

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

Школа Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Отделение школы (НОЦ) Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Математическое моделирование влияния лесного пожара на ствол лиственного дерева

УДК 519.876:630.43:630.164.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7Б	Шакиров Тимур Маратович		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Клемашева Е.И.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Антонова А.М.	к.т.н.		

Томск – 2021 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
P1	Применять математические, естественнонаучные, инженерные, гуманитарные, социально-экономические знания, компьютерные технологии для решения задач расчета, анализа и автоматизации процессов в теплоэнергетических и теплотехнических установках	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> (1.1), Критерий 5 АИОР (п.1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов», 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей, 16.014 «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей»
P2	Формулировать задачи в области теплоэнергетики и теплотехники, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> (2.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов стандартов, 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей», 16.014 «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей»
P3	Планировать и проводить испытания и экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния систем теплоэнергетики и теплотехники, их оборудования, интерпретировать данные и делать выводы.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> (2.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей», 16.014 «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей»
P4	Применять практические знания принципов, технологий теплоэнергетической и теплотехнической отраслей	Требования ФГОС ВО, <i>CDIO Syllabus</i> (4.5, 4.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей»,
P5	Проектировать теплоэнергетические	Требования ФГОС ВО, <i>CDIO Syllabus</i> (4.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с

Код результата	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
	установки, теплотехнические системы и их оборудование	требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей», 16.014 «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей»
Р6	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области теплоэнергетики и теплотехники.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> (4.3, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей», 16.014 «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей»
Р7	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях теплоэнергетики и теплотехники.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> (3.2, 4.7), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей», 16.014 «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей»
Р8	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области теплоэнергетики и теплотехники.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> (3.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей», 16.014 «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей»

Код результата	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Р9	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> (2.5), Критерий 5 АИОР (п. 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов стандартов 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей», 16.014 «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей»
Р10	Учитывать социальные, правовые и культурные аспекты, вопросы охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности при осуществлении комплексной инженерной деятельности в области теплоэнергетики и теплотехники	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> (4.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно- 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей», 16.014 «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей»
Р11	Непрерывно самообучаться и совершенствовать свои компетенции в области теплоэнергетики и теплотехники.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> (2.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р12	Применять практические знания теплотехники, современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области теплотехники и теплотехнологий	Требования ФГОС ВО, <i>CDIO Syllabus</i> (4.5, 4.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов стандартов 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей», 16.014 «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей»

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 (специальность) Промышленная теплоэнергетика
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ И.Н.Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Антонова А.М.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Б7Б	Шакиров Тимур Маратович

Тема работы:

Математическое моделирование влияния лесного пожара на ствол лиственного дерева	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№29-58/с от 29.01.21

Срок сдачи студентом выполненной работы:	03.06.21
--	----------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объектом исследования является ствол лиственного дерева. Ствол дерева имеет слоистую структуру, поэтому рассмотрению подлежит двухслойная модель. Предмет исследования – теплоперенос в слоистой структуре ствола лиственного дерева при воздействии лесного пожара.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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>	Аналитический обзор литературы по тематике исследования. Формулировка физической и математической моделей воздействия лесного пожара на ствол лиственного дерева. Анализ результатов математического моделирования. Формулировка выводов по результатам численного исследования.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Клемашева Елена Игоревна
«Социальная ответственность»	Мезенцева Ирина Леонидовна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

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

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7Б	Шакиров Тимур Маратович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б7Б	Шакиров Тимур Маратович

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ Бутакова И.Н.
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

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

<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска; Размер оклада руководителя 35000 руб; Размер оклада исполнителя 15000 руб.</i>
<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Размер дополнительной заработной платы 12% Районный коэффициент 30 % Накладные расходы 16%</i>
<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды 30,2 %</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Описание потенциальных потребителей результатов реализации проекта SWOT-анализ Анализ конкурентных технических решений</i>
<i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Определение трудоемкости выполнения работ; Построение графика реализации проекта; Формирования бюджета выполнения работ.</i>
<i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Определение ресурсоэффективности исследования.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

*Диаграмма Ганта
Матрица SWOT*

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Клемашева Елена Игоревна	канд.экон.наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7Б	Шакиров Тимур Маратович		10.05.21

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б7Б	Шакиров Тимур Маратович

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	НОЦ Бутакова И.Н.
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Тема ВКР:

Математическое моделирование влияния лесного пожара на ствол лиственного дерева	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: математическая модель лесного пожара, который воздействует на ствол лиственного дерева Область применения: создание и усовершенствование систем геомониторинга лесных пожаров
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	1. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные факторы: - повышенная температура рабочей зоны -загрязнение воздушной среды в зоне дыхания -отсутствие или недостаток естественного или искусственного освещения -нервно-психические перегрузки на умственное напряжение Опасные факторы: - повышенное образование электростатических зарядов - не заземленное оборудование -незащищенные или неизолированные электропровода -возгорание в рабочей зоне
3. Экологическая безопасность:	Атмосфера: образование дыма, сажи и других вредных соединений,

	выброс метана, оксида углерода, диоксида углерода. Гидросфера: формирования кислотных осадков в следствии взаимодействия вредных соединений с влагой воздуха. Литосфера: высокотемпературные повреждения почвы и эрозия почвы
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: Лесные пожары, торфяные пожары, оползни, обвалы Наиболее типичная ЧС: лесной пожар

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7Б	Шакиров Тимур Маратович		10.05.21

Реферат

Бакалаврская работа включает в себя 71 страницу, 23 рисунка, 25 таблиц, 38 литературных источника.

Ключевые слова: лесные пожары, расчет температурного поля, ствол дерева, поражающий фактор лесного пожара.

Объектом исследования является ствол лиственного дерева

Предмет работы – закономерности процессов теплопереноса в слоистой структуре лиственного дерева.

Цель работы – численное моделирование процессов теплопереноса в слоистой структуре ствола лиственного дерева при воздействии лесного пожара для определения степени повреждения древостоев при воздействии поражающих факторов лесного пожара.

В процессе работы сформулированы физическая и математическая модели основных закономерностей теплопереноса в слоистой структуре ствола лиственного дерева при воздействии лесного пожара.

В результате работы получено распределение температуры в морфологических частях лиственного дерева и дана оценка степени повреждений и теплоустойчивости различных пород лиственного дерева при воздействии поражающих факторов лесного пожара.

Основные технологические характеристики: реализована математическая модель теплопереноса в слоях лиственного дерева с применением высокоуровневого языка программирования Pascal.

Оглавление

Введение.....	13
Глава 1. Современное состояние области исследования	14
1.1 Типы лесных пожаров	14
1.2 Характеристики лесных горючих материалов	15
1.3 Характеристика и строение лиственного дерева	16
1.4 Влияние поражающих факторов лесного пожара на дерево	19
1.5 Выводы по результатам аналитического обзора литературы	21
Глава 2. Постановка задачи исследования процесса теплопереноса в слоистой структуре ствола лиственного дерева при воздействии излучения от фронта лесного пожара	23
2.1 Геометрия области решения	23
2.2 Метод численного решения задач	23
Глава 3. Результаты расчетов.....	28
3.1 Математическая модель теплопереноса в стволе лиственного дерева при воздействии лесного пожара.	28
3.2 Основные закономерности теплопереноса в стволе лиственного дерева при воздействии лесного пожара.....	29
глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	44
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	44
4.1.1 Потенциальные потребители результатов реализации проекта.....	44
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений	45
4.1.3 SWOT-анализ.....	46
4.2. Календарное планирование научно-исследовательских работ	48
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	48
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	49

4.2.3 Разработка графика выполнения проекта.....	50
4.3 Бюджет проекта.....	51
4.3.1 Расчет прямых прочих расходов	52
4.3.2 Расчет затрат на экспериментальное оборудование.....	52
4.3.3 Расчет основной заработной платы.....	53
4.3.4 Расчет дополнительной заработной платы.....	55
4.3.5 Расчет отчислений во внебюджетные фонды	55
4.3.6 Расчет накладных расходов	55
4.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта ...	56
4.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	56
4.4.1 Оценка ресурсоэффективности проекта	56
Глава 5. Социальная ответственность.....	59
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	59
5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	59
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	60
5.2 Производственная безопасность.....	61
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.	61
5.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего).....	64
5.3 Экологическая безопасность.....	65
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	67
Список использованных источников	69

Введение

Лесные пожары являются опасным стихийным бедствием, приводящим к значительным изменениям состояния лесов. Лесные пожары наносят значительный урон всей экосистеме леса, а также несут угрозу человеческим жизням. Для России, проблема лесных пожаров является актуальной, так как почти половина территории страны покрыта лесами. За прошедший 2020 год в России зарегистрировано более 6000 тысяч очагов возгорания лесного пожара. Общая суммарная площадь распространения лесных пожаров приблизилась к миллиону гектаров.

Целью выпускной квалификационной работы является расчет параметров процесса влияния лесного пожара на теплоперенос в слоистой структуре ствола лиственного дерева. Определение и прогнозирование степени повреждения морфологических частей дерева, для дальнейшего анализа состояния древостоя после прохождения пожара.

Глава 1. Современное состояние области исследования

1.1 Типы лесных пожаров

Лесной пожар — это разновидность природного пожара, который неуправляемо распространяется по лесной площади.

Причины лесных пожаров принято подразделять на природного и антропогенного характера. Наиболее вероятной причиной возникновения пожара природного характера являются грозовые разряды и молнии. Доля естественных пожаров равняется 7% от общего количества лесных пожаров. Таким образом, деятельность человека приводит к большему количеству возникновения лесных пожаров. Не редко прибегают к управляемым пожарам, вызванным искусственно. Целью данных пожаров является: сжигание опасных ЛГМ, уничтожение отходов, вызванных лесозаготовочными работами, подготовка площадей леса для посадки молодых саженцев, борьба с болезнями леса и т.д. Кроме того, нередки случаи намеренного поджога лесных массивов с целью последующей их вырубки.

Среди лесных пожаров выделяют несколько основных типов распространения: верховые — распространяются по кронам деревьев; низовые — по верхнему слою почвы; подземные — как следует из названия они распространяются преимущественно под землей.

Скорость распространения пожара варьируется от 4 м/мин до 80 м/мин. Пламя может достигать 3 м в высоту. Температура горения от различных типов пожара изменяется от 900 К до 1100 К.

Беглый низовой пожар движется с высокой скоростью и выжигает молодые кустарники и деревца. Некоторые части остаются нетронуты из-за высокого содержания влаги на этих участках. Чаще всего такие пожары совпадают с весенним периодом, когда начинает подсыхать верхний слой лесных горючих материалов.

В сравнении с беглыми, устойчивые низовые пожары распространяются гораздо быстрее. И происходят они в засушливые периоды времени года.

Устойчивые пожары наносят большой вред корневой системе дерева. Кроме того, они полностью уничтожают напочвенный покров.

Верховые пожары отличаются своей высокой температурой, которая равняется 1100 К, а также скоростью распространения, которая достигает немислимые 70км/ч.

Сила низового пожара зависит от скорости распространения и высоты. Выделяют 3 типа – это слабый, средний и сильный. Их скорости равны менее 1 м/мин, от 1 до 3 м/мин и свыше 3 м/мин соответственно. Высота слабого пожара не превышает 60 см, а среднего не более 160 см. При сильном пожаре значения высоты превышает 160 см.

Сила верхового пожара определяется скоростью распространения.

Скорость верхового пожара:

- Слабый до 0,2 км/ч;
- Средний до 6 км/ч;
- Сильный свыше 6 км/ч.

1.2. Характеристики лесных горючих материалов

Лесными горючими материалами называются компоненты лесного биоценоза, способные воспламенятся и гореть под влиянием поражающих факторов лесного пожара. Мхи и лишайники наиболее пожароопасные среди всех напочвенных ЛГМ, так как они воспламеняются быстрее, чем травы и кустарники, тем самым оказывая наибольшее влияние на возникновение пожара и его распространение.

Стволы и ветви деревьев очень редко сгорают полностью в лесных пожарах, хоть и представляют наибольшую фитомассу лесного ценоза. Иногда можно встретить полностью сгоревшие молодые деревца при верховых пожарах в густых лесах. В древостоях же старших возрастов на стволах и

ветвях сгорают мхи и лишайники, обгорают поверхность корки. Наиболее частое явление — это гибель древостоев, но не полное их сгорание.

ЛГМ подразделяются на 3 типа: проводники горения, поддерживающие горение и задерживающие горение.



Рисунок 1 – типы ЛГМ

Количество ЛГМ, играет основную роль в развитии пожаров, так как скорость распространения пожара напрямую зависит от запаса и структуры лесных горючих материалов. Однако, для распространения пожара необходимо не менее 2,5 тонн ЛГМ на гектар.

1.3. Характеристика и строение лиственного дерева

В растущем дереве выделяют три основные его части — крону, ствол, корни [11].

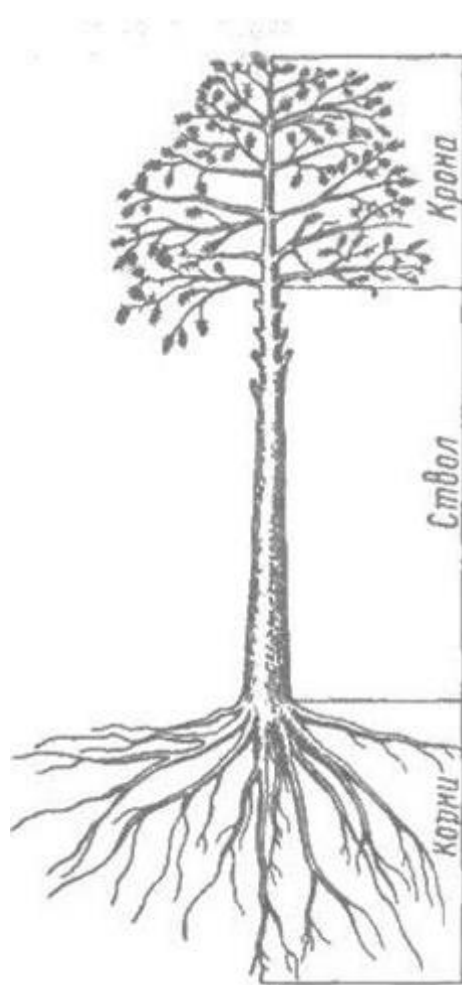


Рисунок 2 – Основные части дерева

Крона — это совокупность ветвей и листьев, отходящих от ствола, в верхней части дерева.

Ствол один из важнейших органов дерева, он служит для размещения и поддержания кроны. В стволе дерева происходит транспортировка воды с растворенными в ней минеральными веществами вверх, а с органическими веществами — вниз к корням. Кроме того, в стволе дерева накапливаются и хранятся питательные вещества, необходимые дереву для жизни и роста.

Корни играют основную роль в питании дерева, накапливают и проводят воду с растворенными в ней минеральными веществами вверх по стволу.

Кроме того, именно корни дерева удерживают дерево в вертикальном положении



Рисунок 3 – Внутреннее строение дерева

Сердцевина – центральная часть ствола, расположенная по всей его длине. Имеет рыхлую структуру. От сердцевины отходят сердцевидные лучи, которые служат для накопления и проведения воды и питательных веществ от сердцевины к коре в горизонтальном направлении. У лиственных пород количество

Ядро – слой, находящийся в центре ствола дерева и, как правило, отличающийся от основной древесины более темным цветом, так как считается, что это «мертвая», с остановившимися биологически активными процессами древесина. Более темный цвет древесины не всегда характерный признак ядра, так как существуют породы деревьев, у которых вообще цвет древесины, после образования ее в камбии, остается во времени неизменным, т.е. визуально молодая и старая древесина неразличимы.

Заболонь – молодой, физиологически активный, наружный слой ствола дерева. Заболонь служит для транспортировки воды к кроне дерева. Этот слой наиболее уязвим к воздействию грибков, плесени и насекомых-вредителей.

Камбий представляет удлиненные клетки с заостренными скошенными концами. Они сильно вытянуты и на продольном срезе древесины обладают практически правильной прямоугольной формой. Каждая клетка содержит ядро, цитоплазму и другие свойственные вещества. Для камбия характерна тонкая оболочка, потому зимой радиальные стенки утолщаются. С одной стороны ствола клетки камбия образуют древесную кору, а с другой – непосредственно древесину, причем последней образуется гораздо больше, чем первого элемента. Камбий играет основную роль в росте дерева и смерть живых клеток камбиального слоя неминуемо приведет к гибели дерева, так как именно в нем создаются новые клетки.

Лубяной слой коры – слой древесины, следующий сразу за пробковой корой, и предшествующий камбию. Основная функция этого слоя – транспортировка питательных веществ.

1.4. Влияние поражающих факторов лесного пожара на дерево

Основными поражающими факторами лесных пожаров являются: высокая температура, вызывающая возгорание всего, что окажется в районе пожара, непосредственное воздействие огня, тепловое излучение от пламени, задымление и загазованность в районе пожара.

Повреждение кроны, живых тканей ствола и корней имеет важное значение для жизнедеятельности растений. Повреждение корневой системы приводит к смерти любой породы деревьев. Совокупное воздействие тепловых потоков губительно сказывается на деревьях. Верховые и почвенные пожары чаще всего приводят к полной гибели дерева. Повреждения деревьев при низовых пожарах напрямую зависят от его вида, скорости и интенсивности.

Чаще всего, основным вид повреждений при лесном пожаре – ослабление дерева. Деревья с поврежденными внешними слоями могут стать легкой жертвой грибов, плесени, насекомых и других вредителей, что может привести к летальным исходам для дерева.

Высокие температуры становятся причиной различных повреждений дерева. Устойчивый низовой пожар нередко приводит к гибели дерева в следствии уничтожения живых клеток камбиального слоя в стволе дерева. Прогар по всему периметру ствола повреждает слой коры и ослабляет дерево. В следствии этих причин, можно сделать вывод, что устойчивость дерева к поражающим факторам лесного пожара выражается в обратной зависимости от площади повреждения камбийного слоя.

В первую очередь, деревья погибают от повышенных температур живых клеток в критических зонах дерева (крона, ствол, корни) до летального уровня. Так как камбий является одним из критически важных для жизнедеятельности дерева и расположен вблизи внешнего слоя дерева, то он первым подвергается воздействию высоких температур и повреждается из-за их действия. Камбий очень чувствителен даже к небольшому повышению температуры. Так, смерть живых клеток наступает при 48 °C при длительном воздействии, а при кратковременном воздействии в несколько минут летальной будет температура в 54 °C. Как было сказано выше, дерево прекращает свою жизнедеятельность при летальном поражении живых клеток камбиального слоя.

Основными факторами, влияющими на степень повреждений живых растений в лесном пожаре, являются

- Начальная температура растений, чем она выше, тем меньше необходимо затрат тепла для создания летальных температур.
- Толщина коры является важным защитным фактором. Кора имеет теплоизолирующие свойства. Различия в устойчивости различных пород деревьев напрямую зависят от толщины коры. Толщина коры является

наиболее важным и легко измеряемым признаком теплостойкости деревьев.

- Степень укоренения корней. Устойчивость корней к поражающему фактору лесного пожара является глубина, на которую корни уходят вглубь, и толщина теплоизоляционного слоя, роль которого выполняет минеральный грунт. Корни слабо защищены от воздействия высоких температур ввиду своего строения, так как внешний защитный слой очень тонкий, то они легко повреждаются под действием поражающих факторов лесного пожара.

Все вышеперечисленные факторы играют решающую роль в достижении летальных температур живых тканей органов дерева. Повреждения могут варьироваться от незначительного поражения дерева до полной гибели.

Однако, степень повреждения дерева от воздействия лесного пожара зависит от множества пересекающихся факторов, таких как толщина коры и ее теплофизические свойства, наружная температура воздуха и т.д. таким образом, чтобы оценить теплостойкость дерева нужно комплексно оценивать все взаимодействующие факторы от лесного пожара.

1.5. Выводы по результатам аналитического обзора литературы

Анализ литературы показывает, что влияние лесного пожара на вегетативные органы дерева слабо изучены. Имеются сравнительные данные фактического и статистического состоянию лесов, полученные в послепожарный период на пожарищах и гарях. Невозможность проведения эксперимента в реальных условиях не дает возможности получить реальные данные для прогнозирования влияния лесного пожара на деревья. Таким образом, создание математической модели теплопереноса в стволе лиственного дерева и проведение численного анализа является оптимальным решением для получения необходимых для оценки состояния древостоев после пожара.

Глава 2. Постановка задачи исследования

2.1 Геометрия области решения

Ствол лиственного дерева представляет из себя слоистую структуру с основными слоями в виде сердцевины и слоя. В качестве модели рассматривается одномерная двухслойная модель ствола дерева. Теплота между слоями передается теплопроводностью

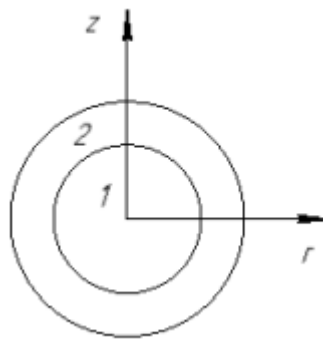


Рисунок 4 – Геометрическая постановка задачи

1 – Сердцевина; 2- Кора

2.2 Метод численного решения задач

Для численного решения поставленной задачи будет использован метод конечных разностей (МКР). Сущность метода МКР заключается в замене производных в дифференциальных уравнениях и соответствующих краевых условиях конечно-разностными операторами. В результате решение краевой задачи сводится к решению системы конечно-разностных

Решая задачи теплопроводности методом конечных разностей, твердое тело представляют в виде совокупности узлов. Для определения температуры в каждом узле сетке нужно получить систему линейных алгебраических уравнений, путем замены частных производных ДУ конечными разностями. Такая система решается численными методами с помощью ЭВМ [21].

Двухслойная задача в цилиндрических координатах решается методом конечных разностей.

Геометрию задачи можно представить следующим образом:

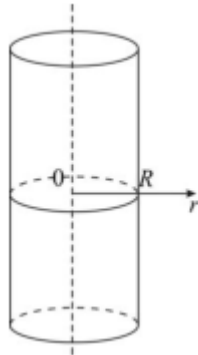


Рисунок 5 – Геометрия задачи [21]

Математическая постановка задачи будет иметь вид [21]:

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

Записываются начальные и граничные условия:

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

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

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

Для решения краевой задачи используется МКР на основе неявной четырехточечной схемы.

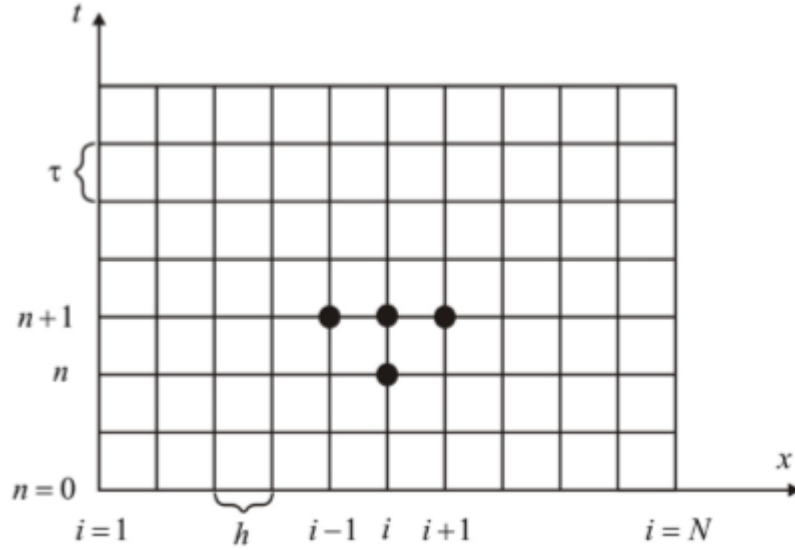


Рисунок 6 – Шаблон неявной четырехточечной разностной схемы [21]

Из шаблона схемы видно, что три точки берутся на новом слое, а одна точка со старого временного слоя.

Вводится равномерная пространственная и временная сетка:

$$r_i = (i - 1) \cdot h, \quad i = 1, \dots, N;$$

$$r_1 = 0, \dots, r_N = R;$$

$$h = \frac{R}{N - 1}$$

$$t_n = n \cdot \tau, \quad i = 0, 1, \dots, M;$$

$$t_0 = 0, \dots, t_M = t_{\text{конечное}};$$

$$\tau > 0.$$

Заменяем дифференциальные операторы в уравнении на их конечно-разностные аналоги:

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

Прогоночные коэффициенты в точке контакта двух сред :

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) = \frac{1}{h^2} \left[r_{i+\frac{1}{2}} \cdot T_{i+1}^{n+1} - \left(r_{i-\frac{1}{2}} + r_{i+\frac{1}{2}} \right) \cdot T_i^{n+1} + r_{i-\frac{1}{2}} \cdot T_{i-1}^{n+1} \right],$$

Где:

$$r_{i+\frac{1}{2}} = \frac{r_i + r_{i+1}}{2}$$

$$r_{i-\frac{1}{2}} = \frac{r_{i-1} + r_i}{2}$$

В результате замены частных производных соответствующими конечными разностями получаем:

$$\rho \cdot c \cdot \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\tau} = \frac{\lambda}{r_i \cdot h^2} \left[r_{i+\frac{1}{2}} \cdot T_{i+1}^{n+1} - \left(r_{i-\frac{1}{2}} + r_{i+\frac{1}{2}} \right) \cdot T_i^{n+1} + r_{i-\frac{1}{2}} \cdot T_{i-1}^{n+1} \right],$$

$$i = 2, \dots, N-1, n = 0, 1, \dots, M.$$

Затем приводим получившуюся систему к общему виду:

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

Где:

$$A_i = \frac{\lambda}{h^2} \cdot \frac{r_{i+\frac{1}{2}}}{r_i};$$

$$B_i = \frac{\lambda}{h^2} \cdot \frac{r_{i-\frac{1}{2}} + r_{i+\frac{1}{2}}}{r_i} + \frac{\rho \cdot c}{\tau};$$

$$C_i = \frac{\lambda}{h^2} \cdot \frac{r_{i-\frac{1}{2}}}{r_i}$$

$$F_i = -\frac{\rho \cdot c}{\tau} \cdot T_i^n.$$

Прогоночные коэффициенты определяются по выражению:

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

Поле температуры по формуле:

$$T_i^{n+1} = \alpha_i \cdot T_{i+1}^{n+1} + \beta_i$$

Далее по левому граничному условию определим начальные прогоночные коэффициенты α_1 и β_1 из соотношения $T_1 = \alpha_1 \cdot T_2 + \beta_1$. На левой границе стоит условие симметрии:

$$\left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=0} = 0;$$

$$\frac{T_2 - T_1}{h} = 0;$$

$$T_1 = T_2;$$

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

На правой границе температура известна $T|_{r=R} = T_h$.

Выводы

В результате проделанной работы была разработана математическая модель влияния лесного пожара на ствол лиственного дерева. Проведено численное моделирование теплопереноса в слоистой структуре ствола лиственного дерева с целью определения степени повреждения внутренней и внешней структуры, а также морфологических частей, ствола дерева при различных поражающих факторах лесного пожара.

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В данной работе рассматривается математическое моделирование влияние лесного пожара на ствол дерева. Для математического моделирования использовалась среда программирования Delphi. Все графические результаты обрабатывались в пакете программы OriginPro 8.5.

Цель работы – создание рабочей модели, способной показывать потенциально пораженную зону ствола дерева, и рассчитать экономические затраты подобной разработки. В ходе исследования необходимо решить следующие задачи:

1. Выявить потенциальных потребителей результатов проекта;
2. Сделать анализ конкурентных технических решений;
3. Провести SWOT-анализ;
4. Распланировать структуру работы в рамках научного проекта;
5. Определить трудоемкость работ;
6. Разработать график проведения научного исследования;
7. Рассчитать бюджет научно-технического проекта;
8. Оценить эффективность исследования.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Потенциальные потребители результатов реализации проекта

Разработанная математическая модель позволит оценить степень повреждения ствола дерева после прохождения лесного пожара. Полученные модели также могут применяться региональными подразделениями МЧС России, нештатными аварийно-спасательными формированиями и другими

подразделениями, связанными с ликвидацией ЧС. На территории Томской области потенциальными потребителями являются главное управление МЧС России по Томской области, пожарные части МЧС России.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения, а также помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы повысить конкурентоспособность исследования.

Математическое моделирование производилось в среде программирования Delphi. Конкурентами в данном случае выступают математические модели, разработанные с помощью других языков или сред программирования.

Таблица 11 - Оценочная карта для сравнения конкурентных разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки							
Удобство эксплуатации	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15
Экономия ресурсов	0,1	4	3	2	0,4	0,3	0,2
Надежность	0,05	5	2	3	0,25	0,1	0,15
Безопасность испытаний	0,08	5	3	4	0,4	0,24	0,32
Погрешность испытаний/измерений	0,1	4	1	4	0,4	0,1	0,4
Количество изменяемых параметров и условий	0,2	4	4	3	0,8	0,8	0,6
Экономические критерии оценки							
Цена	0,15	4	4	2	0,6	0,6	0,3
Предполагаемый срок эксплуатации	0,17	4	3	2	0,68	0,51	0,34
Послепродажное обслуживание	0,03	4	4	3	0,12	0,12	0,09
Срок выхода на рынок	0,07	2	4	5	0,14	0,28	0,35
Итого	1	40	32	31	3,99	3,25	2,9

Где K1 – это среда разработки Visual Studio, K2 – это среда разработки Xamarin Studio.

По составленной таблице видим, что разработанный проект является конкурентоспособным на рынке, имея 3,99 балла. При этом, он обладает несколькими преимуществами перед аналогами:

1. Разрабатываемый в рамках проекта метод экономичнее с точки зрения ресурсов.
2. Наиболее безопасен и долговечен.
3. Обладает улучшенными эксплуатационными характеристиками.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Он проводится в несколько этапов.

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

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках третьего этапа лежит составление итоговой матрицы SWOT-анализа. Результаты учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках исследования.

Таблица 12 – SWOT-анализ

	Сильные стороны: С1. Использование современного оборудования и программного обеспечения. С2. Заинтересованность всех сторон, относящихся к проекту. С3. Создание моделей позволит постоянно менять условия и параметры исследуемых математических функций. С4. Низкая стоимость относительно других технологий.	Слабые стороны: Сл1. Программный пакет моделирования может дать сбой. Сл2. Стоимость лицензированного программного пакета. Сл3. Ограниченное количество исполнителей научно-исследовательского проекта.
Возможности: В1. Отсутствие конкурентов по цифровому моделированию в исследуемой области. В2. Возможность сотрудничества с ведущими космическими предприятиями стран мира. В3. На данный момент нет аналогов по изучению тематики. В4. Применение результатов проекта в любой технической деятельности.	Основная возможность – увеличение скорости локализации пожара в результате использования технологии. Относительная дешевизна позволит многим организациям приобрести продукт.	Ограниченное количество исполнителей проекта может повлечь за собой недостаток времени у основного исполнителя, что скажется на качестве выполнения работ. На основе возможностей и слабых сторон разрабатываются методы по улучшению качества проекта, прорабатывается сотрудничество с заинтересованными организациями..
Угрозы: У1. Отсутствие у персонала навыков в использовании программы. У2. Появление на рынке новых технологий. У3. Отсутствие спроса на программу.	Спрос на продукт не будет теряться из-за выгоды моделирования, так как экспериментальная реализация имеет ряд ограничений как законом, так и по времени реализации. Поддержка и усовершенствование уже готовой программы позволит оставаться конкурентоспособными в будущем.	Обучение персонала организаций для работы с программой. Расширение области применения 31 программы.

Таким образом, проект и разработанная модель имеет место быть на рынке. Стратегия для устранения угроз одна – поддержка и улучшение

готовой программы. В рамках улучшения необходимо учитывать технологические новшества в данной отрасли и использование новых технологий.

4.2. Календарное планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Выполнение выпускной квалификационной работы подразумевает участие двух лиц: научного руководителя и студента-дипломника. Перечень этапов работ приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Перечень этапов работ и распределения исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Литературный обзор	Исполнитель
Подготовительные работы к испытаниям	3	Разработка и написание методической части работы	Исполнитель, научный руководитель
Разработка цифровых моделей	4	Изучение архитектуры программного пакета	Исполнитель
	5	Определение граничных условий моделирования	Научный руководитель, исполнитель
Проведение экспериментальных исследований	6	Моделирование теплопереноса в стволе дерева	Исполнитель
	7	Проведение расчетов и обоснований	Научный руководитель, исполнитель
Обсуждение и оценка результатов	8	Оценка результатов эксперимента и моделирования	Научный руководитель, исполнитель
Оформление отчета по научному исследованию	9	Составление пояснительной записки	Исполнитель
	10	Проверка выпускной квалификационной работы	Научный руководитель
Представление отчета о научной работе	11	Подготовка к защите выпускной квалификационной работе	Научный руководитель, исполнитель

	12	Защита квалификационной работы	выпускной	Исполнитель
--	----	-----------------------------------	-----------	-------------

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Выполнение данного этапа подразумевает за собой расчет трудоемкости выполнения научного исследования и определение продолжительности каждой работы в рабочих днях, с учетом выполнения работ несколькими исполнителями сразу. Результаты расчетов приведены в таблице 14. Научный руководитель – НР; Студент – С.

Таблица 14 – Календарная продолжительность работ

№	Название работы	Трудоемкость работ, чел.-дн.						Длительность работ в рабочих днях	
		t _{min}		t _{max}		t _{ож}			
		НР	СД	НР	СД	НР	СД	НР	СД
1	Составление и утверждение технического задания	1	-	2	-	1,4	-	1,4	-
2	Литературный обзор	-	14	-	18	-	15,6	-	15,6
3	Разработка и написание методической части работы	1	2	1	7	1	4	0,5	2
4	Изучение архитектуры программного пакета	-	3	-	8	-	4,4	-	4,4
5	Определение граничных условий моделирования	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5
6	Моделирование теплопереноса в стволе дерева	-	10	-	20	-	12	-	12
7	Проведение расчетов и обоснований	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5
8	Оценка результатов эксперимента и моделирования	1	3	3	5	1,8	3,8	0,9	1,9
9	Составление пояснительной записки	-	10	-	20	-	12	-	12
10	Проверка выпускной квалификационной работы	3	-	5	-	3,8	-	3,8	-

11	Подготовка к защите выпускной квалификационной работе	5	5	10	10	7	7	3,5	3,5
12	Защита выпускной квалификационной работы	-	1	-	1	-	1	-	1

4.2.3 Разработка графика выполнения проекта

В качестве наглядного изображения календарного графика выполнения работы удобнее всего использовать диаграмму Ганта. Длительность на данном графике выражается в календарных днях. Для удобства изображения, разбиваем месяцы по неделям. За начало работ принимаем 01.02.2021.

Продолжительность работ в календарных днях представлена в таблице 15. Коэффициент календарности для 2021 года равен 1,48.

Таблица 15 – Продолжительность работ в календарных днях

№	Название работ	Длительность работ в рабочих днях		Длительность работ в календарных днях	
		НР	И	НР	И
1	Составление и утверждение технического задания	1,4	-	3	-
2	Литературный обзор	-	15,6	-	24
3	Разработка и написание методической части работы	0,5	2	1	3
4	Изучение архитектуры программного пакета	-	4,4	-	7
5	Определение граничных условий моделирования	0,5	0,5	1	1
6	Моделирование теплопереноса в стволе дерева	-	12	-	18
7	Проведение расчетов и обоснований	0,5	0,5	1	1

8	Оценка результатов эксперимента и моделирования	0,9	1,9	2	3
9	Составление пояснительной записки	-	12	-	18
10	Проверка выпускной квалификационной работы	3,8	-	6	-
11	Подготовка к защите выпускной квалификационной работе	3,5	3,5	6	6
12	Защита выпускной квалификационной работы	-	1	0	2

На основании таблицы 15 строим диаграмму Ганта (рисунок 23).

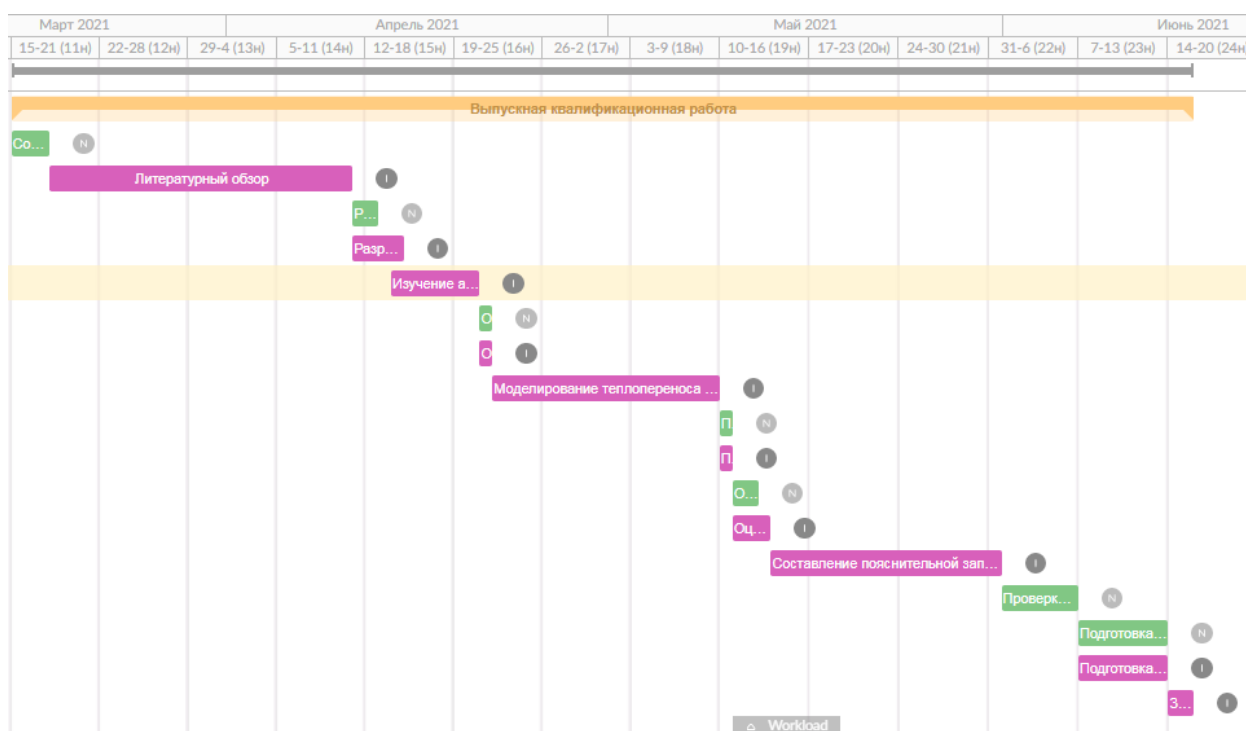


Рисунок 23 – Диаграмма Ганта: N – НР; I – Исполнитель

Согласно построенной Диаграмме Ганта, продолжительность проекта составит 93 календарный день. Временная нагрузка научного руководителя составит 20 день, студента-дипломника – 83 дня.

4.3 Бюджет проекта

Расчет бюджета проекта основывается на определении следующих статей:

- расчет материальных затрат;
- расчет затрат на экспериментальное оборудование;
- определение полной заработной платы исполнителей проекта с учетом отчислений во внебюджетные фонды;
- расчет накладных расходов.

4.3.1 Расчет прямых прочих расходов

Расчет прямых прочих расходов данного проекта включает в себя затраты на права пользования программным пакетом Delphi, программным пакетом OriginPro 8.5.

Прямые прочие расходы представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Прямые прочие расходы проекта

Наименование	Количество, шт.	Цена за ед., руб.	Стоимость, руб
Программное обеспечение OriginPro 8.5	1	46 000,00	46 000,00
Программное обеспечение Delphi	1	30 000,00	30 000,00
ИТОГО:			76 000,00
Амортизационные отчисления			1 583,33

$$A_n = \frac{1}{4} * 100\% = 25 \% - \text{норма амортизации};$$

$A_r = 76000,00 * 0,25 = 19000,00$ руб. – годовые амортизационные отчисления;

$A_m = \frac{19000}{12} = 1\,583,33$ руб. – ежемесячные амортизационные отчисления;

$A = 1\,583,33 * 1 = 1\,583,33$ руб. – затраты на амортизацию в проекте.

4.3.2 Расчет затрат на экспериментальное оборудование

К затратам на экспериментальное оборудование отнесем приобретение персонального компьютера. Срок эксплуатации оборудования примем 4 года.

Таблица 17 – Затраты на экспериментальное оборудование

Наименование	Количество, шт.	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб
Персональный компьютер	1	62 000,00	62 000,00
Всего за оборудование			62 000,00
Расходы на транспортировку (15%)			9 300,00
ИТОГО:			71 300,00
Амортизационные отчисления			1 980,36

$$A_n = \frac{1}{3} * 100\% = 33,33 \% - \text{норма амортизации};$$

$A_r = 71300 * 0,3333 = 23764,29$ руб. – годовые амортизационные отчисления;

$A_m = \frac{23764,29}{12} = 1980,36$ руб. – ежемесячные амортизационные отчисления;

$$A = 1980,36 * 1 = 1980,36 \text{ руб.} - \text{затраты на амортизацию в проекте.}$$

4.3.3 Расчет основной заработной платы

Произведем расчет основной заработной платы согласно принятым правилам расчета с использованием различных коэффициентов, условий работы и т.д.

Оклады участников проекта принимаем равным согласно окладам ТПУ на 2021 год, соответственно для научного руководителя, к.т.н. доцента 35 000 руб., для исполнителя выплачивается заработная плата в размере 15 000 руб. При шестидневной рабочей недели отпуск и выходные по болезни составляет 48 рабочих дня при количестве месяцев работы без отпуска, равном 10,4 месяца.

Составляем годовой баланс рабочего времени (таблица 18).

Таблица 18 – Годовой баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	<i>Научный руководитель</i>	<i>Исполнитель</i>
Количество календарных дней	365	365
Количество нерабочих дней	66	118
Потери рабочего времени	56	28
Годовой фонд рабочего времени	243	219

Полная заработная плата состоит из основной $Z_{\text{осн}}$ и дополнительной $Z_{\text{доп}}$:

$$Z_{\text{полная}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}$$

Основная заработная плата рассчитывается следующим образом:

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

$T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником.

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

Среднедневная заработная плата определяется по формуле:

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

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

M – количество месяцев работы, равное 11,2 при пятидневной рабочей неделе;

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

Месячный должностной оклад работника рассчитываем по формуле:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} * (K_{\text{пр}} + K_{\text{д}}) * K_{\text{р}}$$

Расчеты фиксируем в таблице 19.

Таблица 19 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{б}}$, руб	$K_{\text{пр}}$	$K_{\text{д}}$	$K_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, руб	$Z_{\text{дн}}$, руб	$T_{\text{р}}$, раб дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Исполнитель	15 000	0	0	1,3	19 500	1 019,1	83	84 585,3
Научный руководитель	35 000	1,3	0	1,3	59 150	3 091,26	20	61 825,2
ИТОГО								146 410,5

4.3.4 Расчет дополнительной заработной платы

Примем, дополнительная заработная плата составляет 12% от основной. Результаты расчета всей заработной платы сведем в таблицу 10.

Таблица 20 – Заработная плата исполнителей проекта

Заработная плата	Исполнитель	Научный руководитель
Основная зарплата, руб.	84 585,3	61 825,2
Дополнительная зарплата, руб.	10 150,24	7 419,02
Зарплата исполнителя, руб.	94 735,54	69 244,22
Итого , руб.	163 979,76	

4.3.5 Расчет отчислений во внебюджетные фонды

Расчет отчислений во внебюджетные фонды основывается на выплатах в фонд социального страхования, пенсионный фонд и фонд обязательного медицинского страхования.

Отчисления во внебюджетные фонды с зарплаты студента и руководителя составят 30,2% и будут равны 49 521,89 руб.

$$З_{\text{соц}} = 30,2\% * (З_{\text{зп}}) = 0,302 * 163\,979,76 = 49\,521,89 \text{ руб.}$$

4.3.6 Расчет накладных расходов

Накладные расходы представляют собой расходы на такие статьи расходов, которые не вошли в предыдущие, а именно:

- услуги связи;
- электроэнергия;
- почтовые расходы;

Принимаем равными 16% от всей заработной платы, что составит 26 236,76 руб.

$$З_{\text{накладные}} = 16\% * (З_{\text{зп}}) = 0,16 * 163\,979,76 = 26\,236,76 \text{ руб.}$$

4.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

На основе всех расчетов составляем плановую себестоимость проекта (таблица 11).

Таблица 21 – Бюджет затрат проекта

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты	1 583,33	Пункт 3.3.1.
2. Амортизационные отчисления	1 980,36	Пункт 3.3.2.
3. Затраты по з/п	163 979,76	Пункт 3.3.3, 3.3.4.
4. Отчисления во внебюджетные фонды	49 521,89	Пункт 3.3.5.
5. Накладные расходы	26 236,76	Пункт 3.3.6.
6. Бюджет затрат проекта	243 302,1	

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

4.4.1 Оценка ресурсоэффективности проекта

Одним из критериев эффективности проекта является интегральный показатель ресурсоэффективности I_{pi} :

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

где,

a_i – весовой коэффициент варианта исполнения работ, (таблица1);

b_i – балльный коэффициент варианта исполнения работ (таблица 1).

Расчеты приведены в таблице 22. Описание конкурирующих проектов приведено в п. 1.2.

Таблица 22 – Показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения
проекта

Критерий сравнения	Весовой коэффициент	Бальная оценка		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп.3
Удобство эксплуатации	0,05	4	4	3
Экономия ресурсов	0,1	4	3	2
Надежность	0,05	5	2	3
Безопасность испытаний	0,08	5	3	4
Погрешность испытаний/измерений	0,1	4	1	4
Количество изменяемых параметров и условий	0,2	4	4	3
Цена	0,15	4	4	2
Предполагаемый срок эксплуатации	0,17	4	3	2
Послепродажное обслуживание	0,03	4	4	3
Срок выхода на рынок	0,07	2	4	5
ИТОГО	1			

$I_{p1} = 4 \cdot 0,05 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,05 + 5 \cdot 0,08 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,17 + 4 \cdot 0,03 + 2 \cdot 0,07 = 3,99$ - интегральный показатель эффективности разработанного проекта;

$I_{p2} = 4 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,08 + 1 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,17 + 4 \cdot 0,03 + 4 \cdot 0,07 = 3,25$ – интегральный показатель эффективности конкурирующего проекта 1;

$I_{p3} = 3 \cdot 0,05 + 2 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,05 + 4 \cdot 0,08 + 4 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,17 + 3 \cdot 0,03 + 5 \cdot 0,07 = 2,9$ – интегральный показатель эффективности конкурирующего проекта 2.

На основании критерия интегральной ресурсоэффективности проекта, разработанный проект обладает преимуществом перед конкурирующими. Разработанный проект обладает следующими ключевыми преимуществами: срок эксплуатации готовых изделий, а так же безопасность проведения испытаний. Готовые модели могут применяться неограниченное количество раз, а создание таких моделей осуществляется на ПК.

Выводы по разделу

В результате выполнения данного раздела ВКР была выполнена оценка разработки и сущности работы с точки зрения коммерциализации.

Потенциальные потребители результата исследования на территории Томской области выделены: главное управление МЧС России по Томской области, пожарные части МЧС России.

Составление SWOT-анализа помогло выявить сильные и слабые стороны научной работы, что дало возможность учесть факторы риска, вызывающие их угрозы, и возможности при дальнейших работах.

Определена продолжительность выполнения работ, равная 93 дней. Планирование выполнения научно-исследовательских работ привело к выявлению загруженности как научного-руководителя, так и студента-дипломника.

На основании планирования проекта были определены затраты, необходимые для выполнения работ. Бюджет затрат составляет 243 302,1 руб.

Глава 5. Социальная ответственность

Введение

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

Охрана труда – совокупность правил и мероприятий, направленных на сохранение здоровья и жизни работника в процессе трудовой деятельности.

Объектом исследования в данной дипломной работе является математическая модель воздействия лесного пожара на ствол дерева. Рассматривается модель теплопереноса в слоистой структуре дерева.

Разработанная математическая модель позволит оценить степень повреждения ствола дерева под действием лесного пожара.

Полученная модель может применяться региональными подразделениями МЧС России, нештатными аварийно-спасательными формированиями и другими подразделениями, связанными с ликвидацией ЧС.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Трудовые и экономические отношения между работником и организацией регулируются в Трудовом кодексе Российской Федерации. [32]

Режим рабочего времени регулируется согласно ст. 91 ТК РФ и не должен превышать 40 ч в рабочую неделю. В НИ ТПУ, для научно-преподавательского и обучающегося состава, устанавливается шестидневная рабочая неделя с одним выходным днем. Согласно ст. 115 ТК РФ каждый

работник имеет право на ежегодный оплачиваемый отпуск продолжительностью 28 календарных дней.

Порядок начисления и определения заработной платы регламентируется ст. 130 ТК РФ. Размер заработной платы не должен быть ниже минимального размера оплаты труда для Томской области.

Обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом. Отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности. Обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя.

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Рабочее место – это зона нахождения работника и средств приложения его труда, которая определяется на основе технических и эргономических нормативов и оснащается техническими и прочими средствами, необходимыми для исполнения работником поставленной задачи. Условия труда сотрудника, работающего с персональным компьютером, определяются:

- особенностями организации рабочего места;
- условиями производственной среды;
- характеристиками информационного взаимодействия человека и персональных электронно-вычислительных машин.

Согласно ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ [38] устанавливаются эргономические требования к рабочим местам при выполнении работ в положении сидя при проектировании нового и модернизации действующего оборудования и производственных процессов. Конструкцией рабочего места

должно быть обеспечено выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля.

5.2 Производственная безопасность

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

Проанализируем вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении расчета в компьютерном зале, при разработке или эксплуатации проектируемого решения. Воспользуемся ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [33] для идентификации потенциальных факторов.

Сведем полученные результаты в таблицу.

Таблица 23 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Разраб-отка	Эксплу-атация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	Требования к микроклимату рабочей зоны устанавливаются по ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ [34].
2. Нервно-психические перегрузки на умственное напряжение	+	-	

3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	-	Требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 [35].
4. Незащищенные или неизолированные электропровода	+	+	Требования к электробезопасности устанавливаются ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ [36].

Для математического моделирования теплопереноса в слоистой структуре ствола лиственного дерева при воздействии от лесного пожара рабочим местом является компьютерный класс.

1) Несоответствие микроклимата рабочей зоны.

Факторы микроклимата влияют на состояние здоровья человека, и на его работоспособность. В частности, высокие температуры приводят к тепловым ударам, повышению давления, низкие – к простудным заболеваниям, переохлаждению.

Работа исследователя относится к классу лёгких работ. Оптимальные параметры микроклимата на рабочем месте должны соответствовать величинам, приведённым в таблице 24. Допустимые величины показателей микроклимата на рабочем месте должны соответствовать значениям, приведённым в ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ в таблице 23 [34].

Таблица 24 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочем месте

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхности, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с

Холодный	Iб (140 - 174)	21-23	20-24	60-40	0,1
Тёплый	Iб (140 - 174)	22-24	21-25	60-40	0,1

Таблицы 25 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочем месте

Период года	Категория работ по уровню м энерготрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин			Для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин	Для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин
Холодный	Iб (140 - 174)	19-20,9	23,1-24	18-25	15-75	0,1	0,2
Тёплый	Iб (140 - 174)	20-21,9	24,1-28	19-29	15-75	0,1	0,3

2) Нервно-психические перегрузки на умственное напряжение.

Работа с математической моделью теплопереноса в стволе дерева требует большой сосредоточенности и точности в применении расчётных формул. Нервно-психические перегрузки могут приводить к перенапряжению при исполнении работ. В таком случае страдает психологическое и физическое здоровье исследователей, что влечет за собой снижение работоспособности, а также при долгосрочных или чрезмерных перегрузках могут привести к хроническим заболеваниям.

3) Недостаточная освещенность рабочей зоны.

Зрение исследователя напрямую зависит от количества света в помещении. Следует соблюдать нормы освещения для сохранения физического и психологического здоровья работающих. Низкий уровень освещения может вызвать у человека усталость, стресс, умственную нагрузку.

При низком уровне освещения стоит заменить или добавить источники освещения. Согласно СП 52.13330.2016 [37] Освещённость рабочей зоны должна быть 300-500 лк.

4) Незащищенные или неизолированные электропровода.

Одним из наиболее вероятных факторов, которые могут нанести вред здоровью человеку в результате несоблюдения норм электробезопасности – поражение электрическим током. Часто основным симптомом поражения является ожог кожи, однако не все серьезные поражения могут быть визуально заметными. Нормы электробезопасности приведены в ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ [5]. Для обеспечения электробезопасности необходимо соблюдение все норм и правил эксплуатации электрического оборудования, таких как:

- использование защитного заземления и зануления;
- использование средств индивидуальной защиты;
- контроль изоляции проводов, а также технического состояния приборов;

5.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего)

Для поддержания оптимальных значений микроклимата (температура воздуха; температура поверхностей; относительная влажность воздуха; скорость движения воздуха; интенсивность теплового облучения) используется система отопления и кондиционирования воздуха. Для предотвращения пагубного воздействия вредных факторов рабочего места следует соблюдать ряд требований к организации рабочего места и рабочего процесса:

- для снижения воздействия электромагнитного излучения следует: установить монитор задней стенкой к стене; исключение пыли в помещении;

умывание холодной водой после работы; необходимо хорошо проветривать помещение и, при возможности, установить ионизатор;

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

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

Перед началом работы следует убедиться в отсутствии свешивающихся со стола или висящих под столом проводов электропитания, в целостности вилки и провода электропитания, в отсутствии видимых повреждений аппаратуры и рабочей мебели, в отсутствии повреждений и наличии заземления приэкранного фильтра. К электрозащитным средствам относятся:

- изолирующие штанги всех видов (оперативные, измерительные, для наложения заземления);
- защитные ограждения (щиты, ширмы, изолирующие накладки, колпаки);
- переносные заземления; устройства и приспособления для обеспечения безопасности труда при проведении испытаний и измерений в электроустановках;

5.3 Экологическая безопасность

Пожары оказывают существенное влияние на окружающую среду, загрязняя ее продуктами горения, пиролиза, несгоревшими горючими веществами, огнетушащими средствами. Но если причиняемые пожарами материальный ущерб и социальные потери (погибшие и пострадавшие люди),

как правило, известны сразу после пожара, то экологический ущерб имеет не только текущие, но и отдаленные последствия для человечества и экосистемы.

Рассмотрим некоторые процессы:

1) Загрязнение гидросферы.

При тушении вода, соприкасаясь с раскаленными веществами, превращается в пар. И пар, и вода насыщаются отравляющими веществами. Пар попадает в атмосферу и дополнительно участвует в круговороте веществ между сушей и океаном, выпадая в виде кислотных дождей и снега. Вода атмосферных осадков с места пожаров в конечном итоге попадает в озера, моря, проникает в почву и долгое время сохраняется в биосфере.

2) Загрязнение атмосферы.

Во время лесных пожарах в качестве продуктов сгорания в воздухе образуются вредные и токсичные вещества.

К числу наиболее опасных веществ в продуктах горения при пожарах относятся оксид углерода (угарный газ), диоксид углерода (углекислый газ), хлористый водород, уксусная и синильная кислота и многие другие вещества, которых по разным оценкам может быть более 400. Например, в продуктах сгорания древесины найдено 220 веществ.

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

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

3). Загрязнение литосферы

Воздействие лесного пожара приводит к высокотемпературному повреждению почвы и к дальнейшей эрозии. Во время возгорания в лесу сгорает естественный плодородный слой почвы. В зависимости от состава, на восстановление 1 мм плодородного слоя почвы может потребоваться от 5 до 100 лет. При том, чем больше на территории растительности, тем проще почве нарастить прослойку за счет перегноя.

Земля, лишенная своего плодородного слоя, не принимает растительность. Почва становится рыхлой и склонной к передвижениям. Частой проблемой выгоревших лесных зон являются оползни и обвалы.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

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

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

Пожарная профилактика представляет собой комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращении пожара, ограничение его распространения, а также создание условий для успешного тушения пожара.

Одно из условий обеспечения пожаробезопасности – ликвидация возможных источников воспламенения.

В целях предотвращения пожара необходимо проводить противопожарный инструктаж, на котором ознакомить работников с правилами противопожарной безопасности, а также обучить использованию первичных средств пожаротушения.

В соответствии со ст. 43 Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" к первичным средствам пожаротушения относятся: переносные и передвижные огнетушители; пожарные краны и средства обеспечения их использования; пожарный инвентарь (пожарные шкафы, пожарные щиты, пожарные стенды, пожарные ведра, бочки для воды, ящики для песка, тумбы для размещения огнетушителей и др.; покрывала для изоляции очага возгорания.

Выводы по разделу

При работе с компьютером оператор сталкивается с различными вредными и опасными факторами. Примерами являются нарушение микроклимата помещения, повышенное электромагнитное излучение, недостаточное освещение и опасность поражения электрическим током. Возможны и чрезвычайные ситуации, например, возгорание из-за неисправных электроприборов или действия внешних факторов. Для контроля и обеспечения безопасности персонала от этих факторов предусмотрено большое количество мер, описанных выше. Соблюдая все нормы и требования добиться комфортных и безопасных условий работы достаточно несложно.

Список использованных источников

1. Бондарев А., Столярчук Н. Смог // Российская газета, 2019. № 167. С. 2-3.
2. Brushlinsky N.N., Ahrens M., Sokolov S.V., Wagner P. World fire statistics. // Center of fire statistics, 2019. №24. С. 25-32.
3. Ярошенко А.Ю., «Европейская тайга на грани тысячелетий» М.: Гринпис России, 1999, 66с.
4. Мелехов С.И., Влияние пожаров на лес /С.И. Мелехов. - М.-Л. Гос. лесотехн. изд-тво. 1948. – 126 с.
5. Курбатский Н.П. О классификации лесных пожаров // Лесн. хоз-во, 1970. №3. С. 68-73.
6. Лесные пожары: виды, причины, способы тушения. Справка [Офиц.сайт]. URL <http://ria.ru/documents/20090414/168056182.html>.
7. Залесов А.С. Классификация лесных пожаров//Методические указания по курсу «Лесная пирология» для самостоятельной работы студентов очной и заочной форм обучения Направление 250200 «Лесное хозяйство и ландшафтное строительство», 250100 «Лесное дело» Специальности 250201, 250203. Екатеринбург: Изд-о УГЛТУ, 2011.15 С.
8. Сафронов М.А. Еще раз о классификациях лесных пожаров // Лесн. хоз-во, 1971. №2. С. 22-25.
9. Кузнецов Г.В., Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий / Г. В. Кузнецов, Н. В. Барановский; Мин- во образования и науки РФ, Федер. агентство по образованию, Томский политехнический университет. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. — 301 с.
10. Валендик Э.Н., Матвеев П.М., Софронов М.А. Крупные лесные пожары. М, 1979. С. 50-71.
11. Соловьев С.В. Экологические последствия лесных и торфяных пожаров // Академия государственной противопожарной службы МЧС России – Москва, 2006. С. 12-18.

12. Исаева Л.К. Экологические последствия лесных и торфяных пожаров 2002 г. в Московской области. /Л.К. Исаева, С.В. Соловьев, А.Г. Власов, А.В. Подгрушный, Н.Я. Трифонов, К.В. Креслов, А.В.Сычев, А.В. Панов// Природные пожары: возникновение, распространение, тушение и экологические последствия: Материалы 5-й Международной конференции. – Томск, 2003.
13. Барановский Н.В. Методика оценки влияния лесных пожаров на здоровье населения/Н.В. Барановский, С.В. Барановская, А.В. Исакова // Пожарная безопасность, 2007-С.№ 3. - С. 71-74.
14. Alexander M.E., Lawson B.D., Stocks B.J., Van Wagner C.E. User guide to the Canadian Forest Fire Behaviour Prediction System: rate of spread relation-ships / Canadian Forest Service Fire Danger Group, 1984. 73 p.
15. Burgan R.E., Rothmel R.C. Behave: fire behaviour prediction and fuel modeling system — fuel subsystem / USDA Forest Service. General Technical Report INT-167. 1984. 126 p.
16. Валендик Э.Н., Косов И.В. Влияние теплового излучения лесного пожара на окружающую среду // Сибирский экологический журнал. – 2008. – № 4. – С. 517-523.
17. Курьянова Т.К., Платонов А.Д., Косиченко Н.Е., Оценка состояния древостоев после лесного пожара, Научный журнал КубГАУ, №70(06), 2011 г, 11 с.
18. Конев Э.В. Физические основы горения растительных материалов. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1977, 239 с.
19. Яковлев А.П. Пожароопасность сосновых и лиственничных лесов // Лесные пожары в Якутии и их влияние на природу леса. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1979. С. 195—213.
20. Софронов М.А. Лесные пожары в горах Алтая // Вопросы лесной пирологии / ИЛИД СО АН СССР. Красноярск, 1970. С. 241—272.
21. Amadou Maiga, Abdullah Alhameid, Shikha Singh, Atilla Polat, Jasdeep SinghA, Sandeep Kumar, and Shannon Osborne. Responses of soil organic

carbon, aggregate stability, carbon and nitrogen fractions to 15 and 24 years of no-till diversified crop rotation // Soil Research, 2019. № 57. P. 15-18.

22. Alexander M.E., Lawson B.D., Stocks B.J., Van Wagner C.E. User guide to the Canadian Forest Fire Behaviour Prediction System: rate of spread relationships / Canadian Forest Service Fire Danger Group, 1984. 73 p.

23. Вахнина И.Л., Голятина М.А., Носкова Е.В. Изменение лесопокрытой площади цасучейского бора в результате природных пожаров // Природобустройство, 2019. № 4. С. 123-129.

24. Баранов Н.М. Влияние сезонного развития травостоя на пожарное созревание лесных участков в горах Хамар-Дабана // Моделирование в охране лесов от пожаров / ИЛиД СО АН СССР. Красноярск, 1979. С. 86—89.

25. Курьянова Т.К., Платонов А.Д., Косиченко Н.Е., Оценка состояния древостоев после лесного пожара, Научный журнал КубГАУ, №70(06), 2011 г, 11 с

26. Валендик Э.Н., Косов И.В. Влияние теплового излучения лесного пожара на окружающую среду // Сибирский экологический журнал. – 2008. – № 4. – С. 517-523.

27. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. Разностные методы решения задач теплопроводности: учебное пособие – Томск: Изд-во ТПУ. 2007. С. 8-73.

28. Волокитина А.В. Пирологическая оценка типов леса красноярского приангарья // Лесные пожары и борьба с ними / ВНИИЛМ. М., 1987. С. 104—116.

29. Самарский А.А. Теория разностных схем: учебное пособие – Москва: Наука Физико-математическая лит-ра, 1989. С. 103-134.

30. Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Вычислительная теплопередача – Москва: Едиториал УРСС, 2003. С. 111-118.

31. 1. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В.

Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.

32. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 29.12.2020)

33. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»

34. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

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

36. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

37. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

38. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. «Рабочее место при выполнении работ сидя».