<b>76</b>	<b>4,41</b>	<b>3,95</b>	<b>3,94</b>

В таблице 4.1 представлены основные конкуренты и критерии оценки конкурентоспособности. Каждый показатель конкурентов оценивается по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей определяются в соответствии с их значимостью и в сумме составляют 1.

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (4.1)$$

где  $B_i$  - вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  - балл  $i$ -го показателя.

По результатам данная модель может быть более конкурентоспособной, нежели другие модели. Так как полученные значения выше, чем значения у двух конкурентов.

#### 4.1.3 SWOT – анализ

SWOT анализ – один из самых распространенных методов, оценивающих в комплексе внутренние и внешние факторы, влияющие на развитие проекта. С его использованием можно определить сильные и слабые стороны, возможности и угрозы со стороны внешней окружающей среды. По результатам SWOT анализа можно оценить, обладает ли проект внутренними силами и ресурсами, чтобы реализовать имеющиеся возможности и противостоять внешним угрозам [65].

SWOT-анализ проводится в три этапа:

Первый этап: выявление сильных и слабых сторон разработки через видимые возможности и угрозы, которые могут появиться во внешней среде.

Второй этап: определяет соответствие сильных и слабых сторон разрабатываемого проекта внешним условиям окружающей среды.

Третий этап: составляется итоговая матрица SWOT-анализа.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT проекта

	Сильные стороны	Слабые стороны
	<p>С1. Низкие требования к используемой ЭВМ;</p> <p>С2. Экологичность данного метода;</p> <p>С3. Возможность получения новых результатов, которые не получались раньше;</p> <p>С4. Быстрый метод оценки последствий пожара;</p> <p>С5. Бесплатное и доступное используемое ПО;</p>	<p>Сл1. Получение графиков с использованием дополнительных программ;</p> <p>Сл2. Необходимость точного подбора параметров, для получения достоверных результатов;</p> <p>Сл3. Возможность использования только для мониторинга массивов с развитым кустарничковым ярусом.</p>
<b>Возможности</b>	<p>Сильные стороны проекта позволяют ускорить процесс внедрения проекта на рынок. Данный метод оценки не несет вреда для экологии.</p> <p>Благодаря доступному и удобному ПО, результаты можно получить в кратчайшие сроки.</p> <p>Так как учтен пиролиз, и выполнена модель воздействия на ветвь кустарника, то можно получить результаты, которые не были получены ранее.</p>	<p>Использование дополнительных программ может затянуть процесс получения результатов. Ввиду того, что в программу необходимо вносить точные параметры, их поиск и уточнение может затянуть процесс достоверных результатов.</p>
<p>В1. Улучшение методов моделирования</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на продукт.</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок</p>		
<b>Угрозы</b>		
<p>У1. Появление новых, активных и целеустремленных конкурентов;</p> <p>У2. Удешевление других методов.</p> <p>У3. Возникновение дополнительных требований к ПО.</p>	<p>Вероятность появления более дешевых и эффективных методов, которые приведут к конкурентному отставанию.</p>	<p>Вероятное введение платы за используемые программы. Появление новых, активных и целеустремленных конкурентов, использование ими более простых методов определения поражения ветви.</p>

Заинтересованными в приобретении данной модели могут быть: государство для выполнения более тщательного мониторинга последствий лесного пожара в местах в развитом кустарничковом ярусе, государственные организации: на федеральном уровне организацию работ по мониторингу осуществляет федеральный орган управления лесным хозяйством России, на региональном – органы управления лесным хозяйством субъектов РФ, на муниципальном – лесхозы и прочие организации, осуществляющие ведение лесного хозяйства.

По итогам SWOT-анализа выявлены возможности для дальнейшего развития, определены явные преимущества проекта по сравнению с другими проектами, представлена перспективность работы для внедрения в системы геомониторинга последствий пожаров. Основная угроза, появление большого количества конкурентов и вероятное появление платы за пользование программами, используемыми при моделировании.

#### **4.1.4 Оценка готовности к коммерциализации**

Для того, чтобы дать оценку готовности проекта к его коммерциализации выполнена оценка и полученные результаты приведены в таблице 4.3. При анализе ставится оценка по пятибалльной шкале.

При оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 - означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Оценка готовности к коммерциализации проекта определяется по формуле

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (4.2)$$

где  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;

$B_i$  – балл по  $i$ -му показателю.

Благодаря этому значению можно говорить о перспективности внедрения проекта:

- от 75 до 60 – работка перспективна, высокие знания разработчика;
- от 59 до 45 – перспективность выше среднего;
- от 44 до 30 – средняя перспективность;
- от 29 до 15 – ниже среднего;
- ниже 14 – низкая.

Таблица 4.3 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4

4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	3
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	4
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	3
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	1	1
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	3
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	2
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	3
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	3

14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	4
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
	Итого	51	49

Из полученных значений можно сделать вывод о том, что готовность проекта к коммерциализации находится на среднем уровне, для того, чтобы ее повысить необходимо более детально изучить вопросы финансирования и внедрения проекта на рынок, а также проработать бизнес-план.

#### 4.2 Инициация проекта

Устав научного проекта имеет структуру:

##### 1. Цели и результаты проекта

В таблице 4.4 приведены лица, заинтересованные в проекте и критерии достижения целей.

Таблица 4.4 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Государство	Получение модели, позволяющей оценить поражения ветви кустарника при воздействии лесного пожара, возможность разработки мер предотвращения пожаров, на основе мониторинга возможных очагов. Применение модели в системах геомониторинга для оценки последствий пожара.
ТПУ	Научная работа студента, участие в конференциях

Таблица 4.5 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Математическое моделирование процессов воздействия поражающих факторов лесного пожара на ветвь кустарника с учетом термического разложения сухого органического вещества, для создания более точной модели, соответствующей реальности, используемой для оценки термических повреждений древесины.
Результаты проекта:	Внедрение модели для реализации в системах геомониторинга лесных массивов.
Критерии приемки результата проекта:	Верификация результатов с использованием уже полученных ранее данных.
Требования к результату проекта:	Достоверность используемых при моделировании параметров.
	Достоверность модели.

## 2. Организационная структура проекта.

Каждый из участников проекта выполняет определенные функции, их роль для проекта и трудозатраты представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Рабочая группа проекта

№	ФИО, место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час
1	Барановский Н.В., ТПУ, к.ф-м.н., доцент	Руководитель	Контроль выполнения	50

			и проверка результатов	
2	Шамсутдинова И.Р., ТПУ, студент-магистр	Исполнитель	Выполнение работ	700
ИТОГО:				750

### 3. Ограничения и допущения проекта

Таблица 4.7 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/допущения
Источник финансирования	НИ ТПУ
Сроки проекта:	
-Дата утверждения плана управления проектом	01.02.2022
-Дата завершения проекта	01.06.2022

В результате, заданы цели и результаты проекта, рассмотрена организационная структура проекта, определены ограничения и допущения проекта.

#### 4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

Данная глава включает в себя следующие элементы:

- 1) Определение иерархической структуры работы;
- 2) Определение длительности работ;
- 3) Составление плана проекта;
- 4) Построение диаграммы Ганта.

В данном исследовании участие принимают два участника, соответственно все обязанности по выполнению тех или иных работ над проектом будут распределяться между ними.

В таблице 4.8 разработан календарный план выполняемого проекта.

Таблица 4.8 – Календарный план проекта

№	Название	Длительность, дней	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление задания для выполнения	3	01.02.22	03.02.22	Барановский Н.В.
2	Выбор направления исследований	3	04.02.22	07.02.22	Барановский Н.В. Шамсутдинова И.Р.
3	Разработка календарного плана проекта	4	08.02.22	12.02.22	Барановский Н.В. Шамсутдинова И.Р.
4	Изучение литературы	30	12.02.22	14.03.22	Шамсутдинова И.Р.
5	Написание физико-математической постановки	5	15.03.22	20.03.22	Шамсутдинова И.Р.
6	Написание программы	10	21.03.22	31.03.22	Шамсутдинова И.Р.
7	Получение результатов для модели	10	01.04.22	10.04.22	Шамсутдинова И.Р.
8	Получение результатов с изменением температуры по длине ветви	10	11.04.22	21.04.22	Шамсутдинова И.Р.

9	Анализ полученных результатов, верификация с использованием полученных ранее данных	15	22.04.22	06.05.22	Шамсутдинова И.Р.
10	Проверка выполнения проекта	5	07.05.22	12.05.22	Барановский Н.В.
11	Написание пояснительной записки	18	13.05.22	01.06.22	Шамсутдинова И.Р.
Итого		113			

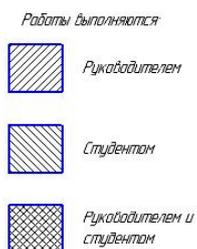


Рисунок 4.1 – Календарный план-график проведения проекта.

Таким образом была построена диаграмма Ганта, которая наглядно показывает в какие этапы будет проходить выполнение проекта, наглядно видно, что этап работы с литературой является самым затратным по времени.

#### 4.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета проекта должно быть обеспечено полное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования проекта используются следующие затраты:

- материальные затраты проекта;
- затраты на оборудование;
- полная заработная плата;
- амортизационный отчисления.

К материальным затратам относятся затраты на то, что необходимо приобрести со стороны для реализации проекта. Список материальных затрат составлен в таблице 4.9. Программное обеспечение для проекта получено через ТПУ и имеет бесплатную лицензию.

Таблица 4.9 – Материальные затраты, затраты на оборудование

Наименование	Количество	Цена за одну единицу, руб	Затраты на материалы $Z_m$ , руб
Бумага для принтера А4	2	700	1400
Краска для принтера	1	300	300
Ручка	3	20	60
Компьютер	1	50000	50000
Итого			51760

Выполним расчет заработной платы исполнителей проекта. Основная заработная плата для руководителя проекта и студента рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (4.3)$$

где  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d}, \quad (4.4)$$

где  $Z_M$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

-при отпуске в 24 рабочих дня  $M = 11,2$  месяца – пятидневная неделя;

-при отпуске в 48 рабочих дня  $M = 10,4$  месяца – шестидневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени работников, раб. дн.

Таблица 4.10 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные, праздничные)	52 - выходные 14 - праздники	52 - выходные 14 - праздники
Потери рабочего времени (отпуск, больничный)	52	52
Действительный годовой фонд рабочего времени	247	247

Оклад научного руководителя (в должности доцента) составляет 34000 рублей, оклад студента (инженера) принимается равным окладу соответствующего специалиста низшей квалификации, т.е. ассистента и составляет 13000 рублей. В 2022 году 247 рабочих дней. Среднее количество рабочих дней в месяце составит 21 день. Среднедневная заработная плата для руководителя составит 1619,05 рублей в день, для инженера – 619,05 рублей в день.

Месячный должностной оклад работника можно определить по формуле [65]:

$$Z_M = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p, \quad (4.5)$$

где  $Z_{mc}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{np}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3;

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок, принимаем 0,2;

$k_p$  – районный коэффициент, для города Томска равен 1,3;

Расчет заработной платы для научного руководителя:

$$Z_M = 34000 \cdot (1 + 0,2 + 0,3) \cdot 1,3 = 66300 \text{ руб.}$$

$$Z_{дн} = \frac{66300 \cdot 10,4}{247} = 2791,6 \text{ руб.}$$

$$Z_{осн} = 2791,6 \cdot 15 = 41874 \text{ руб.}$$

Расчет заработной платы для студента:

$$Z_M = 13000 \cdot (1 + 0,2 + 0,3) \cdot 1,3 = 25350 \text{ руб.}$$

$$Z_{дн} = \frac{25350 \cdot 10,4}{247} = 1067,4 \text{ руб.}$$

$$Z_{осн} = 1067,4 \cdot 108 = 115279 \text{ руб.}$$

Итого заработная плата составит:

$$Z_{осн} = 115279 + 41874 = 157153 \text{ руб.}$$

Определим отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда и медицинского страхования от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется по формуле [65]:

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z_{осн}, \quad (4.6)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды. В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2%.

$$C_{внеб} = 0,302 \cdot 157153 = 47460 \text{ руб.}$$

Общий итог по результатам расчетов всех затрат на выполнение научно-исследовательской работы представлен в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Расчет затрат НИИ

Наименование	Сумма, руб.
1. Материальные затраты	51760
2. Заработная плата	157153
3. Отчисления во внебюджетные фонды	47460
Бюджет затрат:	256373

В главе выполнен расчет бюджета на написание научной работы. Учтены материальные затраты, в том числе затраты на оборудование, заработная плата сотрудников и отчисления. В итоге бюджет затрат составил 256373 рублей.

#### 4.5 Определение эффективности исследования

Оценка эффективности исследования предполагает учет финансовой эффективности исследования и ресурсоэффективности. Определение эффективности происходит путем определения интегрального показателя. Интегральный финансовый показатель можно определить по формуле [65]:

$$I_{фин}^{испi} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (4.7)$$

где  $\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

В таблице 4.12 представлены затраты на данную работу и затраты в случае, когда допустим нет возможности получить бесплатную лицензию на одну из используемых программ, допустим OriginPro, тогда статья затрат примет исполнение 2.

Таблица 4.12 – Расчет бюджета затрат

Наименование статьи	Сумма, руб.	
	Текущее исп.	Исполнение 2
Материальные затраты проекта	51760	251760
Затраты по заработной плате	157153	152949
Отчисления во внебюджетные фонды	47460	46190,6
Итого	256373	300899,6

Исходя из данных, представленных в таблице 4.12, определим интегральный финансовый показатель для двух вариантов исполнения проекта:

$$I_{фин}^{исп1} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{max}} = \frac{256373}{300899,6} = 0,85,$$

$$I_{фин}^{исп2} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{max}} = \frac{300899,6}{300899,6} = 1.$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum (a_i \cdot b_i), \quad (4.8)$$

где  $a_i$  – весовой коэффициент проекта;

$b_i$  – балльная оценка проекта, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

В таблице 4.13 приведены характеристики проекта и определена их значимость.

Таблица 4.13 – Сравнительная оценка характеристик разрабатываемого проекта

Критерии исследования	Объект	Весовой коэффициент параметра	Текущее исп.	Исп.2
	1. Скорость выполнения проекта	0,25	5	5

2. Финансовая возможность выполнения проекта	0,3	4	1
3. Точность результатов	0,2	5	5
4. Энергосбережение	0,1	2	2
5. Надежность	0,15	5	5

Определим показатель ресурсоэффективности для обоих случаев

$$I_{p1} = 0,25 \cdot 5 + 0,3 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 2 + 0,15 \cdot 5 = 4,4,$$

$$I_{p2} = 0,25 \cdot 5 + 0,3 \cdot 1 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 2 + 0,15 \cdot 5 = 3,5.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки:

$$I_{испi} = \frac{I_{pi}}{I_{фин}}, \quad (4.9)$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,4}{0,85} = 5,2,$$

$$I_{исп.2} = \frac{3,5}{1} = 3,5.$$

Далее определяется сравнительная эффективность проекта

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} = \frac{5,2}{3,5} = 1,5. \quad (4.10)$$

Осуществленный сравнительный анализ дает понять, что выполнение проекта по первому исполнению является более эффективным, его эффективность в 1,5 раза выше.

### Выводы по разделу

В данном разделе проводилась оценка экономических аспектов научно-исследовательской работы.

1. Выявлено, что проект является довольно-таки конкурентоспособным по сравнению с двумя рассмотренными аналогами. Определены потенциальные потребители.

2. По итогам SWOT-анализа выявлены возможности для дальнейшего развития, определены явные преимущества проекта по сравнению с другими проектами, представлена перспективность работы для внедрения в системы геомониторинга последствий пожаров. Определены сильные и слабые стороны выполняемой научной работы. Основная угроза, появление большого количества конкурентов и вероятное появление платы за пользование программами, используемыми при моделировании. Работа над недостатками проекта позволит повысить конкурентоспособность, уменьшить влияние внешних угроз на проект.

3. Выявлен коммерческий потенциал проекта и определен уровень готовности работы к внедрению на рынок. Коммерциализация показала, что уровень готовности выше среднего.

4. Выполнено планирование проекта, построен календарный план-график проведения работ для каждого исполнителя проекта.

5. Определен бюджет проекта, посчитаны материальные затраты проекта, затраты на оборудование и заработную плату исполнителей, а также отчисления во внебюджетные фонды. Суммарные затраты на проектирование составили 250899,6 рублей.

6. Определены интегральные показатели ресурсоэффективности проекта. С точки зрения ресурсоэффективности, данный проект является перспективным и конкурентоспособным.

На основании полученных результатов данного раздела делаем вывод о том, что данный проект является успешным с экономической точки зрения.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 5БМ04	ФИО Шамсутдиновой Инне Рустэмовне
-----------------	--------------------------------------

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	И.Н.Бутакова
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

**Тема дипломной работы: «Математическое моделирование воздействия поражающих факторов лесного пожара на ветвь кустарника с учетом пиролиза сухого органического вещества»**

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>                  - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;                  - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 09.03.2021)</li> <li>- ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</li> <li>- ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.</li> <li>- ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.</li> </ul>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p><b>1. Производственная безопасность:</b>                  2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов                  2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные и опасные факторы:                  -Недостаточная освещенность рабочей зоны                  -Уровень шума, превышающий нормы                  -Микроклимат рабочей зоны не соответствует нормам СНиП                  -Опасность поражения электрическим током                  Расчет искусственного освещения.</p>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p>	<p>-Загрязнения: выбросы в атмосферу при производстве электроэнергии, отсутствие утилизации отходов, также неправильная утилизация отходов: старых компьютеров, принтеров, бумаги</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p>	<p>Возможные ЧС: природные катастрофы, пожар, техногенные аварии.                  Наиболее типичная ЧС: Пожар</p>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	01.03.2022
-------------------------------------------------------------	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Сечин Александр Иванович	д.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ04	Шамсутдинова Инна Рустэмовна		

## **5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

### **Введение**

В данном разделе рассмотрена социальная ответственность в соответствии с исследованием, разрабатываемым в рамках написания магистерской работы. Разработана математическая модель воздействия поражающих факторов лесного пожара на ветвь кустарника с учетом пиролиза, объектом исследования является ветвь кустарника.

Исследования проводились путем создания математической модели и написания программного кода в программе Delphi, при различных сценариях воздействия, а также при трех граничных условиях на правой границе. Рассмотрены два случая воздействия температуры по длине, при изменении температуры и без изменения температуры. Модель позволила получить распределение поля температур в ветви кустарника, а также получить графики повреждений ветви при тех же параметрах. Так как данная работа предполагает работу сотрудника с ЭВМ, в разделе о социальной ответственности будет рассмотрена информация, касающаяся работ с ЭВМ.

Применение полученных результатов данного исследования дает возможность сократить риски возникновения лесных пожаров, дать оценку ущербу с экологической и экономической точек зрения. Но с учетом того, что основополагающим параметром в каждом исследовании является то, что оно должно быть актуально и содержать вопросы, касающиеся социальной ответственности, необходимо учесть влияние данного исследования на человека, также оценить возможные факторы риска.

В разделе будет произведен анализ правовой и производственной безопасности для сотрудника, занимающегося исследованием. Будут рассмотрены вопросы экологической безопасности и безопасности при возникновении различных чрезвычайных ситуаций.

#### **5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

В России права и обязанности, которые должны выполнять сотрудники и работодатели, регламентируются Трудовым кодексом Российской

Федерации [1]. Трудовой кодекс РФ регламентирует время рабочего времени и время отдыха сотрудников, правила оплаты труда, профессиональной подготовки, охраны труда, решения споров в той или иной ситуации и многое другое. В соответствии с ТК РФ установлено количество рабочих дней в неделю и время работы, которое не должно быть более 40 часов в неделю [66], количество дней отпуска составляет 28 дней в году.

Математическое моделирование производилось с использованием компьютера. Специфика данной работы заключается в больших зрительных нагрузках и малой активности в течение дня, а также монотонностью выполняемых операций. Эти факторы отрицательно влияют на самочувствие работающего. Зрительные нагрузки оказывают отрицательное влияние на зрение.

При создании рабочего места сотрудника должны учитываться условия микроклимата в помещении в соответствии со СНиП. В соответствии с тем, что вся работа связана с решением определенных задач на компьютере, рабочее место должно быть оборудовано по стандартам ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования [67]. Данный стандарт устанавливает общие эргономические требования к рабочим местам при выполнении работ в положении сидя. При организации рабочего места работника должны учитываться [67]:

- антропометрические показатели работника;
- взаимное расположение всех элементов рабочего места в соответствии с характером выполняемой работы, физиологическими и психологическими требованиями;
- регулирование высоты рабочей поверхности.

При создании рабочего места сотрудника регламентируется расположение элементов рабочего места ГОСТ 22269-76 [68]. При работе за компьютером предполагается низкая физическая активной и рабочая поза. Данный ГОСТ регламентирует занимаемую рабочую позицию, размещение элементов рабочего места. Для того, чтобы рабочая смена была комфортной, элементы места должны располагаться удобно, доступно [68].

Во избежание больших зрительных нагрузок, а данная работа предполагает получение и обработку большого количества данных за компьютером, регламентируется использование дисплеев ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения [69]. Освещенность рабочего места на рабочем столе должна быть от 300 до 500 лк, уровень шума не должен превышать значений, установленных в [69].

Требования, предъявляемые к дисплею:

Дисплей на рабочем месте оператора должен располагаться так, чтобы изображение в любой его части было различимо без необходимости поднять или опустить голову.

Дисплей на рабочем месте должен быть установлен ниже уровня глаз оператора. Угол наблюдения экрана оператором относительно горизонтальной линии взгляда не должен превышать 60°.

Требования к микроклимату [69]:

Температура воздуха на рабочем месте в холодный период года должна быть от 22 до 24 °С, в теплый период года - от 23 до 25 °С.

Относительная влажность воздуха 40-60%.

Скорость движения воздуха на рабочем месте оператора должна быть 0,1 м/с.

## 5.2 Производственная безопасность

Возможные опасные и вредные факторы труда представлены в Таблице 5.2.1, которые влияют на жизнь и здоровье человека [70].

Таблица 5.2.1 - Опасные и вредные факторы

Факторы	Нормативные документы
1.Повышенный уровень шума	СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки [71].

2. Отклонение от норм микроклимата в закрытом помещении	СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [72].
3. Недостаточная освещенность	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 [73].
4. Вероятность поражения электрическим током	ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов [74].
5. Пожарная опасность	Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" [75].

### **5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов**

Рассмотрим подробнее факторы, представленные в таблице 5.2.1.

#### **1. Повышенный уровень шума**

Предельно допустимый уровень шума регламентируется нормами, превышение этого уровня недопустимо. Шум оказывает негативное влияние на здоровье и организм человека.

В данном исследовании шум может возникать при работе с компьютером, это шум от клавиатуры и от самого компьютера при выполнении вычислительных операций.

В зависимости от категории работы нормы шума различны, касательно нашего исследования шум на рабочем месте не должен быть выше, чем 50 Дб [71].

#### **2. Отклонение от норм микроклимата в закрытом помещении**

По СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений регламентируются оптимальные показатели на рабочих местах производственных помещений. Для категории помещения Ia указаны следующие параметры [72]:

Для холодного периода года [72]:

- Категория работ по уровням энергозатрат до 139 Вт;
- Температура воздуха 22-24 °С;
- Температура поверхностей в помещении 21-25 °С;
- Влажность воздуха 40-60%;
- Скорость движения воздуха 0,1 м/с.

Для теплого периода года [72]:

- Категория работ по уровням энергозатрат до 139 Вт;
- Температура воздуха 23-25 °С;
- Температура поверхностей в помещении 22-26 °С;
- Влажность воздуха 40-60%;
- Скорость движения воздуха 0,1 м/с.

Для обеспечения условий труда сотрудников данные требования необходимо соблюдать.

### 3. Недостаточная освещенность

Освещение подразделяется на естественное и искусственное. Для обеспечения комфортных условий труда необходимо не только искусственное освещение, но и естественное, потому что недостаток естественного освещения может привести к ухудшению здоровья. Естественное освещение реализуется за счет световых проемов (окон).

Как уже говорилось ранее в соответствии с [69] освещенность рабочего места на рабочем столе должна быть от 300 до 500 лк, а при зрительной работе [73] минимальное значение составляет 200 лк, в данном источнике освещенность подбирается в зависимости от вида выполняемых работ.

Определим параметры искусственного освещения для кабинета:

Длина  $A=4$  м, ширина  $B=4$  м, высота  $H=3,5$  м. Необходимую освещенность примем по описанным ранее данным 300 лк.

Принимаем Люминесцентные светильники с защитной решёткой ОДОР-2-30  $\lambda = 1,3$  – критерий оптимальности расположения, длина светильника  $l_{св}=0,925$  м [78].

Высота светильника над рабочей поверхностью составляет [78]

$$h = H - h_c - h_{pn} = 3,5 - 0,5 - 0,8 = 2,2 \text{ м}, \quad (5.1)$$

где  $h_c$  – расстояние светильников от перекрытия,  $h_c=0,5$  м;

$h_{pn}$ -высота рабочей поверхности над полом,  $h_{pn}=0,8$  м.

Расстояние между светильниками [78]

$$L = \lambda \cdot h = 1,3 \cdot 2,2 = 2,9 \text{ м}. \quad (5.2)$$

Расстояние от крайних светильников до стены [78]

$$\frac{L}{3} = \frac{2,9}{3} = 0,97 \text{ м}. \quad (5.3)$$

Количество рядов светильников

$$n_{\text{рядов}} = \frac{(B - \frac{2}{3}L)}{L} + 1 = \frac{(4 - \frac{2}{3} \cdot 2,9)}{2,9} + 1 = 2 \quad (5.4)$$

Количество светильников

$$n_{\text{св}} = \frac{(A - \frac{2}{3}L)}{l_{\text{св}} + 0,5} + 1 = \frac{(4 - \frac{2}{3} \cdot 2,9)}{0,925 + 0,5} + 1 = 2 \quad (5.5)$$

Получилось, что будет размещено по два светильника в два ряда.

В каждом светильнике по две лампы и для выбранного светильника ОДОР-2-30 мощность каждой лампы составляет 30 Вт, а всего ламп в помещении 8 шт.

Коэффициент отражения стен  $\rho_c = 30$  % (оклеенные светлыми обоями), потолка  $\rho_n = 50$  % (бетонный) [78]. Коэффициент запаса  $K_3=1,5$ , коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп  $Z = 1,1$  [78].

Определим индекс помещения

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{4 \cdot 4}{2,2 \cdot 8} = 0,9 \quad (5.6)$$

По индексу помещения и коэффициентам отражения определим значение коэффициента использования светового потока,  $\eta=36\%$  [78].

Световой поток лампы определяется по формуле

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z \cdot 100}{n_l \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 16 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 100}{8 \cdot 36} = 2750 \text{ лм}. \quad (5.7)$$

Ближайшая лампа по [13] ЛБ-2800.

Проверка:

$$-10\% \leq \left[ \frac{\Phi_{\text{станд}} - \Phi}{\Phi_{\text{станд}}} \right] \cdot 100\% \leq +20\%; \quad (5.8)$$

$$-10\% \leq \left[ \frac{2800 - 2750}{2800} \right] \cdot 100\% \leq +20\%;$$

$$-10\% \leq 1,7\% \leq +20\%;$$

Условие выполняется, лампы выбраны верно.

#### 4. Вероятность поражения электрическим током

Стандарт [74] устанавливает предельно допустимые значения напряжения и тока при прохождении через тело человека, в случае прикосновения к энергоустановкам. В нашем случае рассматриваемое помещение не является опасным.

В соответствии с классификацией по вероятности поражения электрическим током выделяют три класса: без повышенной опасности, с повышенной опасностью, особо опасные помещения.

Данное помещение относится к классу – без повышенной опасности.

#### 5. Пожарная безопасность помещения.

Рассматриваемое помещение не является пожароопасным и относится к категории Д [75], так как в нем отсутствуют взрывчатые вещества, легковоспламеняемые газы, легко горючие вещества.

К первичным средствам пожаротушения относятся:

- Ящики с песком;
- Кошма 1x1 кв.м., асбестовое полотно;
- Огнетушители;
- Водопроводная вода.

Места расположения первичных средств пожаротушения должны указываться в планах эвакуации.

Огнетушители бывают разных видов: водные, пенные, газовые и порошковые, наибольшее распространение получили пенные, газовые и порошковые огнетушители.

Все помещения должны обеспечиваться планами эвакуации, в которых содержится информация о запасных выходах, местах расположения

огнетушителей и иных средств пожаротушения. Также в этом документе установлены правила поведения людей, порядок и последовательность действий обслуживающего персонала на объекте при возникновении пожара. Наличие планов эвакуации людей при пожаре – это требование постановления Правительства от 16 сентября 2020 года № 1479 «Об утверждении Правил противопожарного режима в РФ».

План эвакуации состоит из следующих обязательных элементов: заголовка, адреса здания, графической части, пояснительной части, блока с расшифровкой обозначений.

### **5.2.2 Обоснование мероприятий по снижению воздействия**

Для того, чтобы поддерживать нормируемые условия можно сделать следующее:

1. Поддерживать параметры микроклимата в помещении в летний период использовать кондиционеры и вентиляторы, установить окна с возможностью проветривания. В зимний период необходимо чтобы количество установленных батарей обеспечивало необходимую температуру [76].

2. Возможно установление увлажнителей воздуха, чтобы поддерживать влажность воздуха в помещении.

3. Для того, чтобы условия были комфортными, рабочую зону располагать максимально близко к местам расположения источников естественного света. Если такой возможности нет, то установить больше источников искусственного света.

4. Сделать в помещении ремонт в светлых тонах, тогда в помещении будет светлее.

5. Во избежание поражения электрическим током, необходимо своевременно осуществлять проверку оборудования, изоляции проводов, так чтобы не было оголенных токоведущих частей.

6. Компьютер должен быть заземлен.

7. Помещение должно быть оборудовано первичными средствами пожаротушения.

### **5.3 Экологическая безопасность**

Так как само по себе исследование не оказывает прямого влияния на экологию, рассмотрим, как влияет на экологию выработка электроэнергии необходимая для работы компьютера и неправильная утилизация компьютеров после истечения срока их службы.

Электростанции на окружающую среду влияют путем загрязнения атмосферы. Основными проблемами являются выбросы оксидов серы и азота, зольной пыли, твердых загрязнителей, продуктов сгорания. Также ТЭС являются потребителями технической воды, которая применяется для охлаждения турбин и очистку систем [77].

Следующий вредный фактор, это неправильная утилизация компьютеров после окончания их работы или ее отсутствие. Это наносит вред почве, воде и атмосфере. Снизить количество отходов можно путем повторного использования компонентов компьютерной техники, либо их переработки и утилизации. Так же можно добавить, что отсутствие утилизации и переработки бумаги, может привести к загрязнению окружающей среды.

### **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Наиболее вероятная чрезвычайная ситуация, которая может возникнуть – это пожар. Пожарная безопасность обеспечивается путем проведения инструктажей, проверка и наличие пожарного оборудования, плановое проведение обучающей пожарной тревоги, наличие в помещении пожарных извещателей, наличие огнетушителей [79]. Меры предотвращения пожаров: наличие заземляющих устройств, устройств защитного отключения.

Чтобы избежать пожар, нужно соблюдать правила: выключать электрические приборы, покидая помещение, курить только в специально отведенных для этого местах.

При возникновении возгорания сразу сообщать по номеру пожарной службы 01, сообщить руководителю, ответственному за пожарное оборудование, эвакуировать сотрудников, используя первичные средства тушения пожара, имеющиеся в помещении приступить к тушению.

План эвакуации из аудитории 48 4 корпуса представлен на рисунке 4.1.



Рисунок 4.1 - План эвакуации из 48 аудитории 4 корпуса.

Действовать необходимо в соответствии с планом эвакуации.

План эвакуации используется для следующих целей:

Регламентирует действия дежурного персонала и сотрудников; всех категорий посетителей.

Способствует проведению эффективной, максимально оперативной эвакуации людей из зон поражения, очагов пожара, задымления по маршрутам наименьшей протяженности, минуя тупики и опасные места.

Нахождения мест установки противопожарного оборудования, устройств оповещения, подачи сигнала тревоги, запуска инженерных систем водопровода, пожаротушения.

Напоминает о порядке первоочередных действий, предпринимаемых при обнаружении очага пожара дежурным персоналом.

### Выводы по разделу

В ходе проведения работы были определены правовые и организационные вопросы обеспечения рабочего процесса и безопасности сотрудников. Описан процесс организации рабочего места сотрудника, занимающегося компьютерным моделированием, так, чтобы обеспечить нормированные условия труда, минимально сказывающиеся на здоровье. Рассмотрены вредные и опасные факторы, с которыми можно столкнуться во

время рабочей деятельности по выполнению компьютерного моделирования, а также предложены возможные способы их предотвращения.

Изучены варианты вредного влияния на окружающую среду и экологию, так как прямого негативного воздействия на окружающую среду не наблюдается, приведены вредные факторы производства электрической энергии и не правильной утилизации отходов. Рассмотрены меры по профилактике и предотвращению чрезвычайных ситуаций на примере наиболее вероятной чрезвычайной ситуации - пожара.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения магистерской работы были выполнены исследования по математическому моделированию воздействия поражающих факторов лесного пожара на ветвь кустарника с учетом пиролиза и структурной неоднородности ветви для оценки термических повреждений ветви.

Выполненный анализ литературы по теме лесных пожаров, зажигания, сушки и пиролиза, анализ методов мониторинга показал, что есть ученые, которые заинтересованы в изучении данных вопросов для получения большего понимания о влиянии пожара на лесные массивы.

Выполненное моделирование позволило проработать различные сценарии и получить информацию о том, как при варьировании различных факторов изменяется температура во всей структуре ветви, также получена информация о том, как изменяется глубина поражения ветви в зависимости от радиуса ветви, времени воздействия, температуры пожара и окружающей среды. При учете термического разложения получены графики изменения объемной доли сухого органического вещества и газовой фазы. Представлен один из вариантов изменения температуры по длине ветви, который может возникнуть в природе, когда температура воздействия пожара не одинакова по всей длине ветви. Задано условие, которое наглядно позволяет увидеть глубину поражения ветви, что дает возможность оценки повреждений.

Разработанные математические модели влияния лесного пожара на ветвь кустарника, открывает дополнительные возможности для лиц, осуществляющих мониторинг и прогнозирование последствий лесных пожаров, может быть использована при дистанционном зондировании участков с развитым кустарничковым ярусом. Использование таких моделей на практике позволяет оценить ущерб от лесного пожара, дать оценку экологическим последствиям.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Соколовский В.Г. Состояние природной среды в СССР в 1988г. М: Госкомприрода СССР, 1989. - 203 с.
2. Гришин А.М. Физика лесных пожаров. Томск: изд-во ТГУ, 1994 г. - 218 с.
3. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров. Томск: Изд-во ТГУ, 1981.-277 с.
4. Будыко М.И. Климат в прошлом и будущем. JL: Гидрометеиздат, 1980.-351 с.
5. Волокитина А., Софронов М. классификация и картографирование растительных горючих материалов. – 2002.
6. M. S. Vdovenko, G. A. Dorrer, P. S. Shatalov, Computational tech. 18, 3. - 2013.
7. A. O. Zhdanova, R. S. Volkov, I. S. Voytkov, K. Y. Osipov, G. V. Kuznetsov. Int. J. Heat Mass Transf. 126, 703. - 2018.
8. Н.П. Копылов, А. Л. Чибисов, А. Л. Душкин, Е. А. Кудрявцев, Пожарная безопасность 4, 45. – 2008.
9. Н. В. Барановский, теплофизические аспекты лесной пожарной опасности, прогностическое моделирование. Диссертация доктора физико-математических наук. - 2012.
10. Кузнецов Г.В., Барановский Н.В.-Монография. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологические последствия. - Новосибирск: СО РАН. -301с.
11. Залесов А.С.- Классификация лесных пожаров. -Екатеринбург, 2011. -15с.
12. Учебно-методическое пособие «Тушение лесных пожаров». - Архангельск, 2013. -116с.

13. Clark, J. S. 1993. Fire, climate change, and forest processes during the last 2000 years. *Geological Society of America Special Paper* 276:295–308.
14. Swetnam, T. W., ed. 2003. Fire and climatic change in temperate ecosystems of the western Americas. Springer, New York.
15. Барановский Н. В., Наумкин А. С. математическое моделирование теплообмена в неоднородном слое лесного топлива под воздействием нагретой до высоких температур стальной частицы: матер. конф. 19. – Томск, 2014.
16. Бурутина М.С., Савенкова И.В., Шаяхметова Д.А., Адамович Т.Ю. - Пирологическая характеристика растительности лесных участков ГУ Соколовское ГЛУ.
17. Софронов М.А., Вакуров А.Д. Огонь в лесу. - Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 1981.
18. John D. DeNaan(авторизированный перевод П.П. Романенко, Н.В. ЮнСПб филиал ФГУ ВНИИПО МЧС России).
19. Гришин А.М., Голованов А.Н., Долгов А.А., Лобода Е.Л., Барановский Н.В., Русаков С.В. Экспериментальное и теоретическое исследование сушки лесных горючих материалов. - Теплофизика. - Томск, 2011. -13с.
20. Гришин А.М., Голованов А.Н., Катаева Л.Ю., Лобода Л.Е. Постановка и решение задачи о сушке слоя лесных горючих материалов // Физика горения и взрыва, 2001, Т.37, №1.
21. Гришин А.М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. – Новосибирск: Наука, 1992.
22. N. A. Nigay, G. V. Kuznetsov, S. V. Syrodoy, N. Y. Gutareva Estimation of energy consumption for drying of forest combustible materials during their preparation for incineration in the furnaces of steam and hot water boilers: *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects.* – 2019.
23. Гришин А. М., Сеницын С. П., Акимова И. В. Сравнительный анализ термохимических постоянных сушки и пиролиза лесных горючих материалов // ФГВ. —1991. — т. 27, № 6. — с. 17-23.

24. Белихмаер Я.А., Самольянинова Н.М., Смольянинов С.И. Техника эксперимента: Уч. Пособие. – Томск: Изд-во ТПИ, 1983.
25. Гришин А. М. математическое моделирование лесных пожаров и новые методы борьбы с ними. - М.: Изд-во Томского государственного университета, Томск, 1997.
26. Гришин А. М. и др., сравнительный анализ Термокинетической константы сушки и пиролиза лесных топлив, физика горения и взрыва, 27 (1991), 6, С. 17-24.
27. Lautenberger, C. H., Fernando-Pello, C. A., A Model for the Oxidative Pyrolysis of Wood, Combust Flame, 156 (2009), 8, pp. 1503-1513.
28. A. O. Zhdanova, G. V. Kuznetsov, J. C. Legros, P. A. Strizhak thermal conditions for stopping pyrolysis of forest combustible material and applications to firefighting: Thermal science: Year 2017, Vol. 21, No. 6A, pp. 2565-2577.
29. Касперов Г.И., Гоман П.Н. Исследование пожароопасных свойств лесных горючих материалов сосновых насаждений // Труды БГТУ. Сер. II. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. - 2010. - Вып. XVIII. - С. 337–340.
30. Материалы строительные. Метод испытания на распространение пламени. ГОСТ 30444–97. Введ. 01.10.98. – Минск : Межгос. научно-техническая комиссия по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве, 1998. – 12 с.
31. Барановский Н.В., Гоман П.Н. Экспериментальное исследование зажигания лесного горючего материала лучистым тепловым потоком. – Томск, 8 с.
32. Барановский Н.В. Математическое моделирование зажигания слоя лесного горючего материала сфокусированным потоком солнечного излучения: статья.- Пожаровзрывоопасность.- Томск, 2011.
33. Самарский А.А. Теория разностных схем. - М.: Наука,1983. – с. 33-36.

34. Г.В. Кузнецов, М.А. Шерemet Разностные методы решения задач теплопроводности.- Издательство Томского политехнического университета Томск, 2007.- 172 с.
35. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3: Многолетние данные. Части 1-6. Вып. 20. – СПб: Гидрометеоиздат, 1993. – 718 с.
36. Clar, S., B. Drossel, and F. Schwabl. 1996. Forest fires and other examples of self-organized criticality. *Journal of Physics: Condensed Matter* 8: 6803–6824.
37. Grassberger, P. 1993. On a self-organized critical forest fire model. *Journal of Physics A: Mathematical and General* 26:2081–2089.
38. Правила санитарной безопасности в лесах РФ / Утверждены Правительством Российской Федерации 29 июня 2007 г. № 414. – 2007. – 6 с.
39. Руководство по планированию, организации и ведению лесопатологического обследования в лесах РФ / Утверждены Правительством Российской Федерации 29 июня 2007 г. № 414. – 2007. – 73 с.
40. Оценка жизнеспособности деревьев сосны поврежденных огнем Гриднев Н.А. Воронежская государственная лесотехническая академия Воронеж, 2011. – 6 с.
41. Демаков Ю.П. Лесоводство. Ведение лесного хозяйства в лесах поврежденных пожаром [Текст] / Ю.П. Демаков, К.К. Калинин. – Йошкар-Ола, 2003. – 136с.
42. Рутковский И.В. Рекомендации по методике измерения электрофизиологических характеристик древесных растений с целью оценки их состояния и жизнеспособности [Текст] / И.В. Рутковский. – Пушкино: ВНИИЛМ, 1975. – 18с.
43. Положенцев П.А. Испытание гальваноэлектрического прибора в целях диагностики свежезараженных деревьев дуба / П.А. Положенцев, И.М. Саввин // Охрана природы Центрально-Черноземной полосы: Сб. науч. статей - Воронеж: Центрально-Чернозем. кн. изд-во, 1977. - Вып. 8. - С. 57-59.

44. Гришин А. М., Перминов В. А. Математическое моделирование воспламенения крон деревьев, горение, взрыв и ударные волны, т. 34, 1998, с. 378-386.
45. Конев Е. В. физические основы горения растительных материалов // наука, Новосибирск, 1977.
46. V. Perminov Mathematical modeling of forest fire initiation in three dimensional setting: USDA Forest Service Proceedings. - 2007.
47. Valery P., Victoria M. Mathematical modeling of the impact of forest fires on buildings and structures: MATEC Web of Conferences 209, (2018). - Tomsk, 2018.
48. Кулик Е.Н. Разработка и исследование системы мониторинга лесных пожаров по материалам космических съемок (на примере Новосибирской области). – 2000.
49. ГОСТ Р. 22.1. 09-99 “Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров //Общие требования. – 1999.
50. Стороженко Л.А., Мартыненко М.С. Организация базы данных в электронных форматах геоинформационных систем // В сборнике: Сергеевские чтения. Устойчивое развитие: задачи геоэкологии (инженерно-геологические, гидрогеологические и геокриологические аспекты) Молодежная конференция. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, Москва, 22-23 марта 2013. -М: РУДН. – Москва. – 2013. – С. 187-191.
51. В.Е.Ватагина, В.М.Рычкова Методы прогнозирование лесных пожаров ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» Екатеринбург, Россия.
52. Давлетшина И. Р., Стороженко Л. А. Использование данных дистанционного зондирования для обеспечения оперативного мониторинга лесных пожаров // Сборник докладов международной научнопрактической конференции «Уральская горная школа – регионам»: УГГУ. – Екатеринбург. – 2016. –С. 440-441.

53. Казарян М.Л., Шахраманьян М.А., Мониторинг лесных массивов с помощью космических снимков-контроль вырубок леса // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1.
54. Языков Е.Г., А.Ю. Шатилов Геоэкологический мониторинг: учебное пособие. – Томск, 2003. – 287 с.
55. Andrea Majlingová, Maroš Sedliak & Róbert Smreček Spatial distribution of surface forest fuel in the Slovak Republic. – Slovak Republic, 2018. – p. 368-372.
56. Nandin-Erdene Geserbaatar, Elbegjargal Nasanbat, Ochirkhuyag Lkhamjav The impact of forest fire on forest cover types in Mongolia // XXIV ISPRS Congress. – Mongolia, 2020. - p. 6.
57. Вержбицкий В.М. Основы численных методов. – Москва: Высшая школа, 2002. – 840 с.
58. Грубов В. И. Лещина // Деревья и кустарники СССР. Дикорастущие, культивируемые и перспективные для интродукции. / Ред. тома С. Я. Соколов. — М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1951. — Т. II. Покрытосеменные. — С. 380—383. — 612 с.
59. Хржановский В. Г. Розы. Филогения и систематика. Спонтанные виды европейской части СССР, Крыма и Кавказа. Опыт и перспективы использования / Отв. ред. чл.-корр. Азерб. АН И. И. Карягин. — М.: Сов. наука, 1958. — 497 с.
60. Кочкарёва Т. Ф. Роза, Шиповник. // Флора Таджикской ССР. Розоцветные / Гл. ред. П. Н. Овчинников. — Л.: Наука, 1975. — Т. 4. — 576 с.
61. Пайбердин, М. В. Шиповник. — М.: Гослесбумиздат, 1963.
62. Кудрявец Р.Д. Формирование и обрезка садовых растений. - 8 с
63. Н.В. Барановский, К.Н. Андреева Математическое моделирование теплового воздействия от фронта лесного пожара на ствол хвойного дерева: Cloud of Science. 2015. Т. 2. № 4. – Томск, 2015. – С. 591-598.
64. Кузнецов В.Г., Барановский Н.В. Математическое моделирование газофазного зажигания листовенного дерева наземным грозовым разрядом в приближении крупных сосудов с учетом испарения влаги. – Пожаровзрывобезопасность Том 20 №3. – 2011.

65. 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. – 73с.

66. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (с изменениями на 5 апреля 2021 года).

67. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

68. ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.

69. ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.

70. ГОСТ 12.0.003-15 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация – М.: ИПК Издательство стандартов, 2017. – 10 с.

71. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.

72. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав России, 1997. – 15 с.

73. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.

74. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов – М.: Стандартиформ, 2001. – 4с.

75. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"

76. СП 60.13330.2016 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003

77. Экологические проблемы, связанные с современной энергетикой и пути их решения [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://disinsect.ru/ekologicheskiye-problemy-svyazannyye-s-sovremennoy-energetikoy-i-puti-ikh-resheniya/>.

78. Назаренко О.Б. Расчет искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей. – Томск: Изд. ТПУ, 2001. – 15 с

79. ГОСТ 12.1.004-91, ССБТ «Пожарная безопасность. Общие требования». – М.: МВД России, 1992.

## Приложение А

**Object and method of research. Shrub branches as forest combustible material. Monitoring of the forest and the consequences of forest fires.**

Студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5БМ04	Шамсутдинова Инна Рустэмовна		

Руководитель ВКР:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент НОЦ И.Н. Бугакова	Барановский Николай Викторович	к.ф-м.н		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОИЯ ШБИП	Гончарова Любовь Анатольевна	к.п.н.		

## Types of forest fires

It is customary to understand the phenomenon of uncontrolled ignition, which occurs in several stages, in open spaces. In the conditions of a forest fire, heat and mass transfer processes take place such as convection, thermal conductivity and radiation, as well as the processes of heating, drying and pyrolysis of forest combustible material [1].

According to the composition of the forest, as well as the nature of the fire, fires are divided into three types:

- grassroots;
- riding;
- soil.

The main feature of a grassroots fire (Figure 1) is the characteristic distribution of fire over the ground cover, the fire seems to be spreading along the forest floor. In this case, fires of fallen leaves, branches, bark and grass occurs. Grassroots fires according to the speed of fire propagation, grassroots fires are runaway and stable [2].



Figure 1 - Grassroots fire.

A runaway grassroots fire has a high propagation velocity, which reaches 180-300 m/h and significantly depends on the wind speed in the surface layer. There is a burning of the forest floor by several centimeters. With this type of fire, areas with low humidity suffer, in turn, areas with high humidity are not exposed to fire [2].

With a stable grass-roots fire, complete combustion of the ground cover and forest litter occurs. Serious damage is caused to the forest area, some trees are dying.

The propagation speed varies, is determined by a number of factors and ranges from several meters to 180 m/h [2].

The main sign of a riding fire (Figure 2) is that the fire affects the crowns of trees, their burning occurs. Ignition Similarly to the fire discussed earlier, a riding fire is divided into a runaway and a steady one. Depending on the direction of the wind, as well as its speed, a runaway riding fire moves through the crowns of trees and has a high speed of propagation, in turn, with a steady fire, the fire spreads from the litter to the crowns of trees and individual trees are affected. The speed of the upper fires is much higher than the speed of the lower ones and is 300-1500 m/h for a steady one, and 4500 m/h or more for a runaway one [2].



Figure 2 - Riding fire [2].

A soil fire (Figure 3) occurs when a grass-roots fire penetrates deep into the forest floor and into the peat layer of the soil. It has a minimum propagation velocity of less than 1 m/h. Tree roots are damaged, causing trees to fall [2].



Figure 3 - Soil fire [2].

All the considered types of fire cause significant damage to forests, but depending on weather conditions, the scale of damage will be different.

## Using shrub branches as a forest combustible material

The interaction between fire, the composition and structure of forest combustible material, other landscape features and climatic conditions is the main factor determining the spatial and temporal dynamics of a forest fire [3].

The layer of forest combustible material has a heterogeneous structure, which has a significant impact on the occurrence of forest fires.

Shrubs and grasses are found in the taiga zone, as well as in places uncovered by forest.

The bush is burning like a riding fire. The spread of fire occurs on small twigs and leaves. With different variants of changes, larger branches may catch fire. Thermal energy can heat the entire shrub to the temperature of spontaneous combustion, and it will catch fire with a flame.

## Monitoring of the forest and the consequences of forest fires

Nowadays, fire services can predict the degree of fire danger of forest fires or specific weather conditions [4].

The complex indicator of V.G. Nesterov is used to assess fire danger, taking into account weather conditions, it takes into account all the main factors affecting the fire danger of LGM.

The complex indicator is determined by

$$K\Pi_H = \sum_1^n T_0(T_0 - \tau), \quad (1)$$

$T_0$  — is the temperature of the air for 14 hours local time;  $\tau$  — is the dew point for 14 hours (lack of humidity);  $n$  — is the number of days after the last rain.

When considering the case when precipitation falls more than 3 mm in one or several consecutive days, the definition of a complex indicator begins from scratch, while it is assumed that the first day will be the last day on which precipitation fell.

After determining the complex indicator, the fire hazard class is determined by the obtained value. There are 5 classes of fire hazard weather:

I: K from 0 to 300 is a class in which there is no fire hazard;

II: K from 301 to 1000 — with this class, the fire danger is small;

III: K from 1001 to 4000 — the fire danger is of an average nature;

IV: K from 4001 to 10000 - high fire hazard;

V: K more than 10000 is the last class, the fire danger is maximum, that is, an extreme danger.

The fire danger in the forest depends on a number of factors: drought, the number of fire sources, and the nature of vegetation. Therefore, with the same value of the indicator, a different class of fire danger is possible both in one area and in different areas, not only in one period, but also in different periods of the season. In view of this, monitoring systems use information obtained from various sources.

Methods of remote sensing of the Earth's surface from space, as well as from aircraft, which have found application in practice, are used to solve the following tasks:

- 1) fire hazard assessment;
- 2) determination of natural obstacles encountered when extinguishing fires;
- 3) detection of large foci, with heavy smoke in the territory;
- 4) determination of the energy parameters of the fire;
- 5) assessment of damage caused to forests as a result of fire.

The results of fires and their impact on the process of forest formation should be taken into account.

The main systems for monitoring forests are Earth remote sensing systems. Such systems are necessary to solve economic and environmental problems, including problems of occurrence and occurrence of forest fires. Forest monitoring systems allow you to get accurate information about the state of forests. Qualitatively organized monitoring of woodlands makes it possible to quickly respond and solve problems related to forest protection from fires [5].

In Russia, forests occupy a significant part of the territory, which means it is important to monitor at a high level [5]. Medium-resolution satellite images can provide information to identify major violations. High-resolution images are used for a detailed examination of forest areas.

Obstacles to obtaining reliable data on the degree of disturbance of natural landscapes based on cartographic materials may be the lack of reliable cartographic materials.

If only general geographic maps or only medium-resolution satellite images are used in the study of forests, it is impossible to obtain accurate data. The use of high-resolution satellite images has a high cost, which prevents them from being used everywhere.

Modern technologies offer a large number of software tools for monitoring the environment, which can be implemented when considering monitoring forests.

With the use of computer technology, the operational processing of materials allows you to obtain up-to-date information that can be used in various cases [6]:

- Updating of information data;
- Assessment of geological processes;
- Mapping of forests, monitoring their condition;
- Monitoring and detection of emergencies.

Data collection in the monitoring of forests is the main focus. Ultra-high resolution cameras are used for this. The development of the latest databases and software tools necessary for monitoring continues.

Thus, modern monitoring systems are automated, multi-purpose and widely targeted, capable of monitoring the quality of the environment and forests.

### **The object of research**

A branch of a shrub is considered as an object of research. It is supposed to consider several types of shrubs in order to assess how the type of shrub affects damage.

The external distinguishing feature of shrubs relative to trees is expressed in their stunting. Their main feature is a strong branching from the very base and the absence of a thick main trunk, like a tree.

Unlike trees, the development of shrubs is faster, shrubs enter the fruiting season faster. Their height is usually from 1 to 3-6 m.

If we consider the longevity of shrubs, then their life expectancy is about several decades, and only in rare cases do shrubs live up to 40-50 years. In the case of trees, their durability is much higher.

The root system of shrubs consists of several main roots located in the ground at a depth of no deeper than 1,5 meters, as well as many fouling and sucking roots arranged horizontally to cover the feeding areas [7].

Most often, the crown of the shrub is an oval projection consisting of many branches extending from the base.

Considering the transverse section of a shrub branch, three main layers can be considered: the core, the subcortical layer and the bark.

The core of the shrub consists of parenchymal uniformly developed cells and has intercellular spaces [7].

The core is covered with several layers of wood, along which nutrients move, in addition, there are also so-called thick-walled cells in it that ensure the strength of the shrub branch.

The woody layer, in turn, is surrounded by a ring of cambium. Cambium cells are able to divide: wood cells are deposited inside, and bast cells are deposited outside. Cambium is the most vital tissue. In the case when the wood dies, the shoot can recover due to the creation of a new cambium.



Figure 4 - Common hazel.

Consider the different types of shrubs. For example, common hazel, in Russia it can be found in the forest zone and steppe zone. Hazel grows in broad-leaved, mixed forests, in coniferous forests it occurs in the form of undergrowth, it also happens that it grows in cuttings, in some cases forming thickets [8].



Figure 5 - Rosehip.

Rosehip sometimes it is evergreen, has erect, or climbing or creeping stems, the height and length of which varies, respectively, the height of the rosehip varies from 15-25 cm to 8-10 m, and may vary depending on the habitat of the shrub [9]. Most often, rosehips are multi-stemmed shrubs.



Figure 6 - Bird cherry.

Common bird cherry, in Russia, is found in the European part, Western and Eastern Siberia, in the Far East. Bird cherry is a large shrub with a height of 0,6-10 m, with an elongated, dense crown. The bark of adult branches is matte, black-gray, with whitish lentils. Young twigs of olive shade or cherry-red.

### **The method of research**

It was decided that the task would be solved by the method of conic differences.

Equation (1) with the corresponding boundary conditions can be solved both numerically and using computer programs. The numerical solution method is understood as a solution obtained in the form of a table of numbers. In the case when a partial differential equation is solved. The finite difference method is used [10].

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

$\rho$  - is the density,  $c$  – is the specific heat capacity,  $\lambda$  – is the coefficient of thermal conductivity,  $Q_w(x, y, z, t, T)$  – is the power of internal heat sources [10].

When solving by the finite difference method: instead of derivatives in the differential equation, their finite-difference approximations are used. When using this method for thermal conductivity problems, a solid is represented as a collection of nodes. When replacing partial derivatives of the differential equation (2) with finite differences, a system of linear algebraic equations is obtained for determining the temperature for all grid nodes. The resulting system is unclosed, so that it becomes closed, a difference representation of boundary conditions is used. The resulting closed system of linear algebraic equations is solved by numerical methods using a computer.

### **One-dimensional problem of thermal conductivity**

Heat transfer through a flat infinite plate or insulated rod (Figure 7). At one boundary of the plate, a constant temperature of  $T_{\pi}$  is maintained, at the other boundary, the temperature of  $T_p$ . The initial temperature is  $T_0$ , there are no heat sources inside the plate.

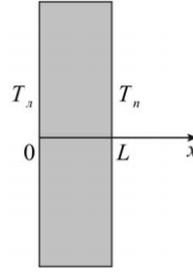


Figure 7 - Geometry of the problem.

The differential equation (2), in this case, will take the form:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, 0 < x < L. \quad (3)$$

$$t = 0: T = T_0, 0 \leq x \leq L;$$

$$x = 0: T = T_n, t > 0; \quad (4)$$

$$x = L: T = T_\pi, t > 0.$$

### Two-dimensional problem of thermal conductivity

Two-dimensional thermal conductivity problem for a homogeneous body.

Analysis of the heat transfer process in the plate (Figure 8). A plate with dimensions  $L = H$  is given. The horizontal boundaries are adiabatic, and the vertical boundaries maintain constant temperatures of  $T_h$  and  $T_c$ . The initial temperature of the solution area is  $T_0$ .

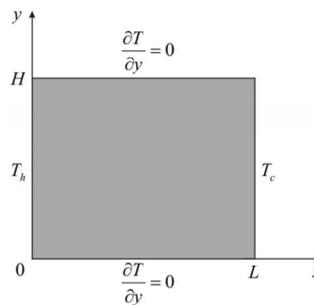


Figure 8 - Solution area.

In this case, the mathematical formulation of the problem will take the form:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right), \begin{cases} 0 < x < L, \\ 0 < y < H. \end{cases} \quad (5)$$

$$t = 0: T = T_0, 0 \leq x \leq L, 0 \leq y \leq H;$$

$$x = 0: T = T_h, t > 0; \quad (6)$$

$$x = L: T = T_c, t > 0;$$

$$y = 0: \frac{\partial T}{\partial y} = 0, t > 0;$$

$$y = H: \frac{\partial T}{\partial y} = 0, t > 0.$$

Two-dimensional thermal conductivity problem for an inhomogeneous body.

Let's analyze the heat transfer process in a plate containing two inclusions (Figure 9). We take the defining dimensions  $l_1, l_2, l_3, l_4, h_1, h_2, h_3, h_4$ , which are chosen in such a way that the difference grid used is uniform. The program will specify the number of intervals characterizing the segment under consideration.

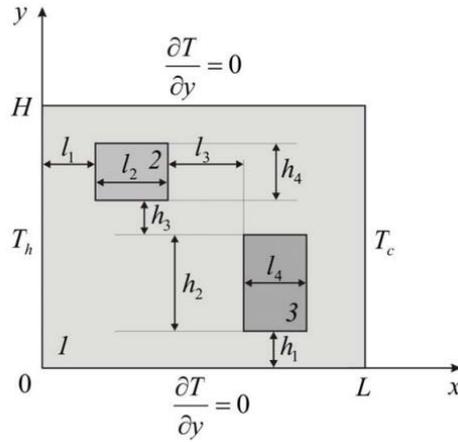


Figure 9 - Solution area.

Copper plate (1 in Figure 9) with dimensions  $H=L$ . Materials of inclusions: steel (2 in Figure 9) (with parameters  $\lambda_2, p_2, c_2$ ) and iron (3 in Figure 9) (with parameters  $\lambda_3, p_3, c_3$ ). Constant temperatures  $T_h$  at  $x=0$  and  $T_c$  at  $L=x$  are maintained at the vertical boundaries of the solution domain. Horizontal boundaries are adiabatic. The initial temperature of the solution area is  $T_0$ .

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_1 c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \left( \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial y^2} \right), \left\{ \begin{array}{l} 0 < x < l_1, 0 < y < H; \\ l_1 \leq x \leq l_1 + l_2, 0 < y < h_1 + h_2 + h_3, h_1 + h_2 + h_3 + h_4 < y < H; \\ l_1 + l_2 < x < l_1 + l_2 + l_3, 0 < y < H; \\ l_1 + l_2 + l_3 \leq x \leq l_1 + l_2 + l_3 + l_4, 0 < y < h_1, h_1 + h_2 < y < H; \\ l_1 + l_2 + l_3 + l_4 < x < L, 0 < y < H; \end{array} \right. \\ \rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \left( \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial y^2} \right), l_1 < x < l_1 + l_2, h_1 + h_2 + h_3 < y < h_1 + h_2 + h_3 + h_4; \\ \rho_3 c_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = \lambda_3 \left( \frac{\partial^2 T_3}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial y^2} \right), l_1 + l_2 + l_3 < x < l_1 + l_2 + l_3 + l_4, h_1 < y < h_1 + h_2. \end{array} \right. \quad (7)$$

$$t = 0: T = T_0, 0 \leq x \leq L, 0 \leq y \leq H;$$

$$x = 0: T = T_h, t > 0; \quad (8)$$

$$x = L: T = T_c, t > 0;$$

$$y = 0: \frac{\partial T}{\partial y} = 0, t > 0;$$

$$y = H: \frac{\partial T}{\partial y} = 0, t > 0.$$

$$\begin{cases} T_1(t, x, y) = T_2(t, x, y), \\ -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial t}, \end{cases} \begin{cases} x = l_1, h_1 + h_2 + h_3 < y < h_1 + h_2 + h_3 + h_4; \\ x = l_1 + l_2, h_1 + h_2 + h_3 < y < h_1 + h_2 + h_3 + h_4; \end{cases}$$

$$\begin{cases} T_1(t, x, y) = T_2(t, x, y), \\ -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial t}, \end{cases} \begin{cases} y = h_1 + h_2 + h_3, l_1 < x < l_1 + l_2; \\ y = h_1 + h_2 + h_3 + h_4, l_1 < x < l_1 + l_2; \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} T_1(t, x, y) = T_3(t, x, y), \\ -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial t}, \end{cases} \begin{cases} x = l_1 + l_2 + l_3, h_1 \leq y \leq h_1 + h_2; \\ x = l_1 + l_2 + l_3 + l_4, h_1 \leq y \leq h_1 + h_2; \end{cases}$$

$$\begin{cases} T_1(t, x, y) = T_3(t, x, y), \\ -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial t}, \end{cases} \begin{cases} y = h_1, l_1 + l_2 + l_3 < x < l_1 + l_2 + l_3 + l_4; \\ y = h_1 + h_2, l_1 + l_2 + l_3 < x < l_1 + l_2 + l_3 + l_4. \end{cases}$$

## Conclusion

The chapter describes a branch of a shrub as one of the forest combustible materials. The place of their distribution is described. A branch of a shrub was chosen as the object of research. The following characteristics of three types of shrubs are considered in the work. Their height, habitat, and external signs are presented.

The structure of the shrub branch is analyzed, it is assumed that the branch consists of three layers: the central part of the branch, the subcortical layer and the bark, while the foliage is not taken into account.

The simulation was performed using the finite difference method. Before modeling, a mathematical model was compiled and differential equations of heat transfer in the branches of a shrub were written.

## References

1. Kuznetsov G.V., Baranovsky N.V.-Monograph. Forecast of forest fires and their ecological consequences. -Novosibirsk: SB RAS. -301 p.
2. Educational and methodical manual Extinguishing forest fires. - Arkhangelsk, 2013. -116c.
3. Clark, J. S. 1993. Fire, climate change, and forest processes during the last 2000 years. Geological Society of America Special Paper 276:295–308 p.
4. Valery P., Victoria M. Mathematical modeling of the impact of forest fires on buildings and structures: MATEC Web of Conferences 209, (2018). - Tomsk, 2018.
5. Kazaryan M.L., Shakhramanyan M.A., Monitoring of forests using satellite images-control of deforestation // Modern problems of science and education. - 2015. – № 1-1.
6. Yazikov E.G., A.Y. Shatilov Geocological monitoring: textbook. – Tomsk, 2003. – 287 p.
7. Verzhbitsky V.M. Fundamentals of numerical methods. – Moscow: Higher School, 2002. – 840 p.
8. Grubov V. I. Leshchina // Trees and shrubs of the USSR. Wild, cultivated and promising for introduction. / Ed. volumes S. Ya. Sokolov. — M.— L.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1951. — Vol. II. Angiosperms. — pp. 380-383. — 612 p.
9. Hrzhanovsky V. G. Roses. Phylogeny and systematics. Spontaneous views of the European part of the USSR, Crimea and the Caucasus. Experience and prospects of use / Ed. chl.-corr. Azerbaijan. AN I. I. Karyagin. — M.: Sov. nauka, 1958. — 497 p.
10. G.V. Kuznetsov, M.A. Sheremet Difference methods for solving thermal conductivity problems.- Publishing House of Tomsk Polytechnic University Tomsk, 2007.- 172 p.