

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 очага лесного пожара на слой почвы с учётом древесных включений на местах рубки леса

УДК 519.876:630.43:630.114

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7Б	Бачурин Илья Вячеславович		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
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
Р1	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»
Р2	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», 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»
Р3	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»
Р4	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

Код результата	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
		FEANI, 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей»,
P5	Проектировать теплоэнергетические установки, теплотехнические системы и их оборудование	Требования ФГОС ВО, CDIO Syllabus (4.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), 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»
P6	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области теплоэнергетики и теплотехники.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus (4.3, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, 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»
P7	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, CDIO Syllabus (3.2, 4.7), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, 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»
P8	Эффективно работать индивидуально и в качестве	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus (3.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.3),

Код результата	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
	члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области теплоэнергетики и теплотехники.	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»
P9	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»
P10	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»
P11	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>

Код результата	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Р12	Применять практические знания теплотехники, современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области теплотехники и теплотехнологий	Требования ФГОС ВО, CDIO Syllabus (4.5, 4.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI , 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) 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
 Отделение школы (НОЦ) И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Б7Б	Бачурину Илье Вячеславовичу

Тема работы:

Математическое моделирование влияния очага лесного пожара на слой почвы с учётом древесных включений на местах рубки леса

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№29-58/с от 29.01.21

Срок сдачи студентом выполненной работы:

03.06.2021

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.).

Объектом исследования является почва, подверженная влиянию очага лесного пожара. Рассматривается структурно – неоднородной слой почвы с древесными включениями. Предмет исследования – закономерности процессов теплопереноса в структурно – неоднородном почвенном покрове.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Аналитический обзор литературы по тематике исследования. Формулировка физической и математической моделей теплового воздействия на почвенные слои с древесными включениями. Анализ результатов математического моделирования. Формулировка выводов по результатам численного исследования.</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

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:

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

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	Бачурин Илья Вячеславович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Б7Б	Бачурин Илья Вячеславович

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

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оклад руководителя – 35120 руб. Оклад исполнителя – 15000 руб./мес.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- 12 % премии; - 16% накладные расходы; - 1,3 районный коэффициент.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды 30,2%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	-Описание потенциальных потребителей исследования -Анализ конкурентных технических решений. - SWOT – анализ для выявления сильных и слабых сторон проекта.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование плана и графика разработки. Формирование бюджета затрат на научное исследование.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Определение ресурсоэффективности исследования.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Диаграмма Ганта.

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	Бачурин Илья Вячеславович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б7Б	Бачурин Илья Вячеславович

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

Тема ВКР:

Математическое моделирование влияния очага лесного пожара на слой почвы с учетом древесных включений на местах рубок леса	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Объект исследования: почва, включающая древесные остатки, подверженная влиянию очага лесного пожара.</p> <p>Область применения: экологическая безопасность, определение последствий лесных пожаров.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 29.12.2020). 2. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. 3. ГОСТ 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>При работе человека с компьютерным оборудованием целесообразно рассмотреть действие следующих вредных факторов: физические (несоответствие микроклимата рабочей зоны, недостаточная освещенность, повышенный уровень электромагнитных излучений),</p>

	психофизические (зрительное напряжение, монотонность труда), электрического характера. Опасные факторы: поражение электрическим током.
3. Экологическая безопасность:	Атмосфера: большой выброс углекислого газа, угарного газа при горении материалов, выброс пара, насыщенного отравляющими веществами, при тушении лесных пожаров. Литосфера: уничтожение слоев почвы, а также микроорганизмов, находящихся в почве. Гидросфера: загрязнение отравляющими веществами вод, рек, озер, находящихся рядом с очагом лесного пожара.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные чрезвычайные ситуации: пожар, ураган, наводнение. Наиболее типичная ЧС: возникновение пожара.

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	Бачурин Илья Вячеславович		

Реферат

Бакалаврская работа включает в себя 112 страниц, 24 рисунка, 23 таблица, 67 литературных источника.

Ключевые слова: лесные пожары, расчет температурного поля, слои почвы, поражающий фактор лесного пожара.

Объектом исследования является почва, подверженная влиянию очага лесного пожара. Рассматривается структурно – неоднородный слой почвы с древесными включениями.

Предмет исследования – закономерности процессов теплопереноса в структурно – неоднородном почвенном покрове.

Цель работы – расчет температурного поля в структурно – неоднородном слое почвы в местах рубок для дальнейшей оценки возникновения и последствий лесных пожаров.

В процессе исследования сформулированы физическая и математическая модели теплопереноса в структурно-неоднородном слое почвы при воздействии очага лесного пожара.

В результате исследования получены распределения температуры в структурно-неоднородном слое почвы при воздействии очага лесного пожара, что позволяет оценить степень термического повреждения и прогнозировать экологические последствия лесных пожаров.

Основные технологические характеристики: программные реализации математических моделей теплопереноса в структурно-неоднородном слое почвы и оценки термического повреждения деревьев выполнены на языке программирования высокого уровня Pascal.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

Определения

В настоящей работе применяются следующие термины с соответствующими определениями:

Пиролиз – термическое разложение органических и многих неорганических соединений.

Сушка – термический процесс удаления влаги из твердых материалов путем ее испарения.

Индекс сухости температуры – это метод мониторинга содержания воды в почве на основе температуры поверхности земли.

Лесные горючие материалы – растительные (древесные и травянистые) материалы, способные воспламеняться от источников высоких температур.

Обозначения и сокращения

ЛГМ – лесные горючие материалы;

PDI – индекс перпендикулярной засухи;

TVDI – индекс сухости температуры и вегетации;

TRI – индекс топографической шероховатости;

МКР – метод конечных разностей.

Номенклатура и единицы измерения

H_i – геометрические характеристики области исследования;

ρ_i – плотность слоев почвы;

c_i – теплоемкость слоев почвы;

λ_i – теплопроводность слоев почвы;

T_i – температура слоев почвы;

t – время;

z – пространственная координата.

Оглавление

<u>Введение</u>	18
<u>1 Современное состояние области исследования</u>	19
<u>1.1 Типы лесных пожаров</u>	19
<u>1.2 Характеристики лесных горючих материалов</u>	20
<u>1.3 Сушка лесных горючих материалов</u>	22
<u>1.4 Пиролиз лесных горючих материалов и древесины</u>	27
<u>1.5 Характеристика и строение почвенного слоя</u>	30
<u>1.6 Влияние поражающего фактора лесного пожара на почву</u>	32
<u>1.7 Системы геомониторинга лесных массивов</u>	36
<u>1.8 Геоинформационные и спутниковые технологии при анализе функционирования лесных почв</u>	37
<u>1.9 Влияние очага лесного пожара на почву</u>	39
<u>1.10 Выводы по результатам аналитического обзора литературы</u>	44
<u>2 Объекты, методы исследования</u>	45
<u>2.1 Объект исследования</u>	45
<u>2.2 Метод численного решения задачи</u>	46
<u>3 Результаты расчетов</u>	56
<u>3.1 Расчет одномерной задачи теплопереноса в слоистой структуре почвенного покрова с учетом древесных включений</u>	56
<u>3.1.1 Основные допущения для решения задачи</u>	56
<u>3.1.2 Математическая постановка задачи</u>	56
<u>3.1.3 Основные закономерности теплопереноса</u>	58
<u>3.1.4 Выводы по результатам решения задачи</u>	68

<u>3.2</u>	<u>Решение одномерной задачи теплопереноса в слоистой структуре почвенного покрова с термическим разложением порубочных остатков</u>	69
3.2.1	<u>Физическая постановка задачи</u>	69
3.2.2	<u>Математическая постановка задачи</u>	70
3.2.3	<u>Основные закономерности теплопереноса</u>	71
3.2.4	<u>Выводы по результатам решения задачи</u>	74
	<u>Заключение по результатам работы</u>	75
4	<u>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</u>	76
4.1	<u>Оценка коммерческого потенциала и перспективности проекта</u>	77
4.1.1	<u>Определение потенциальных потребителей результатов исследования</u>	77
4.1.2	<u>Выявление конкурентных технических решений</u>	77
4.1.3	<u>SWOT-анализ</u>	79
4.2	<u>Календарное планирование научно-исследовательских работ</u>	80
4.2.1	<u>Структура работ в рамках научного исследования</u>	80
4.2.2	<u>Определение трудоемкости выполнения работ</u>	81
4.2.3	<u>Разработка графика выполнения выпускной квалификационной работы</u>	83
4.3	<u>Бюджет проекта</u>	84
4.3.1	<u>Расчет прямых прочих расходов</u>	85
4.3.2	<u>Расчет затрат на экспериментальное оборудование</u>	85
4.3.3	<u>Расчет основной заработной платы</u>	86
4.3.4	<u>Расчет дополнительной заработной платы</u>	87
4.3.6	<u>Расчет накладных расходов</u>	88
4.4	<u>Оценка эффективности проекта</u>	89
	<u>Выводы по разделу</u>	90

<u>5 Социальная ответственность</u>	91
<u>Введение</u>	91
<u>5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</u>	91
<u>5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства</u>	91
<u>5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя</u>	92
<u>5.2 Производственная безопасность</u>	93
<u>5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования</u>	93
<u>5.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований</u>	94
<u>5.2.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов</u>	98
<u>5.3 Экологическая безопасность</u>	100
<u>5.3.1 Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду</u>	100
<u>5.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду</u>	101
<u>5.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды</u>	102
<u>5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях</u>	102
<u>5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований</u>	102
<u>5.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований</u>	103
<u>5.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС</u>	103
<u>Выводы по разделу</u>	104

Список литературы 105

Введение

За 2017 год в Мире произошло 501762 очагов возникновения пожаров в лесах, а также кустарниках и траве. Основная часть пожаров пришлась на такие страны как США, Российская Федерация [1].

За 2019 год в России произошло 13800 очагов лесного пожара. Общая площадь пожаров 10 млн гектаров. Основная доля пожаров пришлась на территории Сибирского Дальневосточного округов. Возгорания были зафиксированы в Иркутской области, Красноярском крае, Бурятии и Якутии. Количество возгораний, а также их площадь превысили среднегодовые показатели в несколько раз. Огнем было охвачено около 5 млн гектаров. За 20 лет это был один самых крупных лесных пожаров. Низовые составляют примерно 90% от общего количества лесных пожаров (горят корни деревьев, пни на местах рубок леса, кора, трава) [1-3].

Информация и статистика о лесных пожарах, особенно о низовых, включая влияние огня на почвенные слои, в организациях, занимающимся составлением статистики представлена с большими пробелами. Для определения очагов пожаров и их последствий необходим более полный мониторинг с использованием современных систем поиска и отслеживания очагов пожаров. Некоторая информация о лесных пожарах скрывается различными организациями в корыстных целях.

Влияние очагов лесных пожаров на слои почвы в настоящее время мало изучены. Информации и статистики пожаров на местах рубки леса для оценки влияния также недостаточно. Поэтому для более полного и точного изучения влияния очага пожара на слои почвы, особенно на местах рубок леса, мы используем расчетные формулы и реализуем программное решение данной задачи.

1 Современное состояние области исследования

1.1 Типы лесных пожаров

Лесной пожар — стихийное, неконтролируемое распространение огня по лесным площадям. Причины возникновения пожаров в лесу принято делить на естественные и антропогенные.

В зависимости от того, где распространяется огонь, пожары делятся на низовые, верховые и подземные [4].

Низовой лесной пожар — лесной пожар, распространяющийся по нижним ярусам лесной растительности, лесной подстилке, опаду. Высота пламени низовых пожаров 0,1–2 м при валежных пожарах, при которых основным горючим материалом является древесина, расположенная на поверхности почвы, а также при подлесно – кустарниковых пожарах [4-6].

По скорости распространения и высоте пламени низовые пожары разделяются на три категории: Сильные (высота пламени на фронтальной кромке более 1,5 м); Средней силы (высота пламени на фронтальной кромке от 0,6 до 1,5 м); Слабые (высота пламени на фронтальной кромке до 0,5 м) [4-6].

Верховой лесной пожар — лесной пожар, охватывающий полог леса. Этот пожар возникает из низового как дальнейшая стадия его развития, причем низовой огонь является составной частью верхового пожара. Возникновению верховых пожаров способствует сильный ветер и большая крутизна склонов, если низовой пожар распространяется в гору. Верховые пожары чаще происходят летом, когда засуха сочетается с ветрами [6-7].

Почвенный лесной пожар — пожар, при котором беспламенное горение распространяется в органической части почвы лесного биогеоценоза. Дрестовой полностью погибает вследствие обнажения и обгорания корней деревьев. Почвенные пожары наблюдаются на участках с торфянистыми почвами. Их можно назвать почвенно-торфяными. Кроме того, почвенные

(торфяные) лесные пожары возникают на участках со слоем подстилки 20 см и более, образующейся в условиях засушливого климата. Толщина слоя лесной подстилки может достигать 50 см, а мощность слоя торфа в залежах — более 7 м. Важнейшим фактором развития почвенных пожаров является влажность горючих материалов. Почвенные пожары чаще всего представляют собой дальнейшую стадию развития низовых [6-8].

1.2 Характеристики лесных горючих материалов

Лесной горючий материал (далее – ЛГМ) – опад, лишайники и мхи, пни, листья, хвоя, кустарники и травы, торф, ветки, сучья, стволы деревьев отличаются по запасу, структуре, химическому составу, влажности и теплотворной способности, что имеет большое значение для возникновения и развития пожаров. С учетом ярусного расположения лесных ЛГМ можно условно разделить на три основных группы: наземные (напочвенные), надземные, подземные (почвенные) [8,9].

Наземные горючие материалы (ГМ): мхи, лишайники, трава, кустарники, кустарнички, подлесок, отмершие ЛГМ – опад и подстилка характеризуются большой гигроскопичностью, быстро реагирует на изменения погодных условий. Наземные лесные ГМ способны гореть с выделением большого количества тепла, которого хватает для поддержания и распространения процесса горения. С загорания этой группы ЛГМ начинаются почти все лесные пожары [8-11].

Уровень пожароопасности в лесу определяется соотношением отмерших сухих частей растений (проводников горения) и задерживающих распространение огня живых частей растений, имеющих высокое влагосодержание, не способных к самостоятельному горению (табл. 1).

Таблица 1 [10]

Отношение растительных материалов к горению

Отношение к горению	Виды горючих материалов	Тип горения
Проводники горения	Опад, лишайники, мхи	преимущественно пламенное
	Лесная подстилка, торф	тление
	Валежник, пни, крупные порубочные остатки	преимущественно пламенное (горение у здоровой древесины, тление у гнилой древесины)
Задерживающие горение	Некоторые виды трав, кустарничков, кустарников, лиственных пород деревьев	самостоятельно не горят из-за высокого влагосодержания или особенностей химического состава
Поддерживающие горение	Травы, кустарнички, сеянцы древесных растений	пламенное
	Подрост и подлесок	преимущественно пламенное (хвойные интенсивнее лиственных)
	Крона: хвоя, листва, веточки, сучья полога древостоя	преимущественно пламенное (хвойные интенсивнее лиственных)

Интенсивность и скорость распространение пожаров определяется запасом и структурой ЛГМ, рельефом и метеорологическими условиями. Количество ЛГМ является важным фактором, определяющим интенсивность и тип горения. Распространение горения возможно только лишь при запасе ЛГМ более 2-2,5 т/га. Скорость горения лесных ЛГМ зависит также от объемного веса в сухом состоянии, отношения поверхности к объему, доступа воздуха. Чем больше объемный вес или плотность ЛГМ, тем меньше скорость горения. ЛГМ в зависимости от их состояния и условий могут гореть пламенем или тлеть отдельно, но в большинстве случаев имеет место смешанное горение, без преобладания определенного типа [11,12].

1.3 Сушка лесных горючих материалов

Сушка горючих лесных материалов является наиболее важной и наименее изученной стадией многофазного процесса их сжигания в естественных условиях. Физико-математическое моделирование сушки слоя горючих лесных материалов выполняется в сопряженной постановке путем решения уравнений бинарного пограничного слоя и уравнений тепломассопереноса в слое горючих лесных материалов с соответствующими граничными и начальными условиями. Решения этой задачи для суточных и сезонных изменений температуры окружающей среды получены для трех сценариев развития погодных условий. Полученные данные сравниваются с экспериментальными данными по сушке хвои сосны и некоторых других хвойных деревьев. Дана строгая физико-математическая основа для прогнозирования лесных пожаров [13,14].

Сжигание горючих материалов происходит только тогда, когда их содержание влаги W не превышает критическое значение W^* , равное 0,13 для слоя подстилки, состоящего из сосновых иголок и тонких веточек. В настоящее время опасность лесных пожаров прогнозируется с использованием комплексного метеорологического указателя пожарной опасности Нестерова [13].

$$\Gamma_j[K^2] = \Gamma_{j-1}\varepsilon_j + T_j(T_j - T_{pj}) \quad (1)$$

Здесь T_j и T_{pj} - температура воздуха и точка росы в 13–15 часов по местному времени текущего дня, ε – коэффициент, учитывающий осадки и равный нулю, если общее количество осадков за прошедший день $f_j > 3$ мм. или равно 1, если $f_j < 3$ мм; индекс j соответствует текущему дню пожароопасного сезона.

Легко видеть, что формула (1) не содержит параметров, которые описывают свойства образца и не учитывает влияние ветра, тип почвы и кинетику испарения образца. Недостатки этого и других методов прогнозирования опасности лесных пожаров подробно исследованы и описаны в некоторых статьях. Для определения времени наступления сезона пожаров решается сопряженная проблема тепло- и массообмена между наземным атмосферным слоем и земным покровом с учетом многофазного характера системы и испарения воды из нее. Это можно понять, используя основные понятия и методы механики сплошных многофазных сред и методы решения сопряженных задач тепломассообмена с учетом общей математической модели лесных пожаров [13-14].

Для исследования данной проблемы используем готовое решение [15]. Проблема, характеризуется более низкими скоростями нагрева и более низкими температурами. В этом разделе приведены результаты обработки экспериментальных данных по методике, и сравниваем расчетную потерю массы горючих материалов с экспериментальными данными [15]. Авторами статьи изучена динамика сушки образцов горючих материалов (хвои сосны, ели и кедра), размеры которых были предварительно измерены для дальнейшего расчета поверхности испарения. Эксперименты проводились в изотермических условиях при $T = (30, 52, 70, 96) \pm 0,5$ °C в сушильном шкафу с объемом камеры $V = \pi r^2 H$ ($r = 0,12$ м - радиус, а $H = 0,24$ м - высота). Объем образца был намного меньше, чем объем камеры [15]. После достижения указанной температуры образцы помещали в сушильную камеру и

взвешивали. Время сушки варьировалось в пределах $t = 20\text{--}500$ мин в зависимости от температуры окружающей среды. Для устранения систематической погрешности взвешивания из-за времени термической релаксации образцов τ (удаление образцов из камеры, взвешивание и подача), $\tau \approx 0,5$ мин, несколько образцов одинаковой массы одновременно помещали в сушильную камеру и каждый из образцов затем взвешивали в определенное время: первый образец после $t = 5$ мин, 2-й образец после $t = 10$ мин и т. д. Эксперименты выявили зависимость результатов взвешивания от плотности упаковки образцов $\rho = m_0 / v$ (v - объем образца) [14, 15].

Поэтому в каждом эксперименте плотность упаковки оставалась постоянной и близкой к реальной плотности упаковки помета хвои $\rho \approx 10,96$ кг / м³. Содержание влаги $W = (m - m_0) / m_0$ определяли путем взвешивания влажного образца (m_0) и образца, высушенного при $T = 100^\circ\text{C}$. Доверительные интервалы, рассчитывались по результатам 3–6 экспериментов с доверительной вероятностью 0,95 [14, 15].

В данных статьях предложена математическая модель для низкотемпературной сушки слоя, проблема сушки решена в сопряженных и отдельных составах, и получены следующие результаты [15]:

- Разработана новая физическая модель для сушки слоя горючих лесных материалов в естественных условиях, которая учитывает все физические явления, влияющие на этот процесс.
- Проблема сушки слоя ЛГМ рассматривается в двух новых формулировках - сопряженной и раздельной, которые согласуются с общей математической моделью лесных пожаров.
- Для хвои сосны, хвои кедра и веток ели эффективные энергии активации E_2 и предэкспоненты k_2 для массовой скорости сушки определяются из экспериментальных данных путем решения обратной кинетической задачи.

- Результаты математического моделирования с использованием отдельной постановки задачи сравниваются с лабораторными данными по сушке хвой сосны, и показано, что при соответствующем выборе коэффициента теплообмена теоретическая потеря массы для ЛГМ отличаются не более чем на 5% от экспериментальных данных.

- Проведенные численные эксперименты показали, что при соответствующем выборе коэффициента теплообмена результаты расчетов с использованием точной сопряженной постановки задачи согласуются с результатами решения задачи в приближенной (отдельной) постановке [14-15].

Для оценки содержания воды в почве, используются определенные индексы засухи – индекс перпендикулярной засухи и температурный вегетационный индекс. Данные индексы могут отражать содержание воды в почве на основе дистанционного зондирования. Эти индексы имеют как свои достоинства, так и недостатки. Индекс перпендикулярной засухи используется для низкого охвата растительности. Температурный вегетационный индекс используется для покрытия плотной растительности. Существует связь между этими индексами в зависимости от глубины почвы и нормализованного разностного вегетационного индекса [16,17].

Метод сушки обычно используется для измерения содержания воды, он эффективен и точен, но этот метод используется для взятия проб только в одной точке, а не на больших площадях. С развитием технологии дистанционного зондирования было предложено несколько крупномасштабных методов мониторинга содержания воды в почве. Эти методы можно разделить на оптические, активную микроволновую печь, пассивную микроволновую печь и синергетические методы [16,17].

Среди них наиболее распространенными являются оптические методы. Был разработан простой эффективный индекс мониторинга засухи, а именно

индекс перпендикулярной засухи, используя двумерное спектральное пространство, полученное из коэффициента отражения ближнего инфракрасного и красного длин волн. Метод индекса перпендикулярной засухи является оптическим методом для оценки содержания воды в почве.

Для районов с определенной степенью растительного покрова необходимо учитывать фактор растительности. Многие исследования показали, что сочетание температуры поверхности земли и индекса растительности может отражать содержания воды в почве.

Покрывание растительностью варьируется от низкого до высокого в течение цикла роста. На ранних стадиях роста урожая точность мониторинга индекса перпендикулярной засухи лучше, чем у температурного вегетационного индекса. Однако по мере роста урожая преимущества индекса сухости температуры и вегетации становятся очевидными. Следовательно, нецелесообразно использовать одну модель для мониторинга крупномасштабного содержания воды в почве в течение всего периода роста урожая [16,17].

Данные исследования зависимости индексов как от друг друга, так и от различных факторов проводились в Китае, провинции Шаньси на орошаемых территориях. На данных территориях важно знать количество влаги в почве, так как территории предназначены для сельскохозяйственной деятельности.

Теоретическая основа метода индекса перпендикулярной засухи состоит в том, что отражающая способность голого грунта высока в областях спектра от красного до ближнего инфракрасного спектра. Индекс можно определить следующим образом [17]:

$$PDI = \frac{R_{red} + M + R_{NIR}}{\sqrt{M^2 + 1}},$$

где R_{red} и R_{NIR} представляют красный и ближний инфракрасный спектральные коэффициенты отражения соответственно;

M - наклон почвы.

Содержание влаги в почве уменьшается с увеличением PDI.

Индекс сухости температуры и вегетации – это метод мониторинга содержания воды в почве на основе температуры поверхности земли. Индекс сухости температуры и вегетации можно определить следующим образом [17]:

$$TVDI = \frac{LST - LST_{min}}{LST_{max} - LST_{min}};$$

$$LST_{min} = a_1 + b_1 \cdot NDVI;$$

$$LST_{max} = a_2 + b_2 \cdot NDVI,$$

где LST_{max} и LST_{min} представляют самую высокую и самую низкую температуру поверхности земли, соответствующий конкретному нормализованному разностному вегетационному индексу (NDVI), соответственно; a_1 , a_2 , b_1 , b_2 – коэффициенты.

В результате, становится ясно, что оба метода не подходят для круглогодичного исследования содержания влаги в почве. На это влияют различные, рассмотренные выше, факторы [16,17].

1.4 Пиролиз лесных горючих материалов и древесины

Влияние режима теплового воздействия на состав продуктов пиролиза древесной биомассы.

Одним из наиболее перспективных и реальных вариантов развития на территории России индустрии возобновляемых источников энергии является лесная биоэнергетика. Возможны несколько вариантов использования биомассы (в первую очередь лесной) как для непосредственной выработки электрической и тепловой энергии, так и для производства биотоплива (жидкого или газообразного). Но все варианты возможного использования биомассы включают циклы термической обработки сырья (например,

древесины) при достаточно высоких температурах (сушка, пиролиз, газификация др.) [18-21]. Такая обработка приводит к конверсии биомассы в соответствующем технологическом цикле. При этом образуются газообразные, жидкие и твёрдые продукты, которые в дальнейшем могут использоваться по своему назначению. Разработка технологий такого рода возможна только на базе адекватных представлений об основных закономерностях процессов физико-химических превращений древесины при нагреве до достаточно высоких (до 600 °С) температур. При этом наиболее значимой является информация об изменении с ростом температуры доли летучих и жидких продуктов термической обработки биомассы. Но до настоящего времени нет таких экспериментальных данных даже по наиболее типичным и распространенным сортам древесины [18-20].

Пиролиз является важной частью при лесных пожарах. Также важно изучать пиролиз для ликвидации возгорания и последствий пожара. Проводить испытания экономически не выгодно и опасно. Поэтому нужно пользоваться альтернативными методами. Рассмотрим решенную задачу, в которой рассматривается пиролиз лесных горючих материалов и водяной пар, с помощью которого ликвидируется очаг возгорания [21-23].

Данная задача решалась в двух программах – Ansys Fluent и Matlab. Эти программные пакеты отличаются, прежде всего, различием в методе решения. Matlab использует метод конечных разностей, а Ansys Fluent использует метод конечных элементов [19-23].

Условие было следующим. Лесной горючий материал был двухмерным. Геометрическая постановка задачи соответствовала данным значениям $H = 0,1-0,5$ м и $L = 0,1-0,5$ м. Область решения рассматриваемой задачи для системы «парогазовая смесь - лесной горючий материал» [23].

Общность постановки задачи:

1. Предполагалось, что в небольшой окрестности следа типичной массы воды концентрация окислителя близка к нулю из-за достаточно интенсивного испарения.

2. Считалось, что парогазовая смесь состоит из водяного пара (90%) и продуктов сгорания (10%).

3. При моделировании процессов теплообмена в газовой фазе не учитывались возможные реакции окисления продуктов пиролиза лесных горючих материалов.

4. Предполагалось, что теплофизические характеристики лесного материала и воды не зависят от температуры при постановке задачи теплообмена.

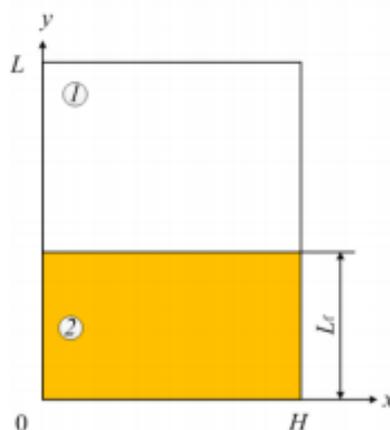


Рисунок 1 – Геометрическая постановка задачи [23]

(1 – слой водяного пара, 2 – слой горючих материалов)

Типичные температурные поля при тушении лесного горючего материала водяным паром представлены на рис. 1. Моменты до подавления термического разложения лесного горючего материала ($\tau = 50$ с), в процессе ($\tau = 200$ с) и после завершения ($\tau = 500$ с) термического разложения показаны на рисунке 2

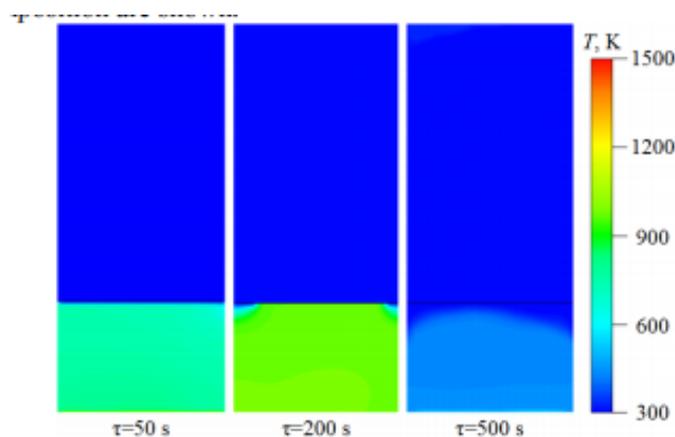


Рисунок 2 – Результаты моделирования [23]

Показана зависимость характерных времен подавления термического разложения лесного горючего материала (τ_d) и времени полного термического разложения лесного горючего материала (τ_h) как функции толщины слоя лесного горючего материала.

Результат пиролиза зависит от толщины слоя, а также от структуры материала и времени эксперимента [22-23].

1.5 Характеристика и строение почвенного слоя

Почва характеризуется многими показателями и в первую очередь внешними или морфологическими признаками.

В процессе почвообразования складывается мощность почвы и формируется важнейший внешний признак - строение почвенных горизонтов - распределение по профилю сверху вниз слоев или почвенных горизонтов, различающихся между собой по структуре, физическому и химическому составу, цвету и другим показателям. Почвенные горизонты обозначают заглавными буквами латинского алфавита с индексами или без них. В почвах могут выделяться следующие горизонты [23-26]:

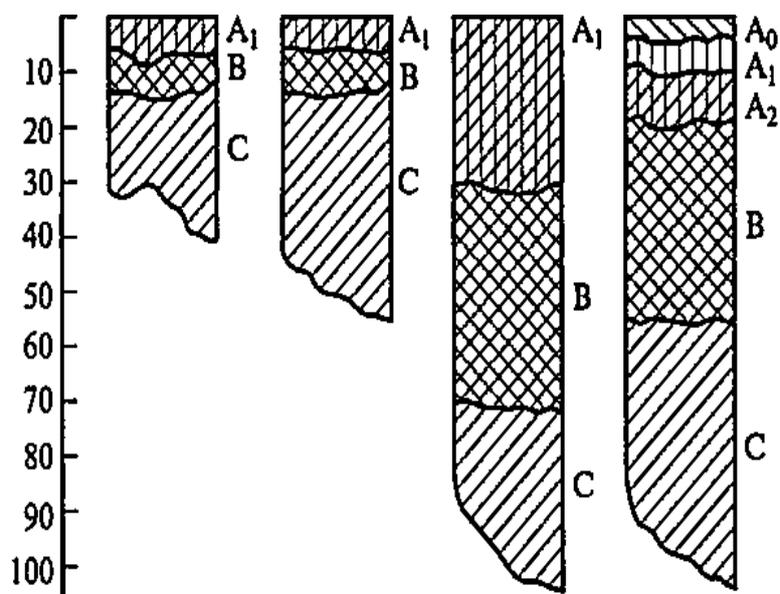


Рисунок 3 – Схема строения различных почв [23]

A₀ - лесная подстилка, образующаяся на поверхности почвы и состоящая из неразложившихся или полуразложившихся травянистых растений и опавших лесных растительных остатков (листьев, хвои, веточек, кусочков коры и т.д.). Мощность этого слоя колеблется от 1... 2 до 15... 20 см [23-24].

A₁ - перегнойный, или гумусовый, горизонт, который характеризуется накоплением органического вещества в виде перегноя. Этот слой самый темный, его цвет зависит от накапливающегося в нем перегноя. Мощность перегнойного горизонта обычно колеблется он нескольких сантиметров до 1 м и более в зависимости от вида почв [22-24].

A₂ - влагопроницаемый, или элювиальный (от лат. eluere - вымывать, смывать), горизонт слой интенсивного разрушения минеральной части почвы, образующийся при вымывании продуктов разрушения. Органические остатки в этом слое не накапливаются. Этот слой имеет более светлую, белесую окраску, напоминающую цветом золу [25].

B - накопительный, или аллювиальный (от лат. alluvio - нанос), горизонт или слой вымывания, в котором осаждаются соединения, вымытые из верхних горизонтов. Этот слой более плотный и через него труднее просачивается

вода. В нем накапливаются железо и алюминий, вымываемые из верхних горизонтов, поэтому этот горизонт нередко имеет красновато-бурую окраску. Мощность его в разных почвах колеблется от 5-10 см до 1-1,5 м [23-25].

C - материнская порода, слабо измененная почвообразовательным процессом. В этом горизонте совсем нет перегноя, но содержатся соли: углекислый кальций, гипс и др. Мощность этого горизонта бывает различной [23-27].

1.6 Влияние поражающего фактора лесного пожара на почву

В данном разделе рассматривается опыт горения леса и влияние на почвенные слои черной ели и сосновых насаждений в Северо-Западных территориях Канады.

Огонь - это основной крупномасштабный возмущающий фактор в бореальных лесах северо-западной Канады и Аляски. Потепление и сушка в этих регионах в течение последних нескольких десятилетий приводят к увеличению частоты пожаров, степени их тяжести и продолжительности сезона пожаров. Изменения в режимах пожаров повлияют на структуру и функцию бореальных лесных экосистем. Во всем мире одной из важнейших функций бореального леса является его способность улавливать и хранить углерод в органическом слое почвы. Степень опасности пожара можно определить, как потерю надземного и подземного органического материала [28, 29].

Чистые запасы углерода отражают средние показатели секвестрации углерода между пожарами и сжиганием углерода пожарами. Таким образом, повышенная степень опасности пожара может изменить запасы углерода от чистого накопления при множественных пожарах до чистого убытка, если органическое вещество не будет повторно секвестрировано между последовательными пожарами. Потребление органического слоя почвы часто измеряют по глубине ожога, что позволяет рассчитывать на сгоревшую массу

углерода. Увеличение глубины горения может усиливать деградацию вечной мерзлоты, косвенно вызывая дальнейшее высвобождение ранее недоступной почвы углерода. Потеря органического слоя почвы также может привести к изменениям в последовательных траекториях [29-31].

Во многих бореальных лесных пожарах, особенно в хвойных лесах северо-западной Канады и Аляски, большая часть горения происходит в органическом слое почвы. Таким образом, оценки могут быть использованы в качестве меры тяжести пожара. Глубина остаточного органического слоя после пожара использовалась как метрическая резкость, но это не учитывает начальную толщину. Одним из подходов к учету этого является сравнение остаточных глубин в сгоревших участках с органическим слоем в парных несгоревших участках. Более точной оценкой глубины ожога на уровне площадки является измерение высоты случайных корней черной ели над остаточным органическим слоем [30]. Эти корни образуются на стебле черных елей по мере того, как слой сгущается и хорошо видны после пожара. Откалиброванная высота для черных еловых насаждений в Аляске, принимая во внимание те факты, что случайные корни расположены ниже поверхности почвы в несгоревших насаждениях, так и наличие различий между глубинами органического слоя почвы, прилегающими к деревьям (где проводятся измерения откалиброванной высоты), и глубинами слоя почвы, измеренными в случайных точках в месте. Тем не менее, он редко использовался в других местах в бореальных лесах, предполагают, что различные калибровки могут быть необходимы для бореальных экосистем, основанных на разных исходных материалах. Кроме того, существующие калибровки применяются только к черным ельникам. Бореальные леса Северо-Западных территорий, Канада, являются отдаленными и малоизученными. Это особенно верно для гранитной породы экосоны, несмотря на то, что это доминирующий субстрат бореальных лесов в Северной Америке. Летом 2014 года на северо-западной территории сгорело около 3,4 млн га, сгорая в лесных насаждениях, где преобладают

черная ель и сосна обыкновенная [30-31]. Эти многочисленные, крупные пожары потенциально могли привести к глубокому сжиганию органических почв, однако серьезность этих пожаров в этом отношении остается неизвестной. Для количественной оценки глубины горения по всему региону разрабатываются калибровки на парных участках сожженных и несгоревших участков, где присутствуют черные ели, а также на древостой сосновых деревьев, используя измерения сгоревшей и несгоревшей глубины органического слоя почвы [31].

При изучении данного вопроса ставились следующие задачи [31-32]:

1. Различается ли глубина несгораемых корней под поверхностью мха в необожженных черных ельниках в зависимости от экозоны, класса влажности на уровне участка, общей глубины органического слоя почвы и плотности до пожара или базальной площади? Этот метод задает методологический вопрос о том, является ли это обобщенным смещением, применимым к измерениям откалиброванной высоты после пожара.
2. Существовали ли различия в глубинах органического слоя почвы на деревьях, где проводятся случайные измерения корней, по сравнению с сожженными и несгоревшими черными ельниками, где преобладают случайные залежи, в случайно расположенных точках, которые не находятся непосредственно под деревьями? Это обеспечит применение правильных смещений к измерениям высоты при оценке сгорания на уровне участка, что повысит точность наших оценок сгорания.
3. Изменяется ли глубина органического слоя почвы в необожженных сосновых деревьях, где преобладают сосны, в зависимости от экозоны, влажности на уровне участка, а также от плотности древостойных площадей или базальной площади? Это позволит оценить глубину выгорания на участках с преобладанием сосны обыкновенной по всему региону исследования.

Исследование было проведено возле Йеллоунайф, Северо-Западная территория, Канада. Среднегодовая температура в этом регионе составляет 4,38 °С. В период с июня по август 2015 года ученые провели полевые работы на семи пространственно независимых шрамах от ожогов, четыре в зоне тайганской равнины, которые сгорели в период с июня по август 2014 года. В каждом ожоге определили предожарные слои средней плотности, низкой плотности и разреженных хвойных пород с помощью карты земного покрова Канады 2005 года, полученной из снимков спектрорадиометра для получения изображений с умеренным разрешением (MODIS) 250 м. Там, где имелись данные инвентаризации лесных ресурсов, также были определены ведущие породы деревьев (черная ель или сосна обыкновенная) [34-35]. Затем были назначены случайные точки для каждого из слоев плотности или ведущих видов в огне. Для облегчения доступа эти точки были расположены в пределах 1 км от шоссе или береговой линии озера. Сайт определяется как комбинация случайного сюжета и этих дополнительных сюжетов. Авторы отобрали в общей сложности 213 сожженных участков, расположенных на 78 участках [35].

После исследований горения почв, авторы сделали выводы: изучили 36 необожженных и 213 участков сгоревшего леса, захватив за рубежом градиентные характеристики окружающей среды и состав огневого древостоя. На большинстве участков преобладали черные ели (198 из 249), но на многих из этих участков также присутствовали кедровые сосны. Точно так же участки сосны кедра часто не были чистыми насаждениями, но также имели черные ели. Несмотря на довольно ровную местность экозон Таежной равнины и Тайгового щита, типы лесов, отсортированные по градиентам влажности, такие как сосны обыкновенные, и в целом расположены в хорошо дренированных высокогорных позициях, в то время как преобладающие у черных еловых насаждений находились в более плохо дренированных низменных районах. Следовательно, два типа леса представляют различия в

категориях влажности, глубине органического слоя почвы и возрасте насаждения. Несгоревшие древостои улавливали полный градиент видового состава и характеристик окружающей среды, обнаруженных на сожженных участках, и, следовательно, были важны для калибровки измерений глубины сгорания [36-37].

1.7 Системы геомониторинга лесных массивов

Глобальные мировые пожары являются огромной проблемой. Для того, чтобы лучше понять и предсказать возникновение глобальных пожаров, были разработаны пожарные модели, которые связаны с динамическими глобальными моделями растительности (DGVM) и моделями систем Земли (ESM) [38-41]. SEVER-FIRE v1.0 – одна из таких систем. Одним из основных направлений работы SEVER-FIRE является реализация пирогенного поведения людей (определение времени их деятельности и их желания и необходимости зажигать или подавлять пожар), связанных с социально-экономическими и демографическими условиями в географической области применения модели. Сгоревшие районы по модели SEVER сравниваются с Глобальной базой данных о пожарах и последствиях (GFED), полученной из спутниковых наблюдений, а количество пожаров сравнивается с региональной статистикой пожаров в области пожаров [38-41].

SEVER DGVM – это комбинированная растительно-пожарная механистическая модель, предназначенная для работы в диапазоне временных (ежедневных и ежемесячных) и пространственных (от 10 км до 2,5 ° с 0,5 ° в основном проверенных) уровней разрешения [38]. Пожарный модуль SEVER-FIRE является дальнейшим развитием RegFIRM, который применялся только для Пиренейского полуострова, от регионального до глобального масштаба. Целью этой модели является предоставление в глобальном масштабе всестороннего механистического описания основных характеристик, зарегистрированных в стандартной статистике пожаров и / или спутниковых наблюдений по всему миру, а именно количества пожаров, сожженных

площадей и выбросов углерода. Важной целью SEVER-FIRE является включение в ESM, чтобы сделать реалистичные прогнозы изменения климата глобальной динамики лесных пожаров [39-42].

Наиболее важные климатические характеристики пожаров воспроизводятся моделью, в то время как зависимость от характеристик растительности и, особенно, пирогенной деятельности человека препятствует дальнейшей разработке реалистичных оценок распространенности пожаров и межгодовой изменчивости от региона к глобальному. Региональные корректировки глобальных пожарных моделей, основанных на анализе как исторических статистических данных о пожарах, так и недавних спутниковых наблюдений, которые необходимы для дальнейшего понимания глобальной динамики пожаров в прошлом, настоящем и будущем [40-42].

1.8 Геоинформационные и спутниковые технологии при анализе функционирования лесных почв

Веб-ГИС-платформа для управления лесными пожарами.

Веб-платформа географических информационных систем (ГИС) - для борьбы с лесными пожарами была разработана для того, чтобы легко, обоснованно и быстро обмениваться информацией и инструментами среди пожарных сил и использовать их [43-44].

Эта современная система позволяет специалистам по управлению пожарами возможности ГИС необходимости локально устанавливать сложные программные компоненты. Специалисты по пожарной безопасности могут найти пожарную службу, транспортные средства и другие ресурсы в режиме реального времени. Пожарные патрульные самолеты и транспортные средства могут использовать устройства слежения, отправить свои координаты прямо на платформу [45-46]. Камеры могут дополнять эти данные, передавая изображения области повышенного риска в графическом интерфейсе системы. Кроме того, система обеспечивает географическое

представление вероятности возгорания и ежедневно определяет зоны повышенного риска в разных регионах на пилотном приложении высокопроизводительных вычислений (HPC), работающем на Windows HPC Server. Данные в реальном времени с удаленных автоматических метеостанций и карт погоды на основе системы прогнозирования погоды обеспечивают жизненно важные данные о погоде, необходимые для предотвращения пожаров и раннего предупреждения. Управляя информацией и инструментами, конечные пользователи получают возможность разработать операционный план для предотвращения лесного пожара, выбирая лучшие способы потушить огонь и надлежащие ресурсы и время [45-47].

Представленная веб-платформа ГИС - Virtual Fire - предназначена для поддержки раннего предупреждения о пожарах, контроля и гражданской защиты путем обмена информацией и инструментами. Его прототип в настоящее время применяется для Острова Лесбос, Северных Эгейских островов, Греции, но его открытая система позволяет расширить ее на более широкие области. Остров Лесбос (с населением 90 000 человек) расположен на северо-востоке Эгейского моря Греции и занимает площадь 1636 км² с различными геологическими условиями, климатическими условиями и типами растительности. Климат типичный средиземноморский, с теплым и сухим летом и мягкой умеренно дождливой зимой. Почвы Лесбоса широко культивируются в основном с дождевыми культурами, такими как оливковые деревья на центральной, южной и восточной части острова. На этих землях часто встречается интенсивность пожаров из-за их практики возделывания и очистки земель. В западной части животноводство в сочетании с обширным выпасом – основная деятельность землепользования, играющая ключевую роль в формировании почвы и растительного состава. Из-за их низкой производительности, многие земли были заброшены 40–50 лет назад. После их оставления эти пастбищные угодья и возникающие кустарники часто

очищаются незаконным сжиганием для улучшения производства кормов [46,47].

Virtual Fire - это система раннего предупреждения и принятия решений на основе Интернета. Система для комплексного управления лесными пожарами на основе геоинформатики и моделирование информационных технологий (ИТ). Взаимодействие между пользователями и система ведется приложением Silverlight, реализованным используя интерфейс прикладного программирования ESRI ArcGIS (API) для Silverlight. Приложение требует установки плагин Silverlight в веб-браузере клиента, только в первый раз использования. Программные компоненты ArcCatalog и ArcMap используется для создания и управления всеми необходимыми пространственными данными [45-46].

Данные загружаются в географическую базу данных и публикуются в виде веб-службы ГИС. Несколько внешних источников данных также интегрированы. К ним относятся сервисы Bing Maps (изображения, геокодирование и маршрутизация), Rich Site Summary (RSS) и данные о погоде в реальном времени. Для извлечения внешних данных было использовано несколько протоколов. Больше в частности, протокол HTTP используется для использования службы Bing Maps. Для мониторинга погодных данных в режиме реального времени, программы были реализованы с помощью Windows Communication Foun (WCF) [47].

Прогнозирование пространственно-временной изменчивости в интервалах возгорания с использованием индекса топографической шероховатости [47-49].

1.9 Влияние очага лесного пожара на почву

В статье [50] рассмотрен случай влияния очага лесного пожара на почву. Также рассмотрено состояние почвы во время действия очага и после. Данные исследования проводились в Центральной Европе. Исследования проводились

на трех участках соснового леса с разными типами почв. Первая группа исследуемых участков представляла сосновые насаждения, происходящие от естественной регенерации без ранее проведенной лесоводческой обработки. Во второй группе исследуемых участков представлены сосновые насаждения, возникшие в результате естественной регенерации в районе, где проводились ранние и поздние расчистки в 2006 и 2015 годах. В третьей группе исследуемых участков после сжигания стенд был искусственно регенерирован вспаханнкими бороздами для обработки почвы. На этом стенде ранняя и поздняя очистка проводилась в двух последовательностях, то есть в 2007 и 2014 годах. Цель исследования [50] заключалась в том, чтобы выяснить как существуют различные живые организмы после пожара в различных типах почв. В результате проведения эксперимента биометрические параметры исследуемых насаждений при изученных методах существенно различались. В первой группе насаждений были самые высокие сосны. Самые низкие сосны были во второй группе. Также насаждения различались по степени стройности. Наиболее отличительные различия между анализируемыми характеристиками древостоя наблюдались в зонах, происходящих от естественной регенерации без ранее проведенной лесоводческой обработки и зонах, где после сжигания стенд был искусственно регенерирован вспаханнкими бороздами для обработки почвы. В результате исследования [50] были получены данные после сжигания древостоя разных групп. В изученных почвах преобладала фракция песка; его содержание варьировалось от 88% до 99% в зависимости от области исследования. Присутствовало небольшое количество ила и глины. Не было статистически значимых различий в текстуре между выбранными областями исследования. Наибольшее среднее содержание органического углерода (5,17%) и азота (0,25%) зафиксировано в почве зоны один. Наименьшее содержание углерода (3,86%) и азота (0,19%) было обнаружено в почве области 3. Не было статистически значимых различий в содержании углерода между областями исследования. Почва каждой области исследования характеризовалась схожими скоростями

разложения органического вещества, выраженными как отношение углерода к азоту. Более низкий уровень рН был отмечен в почвах зоны один, чем в почвах других зон исследования. Не было статистически значимых различий в содержании базовых катионов между областями исследования. Активность β -глюкозидазы и дегидрогеназы варьировала по почвам исследуемых районов. Активность β -глюкозидазы был значительно ниже в почвах района один, чем в почвах районов 2 и 3. Не было обнаружено статистически значимых различий в дегидрогеназной активности почв во всех отобранных областях [50]. Из данного эксперимента можно сделать вывод, что почва первой группы исследуемых участков, которая представляла сосновые насаждения, происходящие от естественной регенерации без ранее проведенной лесоводческой обработки больше всего, отличается от других исследуемых групп.

Для дальнейшего исследования области влияния пожара на слой почвы, изучим следующую статью [51]. Целью данного исследования являлось изучение способности кустарников восстанавливаться после многолетнего скашивания и пожаров. В нашем случае будет интересно именно влияние пожара на кустарники и как следствие на слои почвы. Эксперимент [51] был проведен в штате Флорида, США. Были сожжены и покосены участки с четырьмя интервалами возврата помех: либо ежегодно, раз в два года, каждые три года, либо один раз в шесть лет (при этом все участки обрабатывались в шестом году для контроля времени после нарушения). Была проанализирована реакция роста растений (высота, надземная биомасса, количество стеблей) на основе предварительной обработки образцов, а также шести месяцев, одного года, двух лет и четырех лет после обработки. Также были измерены неструктурные углеводы и свойства почвы, чтобы оценить эти факторы как влияющие факторы для роста кустарников. Температура горения была высокой, средний максимум варьировался в пределах от 414 °С до 698 °С. Повреждения от пожаров в зависимости от разных видов кустарников было

различным. В пределах одного вида повреждения были схожи. Через год после нарушения влажности почвенная влажность и содержание органических веществ были выше на скошенных участках, в то время как pH был выше на выжженных участках. Учитывая немного меньшую высоту скошенных участков, были интерпретированы эти различия. Хотя очень частые нарушения снижали реакцию роста кустарников, масштабы реакции растений были скромными, а эффекты временными. Поскольку возобновляемые кустарники в штате Флорида кажутся устойчивыми к ряду интервалов повторного возникновения нарушений, частые пожары или стрижки могут быть эффективно использованы при реставрации [51].

Также при возникновении очага лесного пожара в почве возникает повышенное содержание металлов, а именно ртути, что приводит к загрязнению окружающей среды. Ртуть является глобальным загрязнителем окружающей среды. Сам металл и его соединения опасны как для человека и животных, так и для отдельных экосистем. Избыточное содержание ртути в организме приводит к нарушениям нервной системы и репродуктивной дисфункции. В статье [52] исследовано влияние лесного пожара на содержание валовой ртути в дерново-подбурах, сформировавшихся в условиях типичной лесостепи. Данный лесной массив по климатическим условиям считается лесостепью. В Усманском бору в 2010 году произошел пожар. На следующий год на данной территории были проведены исследования. Всего было исследовано 14 разрезов на горях и 6 разрезов на недогоревших участках. При исследовании [52] были взяты пробы почвы для определения углерода, валового содержания ртути, кальция и магния. Результатом исследования является сравнение содержания данных веществ в различных почвах. Так на горевших участках содержание углерода меньше, чем на негоревших и нетронутых огнем почвах. Также было выяснено, что воздействие огня снижает кислотность почвы. Содержание кальция и магния также отличается. В верхних слоях поврежденной пожаром почвы содержание

кальция и магния выше, чем в несгоревшей и нетронутой огнем почве. Содержание ртути в сгоревшей почве меньше, чем в недогоревшей, и практически в 2 раза меньше, чем в нетронутой огнем почве. Это свидетельствует о том, что при горении, ртуть испарилась из слоев почвы в атмосферу. Также было выяснено, что ртуть поступает в атмосферу при горении только из верхних слоев почвы [52].

Для полного понимания состояния области исследования рассмотрим статью [53], целью которой была оценка лесопокрытой площади степного соснового бора за период с 1986 по 2018 гг. Территория исследования – Цасучейский бор, произрастающий вблизи российско-монгольской границы в степной зоне Юго-Восточного Забайкалья. Определение территорий для исследования проводилось с помощью ГИС систем и спутниковыми системами мониторинга. Было использовано программное обеспечение ArcGIS. Районы, поврежденные пожарами, были обнаружены с помощью программного продукта системы MODIS. Предпосылками исследования [53] стало заметное повышение температуры вблизи поверхности грунта и влажности за последние 20 лет. В связи с этим, имеется угроза возникновения крупных лесных пожаров в регионе. Также на возникновение пожаров влияет антропогенный фактор. В весенне-летний период происходят палы, что приводит к неконтролируемым лесным пожарам. Замечено, что большинство пожаров в регионе происходит с конца апреля по начало июля. Самые крупные лесные пожары произошли в 2000, 2003, 2012 годах. Из-за географического расположения, в регионе ограниченное годовое число осадков, что также приводит к опасной пожарной обстановке. С 1986 года по 1999 год влияние на бор оказывало в основном деятельность человека. На территории работали леспромхозы, производился выгул скот. Пожарная обстановка в эти годы была практически неизменна. Значительный рост пожаров наблюдается с 1999 года. В результате исследования [53] было выявлено, что территория не подвергавшаяся долгое время пожарам имеет способность к восстановлению

растительного покрова. Однако также опытным путем выяснено, что к восстановлению больше способны осиновые и разнотравные сообщества. Восстановление соснового леса также возможно, но если на этом же участке повторно возникает пожар, то способность восстановления сосняка практически не сохраняется. Таким образом, влияние антропогенных и природных факторов негативно влияет на бор. В дальнейшем возможно образование степи, вместо существующего сейчас леса. Этому способствуют засуха, ветра, антропогенный фактор [53].

1.10 Выводы по результатам аналитического обзора литературы

Для необходимости проведения расчета в области влияния очага лесного пожара на слой почвы на местах рубки леса сделаем несколько выводов, которые направят на решение поставленной задачи:

1. Влияние пожара на слой почвы на местах рубки леса мало изучены, нет достаточной информации о методах и способах воздействия лесного пожара на почву, мониторинга возгорания почв на местах рубки леса, а также экологических последствий.
2. Ввиду невозможности проведения натурных экспериментов актуальна разработка решения влияния очага лесного пожара на слои почв.
3. Природоохранными службами востребовано применение расчетов влияния пожара на почвы, деревья для оценки нанесенного экологического ущерба.

2 Объекты, методы исследования

2.1 Объект исследования

Объектом исследования является почва, подверженная влиянию очага лесного пожара. Рассматривается структурно – неоднородный слой почвы с древесными включениями. Такие почвы имеют место быть на местах рубок леса.

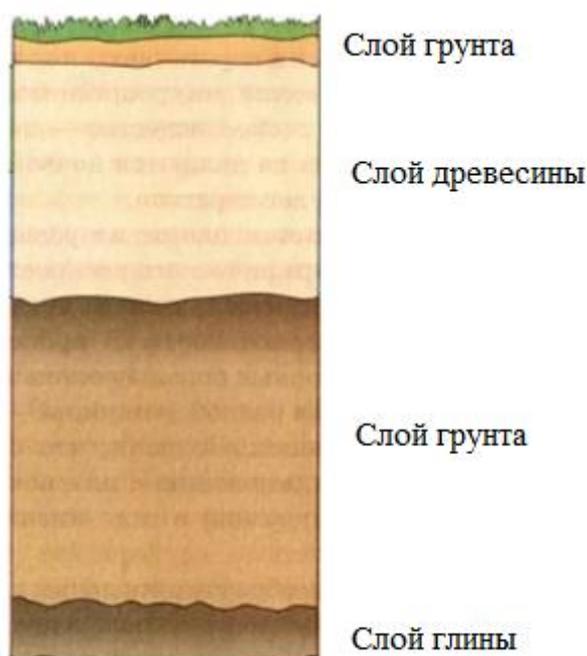


Рисунок 4 – Объект исследования

Почва на местах рубок леса, подвергаясь влиянию очага, теряет свои свойства, что вредит экологии. Пожары на местах рубок леса устраняются значительно тяжелее, чем верховые пожары, травяные и кустарниковые пожары. Нарушение пожарной безопасности является одним из важнейших факторов, влияющих на экосистемную функцию почвы путем изменения ее физико-химических свойств. В ходе лесного пожара нарушается структура почв, водоотталкивающие свойства почвы, также нарушается концентрация углерода, фосфора, калия и азота. Для исследования выбран структурно – неоднородный слой почвы, который включает в себя слой глины, грунта и древесных включений. Данная структура почвы находится на местах рубки

леса. При лесном пожаре именно древесные включения оказывают наибольшее вредное воздействие на почву [54-55].

2.2 Метод численного решения задачи

При методе численного моделирования довольно часто используется метод конечных разностей (МКР). Методом конечных разностей решается дифференциальное уравнение в частных производных. Сущность метода конечных разностей заключается в том, что вместо производных в дифференциальном уравнении используются их конечноразностные аппроксимации. При решении задач, а именно записывая дискретные аппроксимации краевых дифференциальных задач нужно стремиться увязать две, возможно, противоречивые цели: хорошее качество аппроксимации и эффективное устойчивое решение получающихся при этом алгебраических систем [54-56].

Одна из задач, которая решается МКР, является задача на основе одномерного уравнения теплопроводности. В виде примера рассмотрим плоскую однородную бесконечную пластину и запишем условие задачи. На одной границе пластины поддерживается постоянная температура $T_{л}$. На другой границе температура $T_{п}$. Начальная температура T_0 . Внутренние источники отсутствуют. Также запишем условие, что температура будет меняться только перпендикулярно пластине. Сделаем допущение, что теплофизические характеристики не будут зависеть от температуры. Исходя из условий поставленной задачи, запишем дифференциальное уравнение энергии [54]:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_2 \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, 0 < x < L \quad (1)$$

Запишем начальные и граничные условия:

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

$$x = 0 : T = T_{\text{Л}}, t > 0;$$

$$x = L : T = T_{\text{П}}, t > 0.$$

Эта задача решается в полной математической постановке методом конечных разностей на равномерной сетке. Для дальнейшего решения задачи строится конечно-разностная схема (рисунок 3). Это означает, что пластина разбивается по толщине на $N-1$ равных промежутков. Значение температуры в i -ом узле в момент времени определяется следующим образом:

$$t = t_n = n \cdot \tau,$$

$$T(x_i, t_n) = T_i^n,$$

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

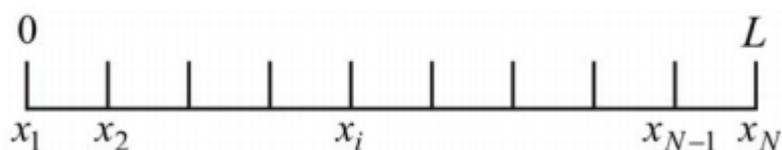


Рисунок 5 – Конечно – разностная сетка

Далее дифференциальные операторы заменяются на их конечно-разностные аналоги. Для этого используется неявная схема решения [54]:

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

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T_{i+1}^{n+1} - 2 \cdot T_i^{n+1} + T_{i-1}^{n+1}}{\tau} \quad [50].$$

В результате аппроксимации получаем систему линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), которая имеет следующий вид:

$$\rho \cdot c \cdot \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\tau} = \lambda \frac{T_{i+1}^{n+1} - 2 \cdot T_i^{n+1} + T_{i-1}^{n+1}}{h^2}, \quad i=2, \dots, N-1, \quad n \geq 0 \quad [54]. \quad (2)$$

Такую схему аппроксимации частных производных можно представить графически:

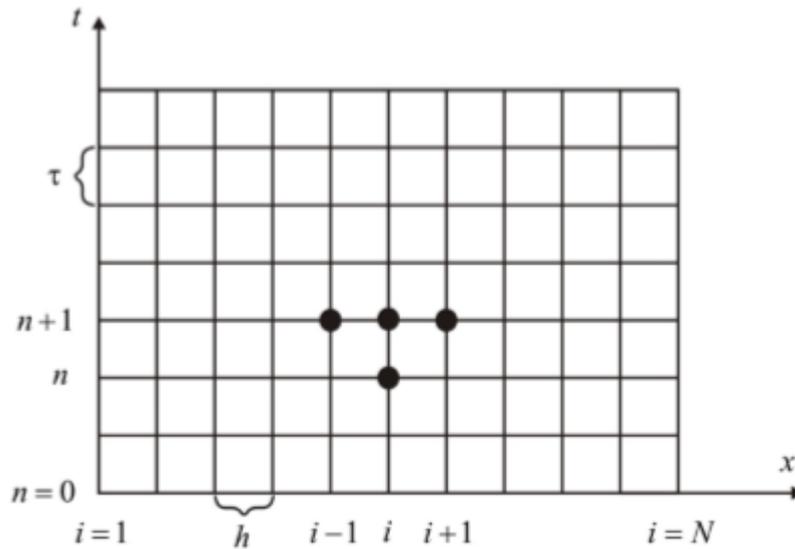


Рисунок 6 – Шаблон неявной четырехточечной разностной схемы [54]

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

Для получения температурного поля, необходимо решить систему уравнений (2).

Систему (2) можно привести к общему виду [54]:

$$A_i \cdot T_{i+1}^{n+1} - B_i \cdot T_i^{n+1} + C_i \cdot T_{i-1}^{n+1} = F_i \quad (3)$$

Где

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

Данные уравнения являются трехточечными разностными уравнениями второго порядка. Система (3) необходимо решать на каждом временном слое, так как рассматривается нестационарная задача [54,55].

При условии, что есть такие числа α_i и β_i (условие 4), трехточечное уравнение второго порядка преобразуется в двухточечное уравнение первого порядка:

$$T_i^{n+1} = \alpha_i \cdot T_{i+1}^{n+1} + \beta_i, \quad (4)$$

В уравнении (4) уменьшим индекс на единицу и полученное выражение подставим в уравнение (6).

Получаем [54]:

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

Если при всех $i=2,3,\dots,N-1$, то выполняются соотношения:

$$\alpha_i = \frac{A_i}{B_i - C_i \alpha_{i-1}}, \beta_i = \frac{C_i \cdot B_{i-1} - F_i}{B_i - C_i \alpha_{i-1}}. \quad (5)$$

Для того, чтобы определить α_i и β_i , необходимо знать α_1 и β_1 из левых граничных условий.

При условии, что T_N^{n+1} определено из правого граничного условия, по формулам (4) определяются $T_{N-1}^{n+1}, T_{N-2}^{n+1}, \dots, T_2^{n+1}$.

Далее решение уравнений (3) методом прогонки сводится к вычислениям по трем формулам. Это значит, что прогоночные коэффициенты α_i и β_i будут найдены по формулам (5) при прямой прогонке. Далее нахождение неизвестных T_i^{n+1} по формуле (4) при обратной прогонке.

Одним из главных условий метода прогонки является то, чтобы при решении не возникало деления на нуль. Также необходимо, чтобы при больших размерностях систем не возникало быстрого роста погрешностей округления.

Условия для прогонки:

для того, чтобы прогонка была корректной, уравнение (4) не должно быть равно нулю. Прогонка будет устойчивой, если $|\alpha_i| < 1$ при всех $i = \overline{1, N-1}$.

Достаточные условия корректности и устойчивости прогонки уравнений (3):

$$|B_i| > |A_i| + |C_i|, \forall_{i=2, \overline{N-1}} \text{ и } |\alpha_1| < 1 \Rightarrow |\alpha_i| < 1.$$

Определим прогоночные коэффициенты и представим алгоритм решения данной задачи, вернувшись к системе (2).

При $x=0$ $T=T_L$,

То

$$T_1^{n+1} = \alpha_1 \cdot T_2^{n+1} + \beta_1 = T_L,$$

$$\alpha_i = 0, \beta_i = T_L$$

а при

$$x=L, T=T_L$$

$$T_N^{n+1} = T_n$$

Прогоночные коэффициенты вычисляются по формулам (5).

Разностные соотношения, аппроксимирующие дифференциальную задачу имеют следующий вид [54]:

$$\rho \cdot c \cdot \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\tau} = \lambda \frac{T_{i+1}^{n+1} - 2 \cdot T_i^{n+1} + T_{i-1}^{n+1}}{h^2}, i=2, \dots, N-1, n \geq 0 \quad (6)$$

$$T_i^0 = T_0, i=2, \dots, N-1;$$

$$T_1^n = T_L, n > 0;$$

$$T_N^n = T_n, n > 0.$$

Аппроксимация данной задачи выполнена с первым порядком точности по времени t и вторым по пространственной координате h . Также можно проводить интегрирование краевой задачи с любым разностным шагом по времени, так как неявная разностная схема является абсолютно устойчивой.

Шаг выбирается так, чтобы весь временной интервал разбивался хотя бы на 10 шагов, желательно разбивать на большее количество шагов [54-56].

Также методом конечных разностей решается задача двухслойной пластины. Представим задачу как совокупность двух пластин с разными теплофизическими характеристиками.

Геометрию задачи можно представить следующим образом:

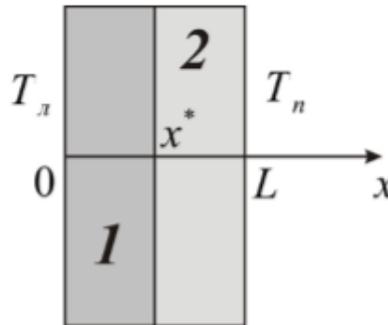


Рисунок 7 – Геометрия задачи [54]

Математическая постановка задачи будет иметь вид [54]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_1 c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2}, \quad 0 < x < x^*; \\ \rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2}, \quad x^* < x < L \end{array} \right.$$

Первое уравнение соответствует характеристикам первой пластины, второе уравнение – второй пластины.

Начальные и граничные условия будут записаны следующим образом:

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

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

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

$$T_1(t, x^*) = T_2(t, x^*)$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} \Big|_{x=x^*} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} \Big|_{x=x^*}$$

На границах $x=0$ и $x=L$ для простоты решения рассматриваются граничные условия I рода. Важным в этой задаче является исследование граничных условий четвертого рода в точке соприкосновения двух пластин. Данная задача решается на основе неявной разностной схемы. Граничное условие четвертого рода используется для определения прогоночных коэффициентов в точке x^* . Алгоритм решения данной задачи можно представить следующим образом.

В первую очередь проводится аппроксимация дифференциального уравнения конечными разностями, получим систему линейных уравнений, которую получили ранее (6). Для нахождения прогоночных коэффициентов в области $0 \leq x < x^*$ используются характеристики среды 1. При нахождении прогоночных коэффициентов в области $x^* < x \leq L$ используются характеристики среды 2. В точке $x = x^*$ используются условия четвертого рода.

Прогоночные коэффициенты в точке контакта двух сред [54]:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{1,i^*} = T_{2,i^*}, \\ -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} \Big|_{x=x^*} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} \Big|_{x=x^*} \end{array} \right.$$

Рассмотрим аппроксимацию первого порядка относительно шага по пространственной координате. Примем, что при $i < i^*$ $T = T_1$, а при $i > i^*$ $T = T_2$ исключим в записи индексы, которые характеризуют среду.

Из этого следуют соотношения:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{1,i^*} = T_{2,i^*}, \\ -\lambda_1 \frac{T_{1,i^*} - T_{i^*-1}}{h} = -\lambda_2 \frac{T_{i^*+1} - T_{2,i^*}}{h}. \quad (7) \end{array} \right.$$

Введем обозначения $T_{1,i^*} = T_{2,i^*} = T_{i^*}$.

Используя прогоночное соотношение $T_{i^*-1} = \alpha_{i^*-1} \cdot T_{i^*} + \beta_{i^*-1}$ из второго равенства условий (7) получим:

$$T_{i^*-1} = \alpha_{i^*-1} \cdot T_{i^*} + \beta_{i^*-1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \cdot T_{i^*+1} - \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \cdot T_{i^*}$$

Или

$$T_{i^*} = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \lambda_1 \cdot (1 - \alpha_{i^*-1})} \cdot T_{i^*+1} + \frac{\lambda_1 \cdot \beta_{i^*-1}}{\lambda_2 + \lambda_1 \cdot (1 - \alpha_{i^*-1})}.$$

Из этого следует, что

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_{i^*} = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \lambda_1 \cdot (1 - \alpha_{i^*-1})}; \\ \beta_{i^*} = \frac{\lambda_1 \cdot \beta_{i^*-1}}{\lambda_2 + \lambda_1 \cdot (1 - \alpha_{i^*-1})}. \end{array} \right. \quad (8)$$

При аппроксимации второго порядка относительно шага по пространственной координате получим

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_{i^*} = \frac{2 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \tau \cdot \lambda_2}{2 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \tau \cdot (\lambda_2 + \lambda_1 \cdot (1 - \alpha_{i^*-1})) + h^2 \cdot (\lambda_1 \cdot \alpha_2 + \lambda_2 \cdot \alpha_1)}; \\ \beta_{i^*} = \frac{2 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \tau \cdot \lambda_1 \cdot \beta_{i^*-1} + h^2 \cdot (\lambda_1 \cdot \alpha_2 + \lambda_2 \cdot \alpha_1) \cdot T_{i^*}^n}{2 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \tau \cdot (\lambda_2 + \lambda_1 \cdot (1 - \alpha_{i^*-1})) + h^2 \cdot (\lambda_1 \cdot \alpha_2 + \lambda_2 \cdot \alpha_1)}. \end{array} \right. \quad (9)$$

Сначала находят прогоночные коэффициенты для первой среды, границе i^* используют соотношения (8) или (9), затем определяют прогоночные коэффициенты для второй среды.

Также существуют задачи с термическим разложением. Рассмотрим одномерную задачу с химической реакцией в материале. На границах осуществляется теплообмен с окружающей средой [54-56].

Математическая постановка задачи будет иметь вид:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + q_{\text{хим}} k_0 \rho \exp\left(-\frac{E}{RT}\right), 0 < x < L; \quad (10)$$

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

$$x = 0 : -\lambda \frac{\partial T}{\partial t} = \kappa(T^e - T), t > 0 \quad (11)$$

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

Где $q_{\text{хим}}$ – тепловой эффект химической реакции, k_0 - предэкспонент химической реакции, E – энергия активации химической реакции.

Для решения данной краевой задачи применяется метод конечных разностей на основе неявной четырехточечной схеме совместно с методом простой итерации. После аппроксимации частных производных получается следующая система уравнений:

$$\rho \cdot c \cdot \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\tau} = \lambda \frac{T_{i+1}^{n+1} - 2 \cdot T_i^{n+1} + T_{i-1}^{n+1}}{h^2} + q_{\text{хим}} k_0 \rho \exp\left(-\frac{E}{RT_i^{n+1}}\right), \quad (12)$$

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

Данную систему сведем к более 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

$$A_i = C_i = \frac{\lambda}{h^2}, B_i = \frac{2\lambda}{h^2} + \frac{\rho \cdot c}{\tau}, F_i = -\frac{\rho \cdot c}{\tau} T_i^n - q_{\text{хим}} k_0 \rho \exp\left(-\frac{E}{RT_i^{n+1}}\right).$$

Коэффициент F_i будет зависеть от температуры на новом временном слое. Поэтому нужно воспользоваться методом простой итерации. Итерации для определения поля температуры на каждом временном слое будут выполняться до тех пор, пока максимальная разность между локальными

значениями температуры на данной и на предыдущей итерации не будет минимальна или:

$$\max |T_i^{s+1} - T_i^s| \leq \varepsilon$$

где ε — точность вычисления.

Заключение по результатам работы

В результате проведенного исследования разработана математическая модель теплопереноса в слоистой структуре почвенного покрова при воздействии очага низового лесного пожара. Проведено численное моделирование процесса теплопереноса при различных параметрах воздействия лесного пожара, а именно температуры, времени, также глубины слоев почвенного покрова

Воздействие пожара на слои почвы проявляется чаще всего в нанесении термических повреждений. Важное значение имеют тепловые режимы воздействия очагов лесных пожаров на приповерхностные слои почвы. После пожаров в почвах наблюдается изменение физико-химических свойств, водного баланса и деятельности микроорганизмов.

Исследование методом численного моделирования является более рациональным, чем экспериментальное исследование. Распределение температур в почве зависит не только от вида и характеристик лесного пожара, а также от теплофизических свойств слоев почвенного покрова. Следовательно, применяя численное моделирование, затрачивается меньше ресурсов для проведения исследования при различных сценариях.

Разработка новых сценариев воздействия очага лесного пожара на слои почвы, применение различных свойств древесных включений, их расположение в почве и влияние на распределение температурного поля во всем почвенном покрове является целью дальнейших исследований.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В выпускной квалификационной работе «Математическое моделирование влияния очага лесного пожара на слой почвы с учетом древесных включений на местах рубки леса» рассматривается математическое моделирование процесса теплопереноса в слоистой структуре почвы с древесными включениями на местах рубки леса при воздействии очага низового лесного пожара.

Для математического моделирования использовалась среда программирования Delphi. Все графические результаты обрабатывались в пакете программы OriginPro 8.5.

Основными задачами выполнения данного раздела является:

- Определение потенциальных потребителей результатов научного исследования.
- Проведение анализа конкурентных технических решений.
- Проведение анализа сильных и слабых сторон проекта.
- Выявление альтернатив проведения научных исследований.
- Планирование графика выполнения научных исследований.
- Проведение оценки эффективности научно-исследовательского проекта.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проекта

4.1.1 Определение потенциальных потребителей результатов исследования

Решение данной задачи и получение результатов позволит экологическим организациям, а также организациями, изучающим причины и последствия лесных пожаров, заблаговременно предполагать тепловые последствия лесного пожара на почву в различных условиях.

На сегодняшний день данная модель актуальна, поскольку законами Российской Федерации запрещено экспериментальное сжигание лесов с целью проведения различных исследований.

4.1.2 Выявление конкурентных технических решений

Для оценки конкурентов необходимо провести анализ рынка, в котором компании занимаются разработкой таких же или подобных им моделям. Оценка конкурентов в дальнейшем поставит несколько задач: конкурировать с данными компаниями, улучшая свою модель, или войти в сотрудничество и продолжать строить рынок на определенных взаимных условиях [57].

Основными конкурентами являются профильные университеты, которые занимаются проведением научно-исследовательских работ в области экологических и географических проблем. Также университеты разных стран сотрудничают между собой в целях получения более актуальных и разносторонних результатов.

Первым конкурентом является Харьковский национальный университет В.Н. Каразина. В данном университете применяют математические модели к изучению воздействия лесного пожара. Модель, представленная университетом, отличается от нашей модели методом решения, что делает нашу модель более точной и простой в эксплуатации.

Вторым наиболее вероятным конкурентом является Сибирский государственный технологический университет. В данном университете

используют уже готовый программный пакет WFDS-LS. Пользуясь данным пакетом, исследователи совершенствуют методы противодействия лесным пожарам, а также рассматривают возможные сценарии лесного пожара.

Расчет нашей математической модели довольно прост, но это является ее плюсом. Модель более чем универсальная, позволяет моделировать различные сценария лесного пожара. При ее использовании сложно допустить грубые ошибки, а обработка результатов занимает небольшое количество времени.

Для наглядности выявления конкурентных технических решений составим оценочную карту сравнения конкурентных разработок, где 1 – наиболее слабая позиция, 5 – наиболее сильная позиция.

Таблица 10 - 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 ресурсоэффективности							
Экономия ресурсов	0,1	4	3	2	0,4	0,3	0,2
Простота эксплуатации	0,05	5	3	2	0,3	0,2	0,2
Надежность	0,05	5	3	4	0,3	0,15	0,2
Безопасность испытаний	0,08	5	4	3	0,4	0,3	0,2
Погрешность испытаний/измерений	0,1	4	2	3	0,4	0,2	0,3
Количество изменяемых параметров и условий	0,2	5	3	2	1	0,8	0,4
Экономические критерии оценки эффективности							
Цена	0,15	3	5	2	0,4	0,75	0,3
Предполагаемый срок эксплуатации	0,15	5	3	2	0,8	0,5	0,35
Послепродажное обслуживание	0,05	4	2	3	0,15	0,04	0,05
Срок выхода на рынок	0,07	3	4	5	0,22	0,3	0,35
Итого	1	43	32	28	4,21	3,6	2,54

Таким образом, конкурентоспособность разработки составила 4,21. Результаты показывают, что данная разработка является конкурентоспособной и имеет преимущества по таким показателям, как простота эксплуатации, точность, экономия ресурсов, срок эксплуатации.

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 [57-59].

Таблица 11 - SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны:</p> <p>С1. Использование современного программного пакета Delphi и Origin.</p> <p>С2. Заинтересованность всех сторон, относящихся к проекту.</p> <p>С3. Наглядное представление результатов работы</p> <p>С4. Универсальность программного обеспечения, позволяющего менять множество параметров.</p> <p>С5. Относительная дешевизна.</p>	<p>Слабые стороны:</p> <p>Сл1. Использование программы доступно только на английском языке.</p> <p>Сл2. Вероятность допущения ошибки при моделировании.</p> <p>Сл3. Более низкая стоимость с аналогичными пакетами.</p> <p>Сл4. Небольшое количество кадров, способных работать с данным пакетом.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Небольшое количество конкурентов в сфере математического моделирования.</p> <p>В2. Возможность сотрудничества с наиболее прогрессивными разработчиками.</p>	<p>Основная возможность – выявлять результаты воздействия лесного пожара на почву только по входным данным, в дальнейшем возможно использование модели для различных технических решений.</p>	<p>Малое количество кадров, способных работать с данной моделью, может негативно сказаться на времени и результатах у компаний, использующих наш вариант модели. Данный недостаток можно исправить базовым</p>

<p>В3. Программная модель поможет сэкономить ресурсы, по сравнению с экспериментом.</p> <p>В4. Повышение уровня предотвращения загрязнения экосистем.</p> <p>В5. Применение результатов проекта в любой технической деятельности.</p>		<p>курсом по работе в среде Delphi и Origin.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие навыков работы с данным программным обеспечением.</p> <p>У2. Возможность создания новой математической модели, в следствии чего наши результаты будут считаться устаревшими.</p> <p>У3. Введение дополнительных государственных требований и сертификации программы.</p>	<p>Количество сильных сторон значительно перевешивает количество слабых сторон. Данная модель актуальна по затратам на ресурсы. Спрос будет оставаться постоянным или расти при сохранении условий запрета проведения экспериментов сжигания лесных массивов.</p>	<p>Опытным путем уже доказано, что методы моделирования находят применение во многих технических сферах. Результаты данных программ с наименьшей погрешностью отличаются от действительности. Работа с персоналом по обучению, сертификация алгоритма решения поможет предотвратить возможные угрозы.</p>

Выводом из SWOT-анализа является факт, что разработанная модель имеет конкурентное место на рынке. Техническое и экономическое обоснования для проекта является преимуществом среди конкурентов.

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 3.

Таблица 12 – 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 состояния области исследования	Исполнитель

Подготовительные работы к испытаниям	3	Разработка и написание методической части работы	Исполнитель, научный руководитель
Формулировка расчетных формул, основных допущений	4	Изучение архитектуры программного пакета	Исполнитель
	5	Определение граничных условий моделирования	Научный руководитель, исполнитель
	6	Программная реализация расчетных формул	Исполнитель
Верификация алгоритма программы	7	Получение результатов работы	Исполнитель
	8	Проверка на наличие погрешностей	Научный руководитель, исполнитель
	9	Выявление основных закономерностей процессов теплопереноса	Научный руководитель, исполнитель
Обсуждение и оценка результатов	10	Оценка результатов моделирования	Научный руководитель, исполнитель
Оформление отчета по научному исследованию	11	Составление пояснительной записки	Исполнитель
	12	Проверка выпускной квалификационной работы	Научный руководитель
Представление отчета о научной работе	13	Подготовка к защите выпускной квалификационной работе	Научный руководитель, исполнитель
	14	Защита выпускной квалификационной работы	Исполнитель

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Выполнение этапа по определению трудоемкости выполнения работ подразумевает за собой расчет трудоемкости выполнения научного исследования, а также определение продолжительности каждой работы в рабочих днях, с учетом выполнения работ несколькими исполнителями сразу. Результаты расчетов приведены в таблице 4. Научный руководитель – НР; Исполнитель – И.

Таблица 13 – Календарная продолжительность работ

№	Название работы	Трудоемкость работ, чел.-дн.						Длительность работ в рабочих днях	
		t _{min}		t _{max}		t _{ож}			
		НР	И	НР	И	НР	И	НР	И
1	Составление и утверждение технического задания	1	-	2	-	1,4	-	1,4	-
2	Литературный обзор состояния области исследования	-	12	-	14	-	13	-	13
3	Разработка и написание методической части работы	1	3	1	5	1	4	0,5	2
4	Изучение архитектуры программного пакета	-	3	-	5	-	4	-	4
5	Определение граничных условий моделирования	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5
6	Программная реализация расчетных формул	-	20	-	23	-	21	-	21
7	Получение результатов работы	-	3	-	5	-	3	-	3
8	Проверка на наличие погрешностей	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5
9	Выявление основных закономерностей процессов теплопереноса	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5
10	Оценка результатов моделирования	1	4	3	5	2	4,5	1	2,2
11	Составление пояснительной записки	-	10	-	21	-	16	-	16
12	Проверка выпускной квалификационной работы	3	-	5	-	4	-	4	-
13	Подготовка к защите выпускной квалификационной работе	5	5	10	10	7	7	4	4

14	Защита выпускной квалификационной работы	-	1	-	1	-	1	-	1
----	--	---	---	---	---	---	---	---	---

4.2.3 Разработка графика выполнения выпускной квалификационной работы

Для наглядного изображения трудоемкости выполнения работы воспользуемся составлением диаграммы Ганта.

Длительность на данном графике выражается в календарных днях. Начало работ - 18.02.2021.

Таблица 14 – 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 состояния области исследования	-	13	-	20
3	Разработка и написание методической части работы	0,5	2	1	3
4	Изучение архитектуры программного пакета	-	4	-	6
5	Определение граничных условий моделирования	0,5	0,5	1	1
6	Программная реализация расчетных формул	-	21	-	32
7	Получение результатов работы	-	3	-	5
8	Проверка на наличие погрешностей	0,5	0,5	1	1
9	Выявление основных закономерностей процессов теплопереноса	0,5	0,5	1	1
10	Оценка результатов моделирования	1	2,2	2	4

11	Составление пояснительной записки	-	16	-	24
12	Проверка выпускной квалификационной работы	4	-	6	-
13	Подготовка к защите выпускной квалификационной работе	4	4	6	6
14	Защита выпускной квалификационной работы	-	1	-	2

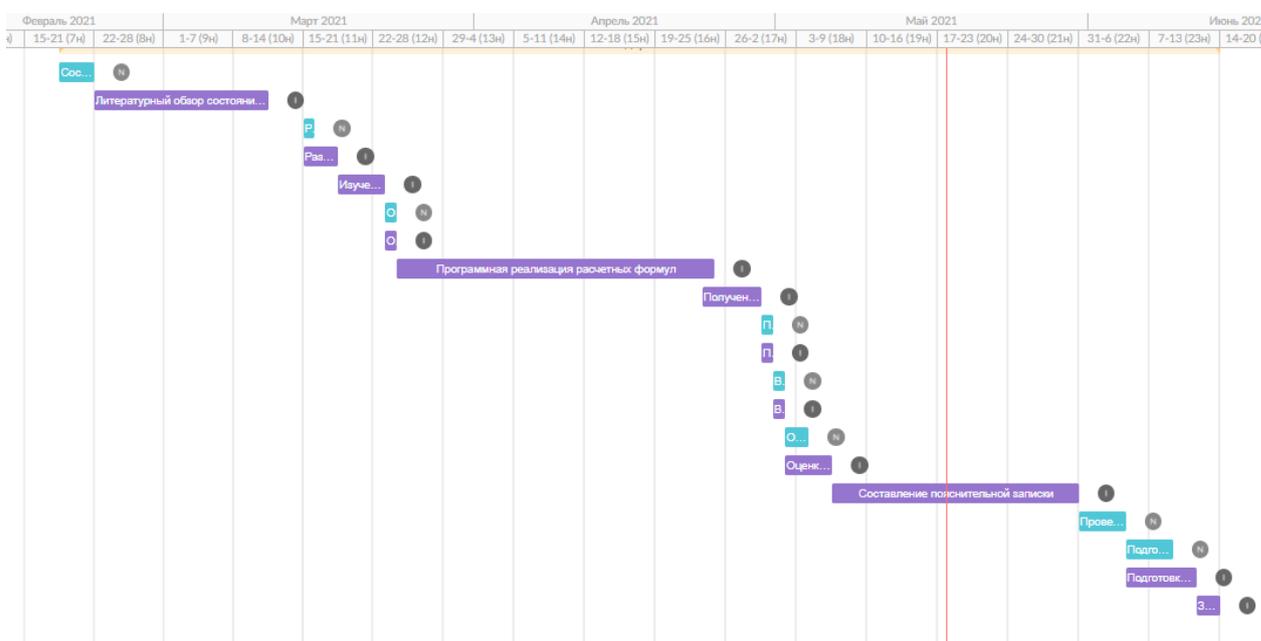


Рисунок 22 – Диаграмма Ганта: N – Научный руководитель; I – Исполнитель
 Работа над исследованием заняла 98 дней. Рабочие дни научного руководителя – 21 день. Рабочие дни исполнителя – 89 дней.

4.3 Бюджет проекта

Расчет бюджета проекта основывается на определении следующих статей:

- расчет прямых прочих расходов;
- 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.

Права пользования выдаются по подписке на год. Стоимость подписки составляет 60 000,00 руб. Стоимость ПО OriginPro 8.5. в год составляет 90 181,00 руб.

Прямые прочие расходы представлены в таблице 6.

Таблица 15 – Прямые прочие расходы проекта

Наименование	Количество, шт.	Цена за ед., руб.	Стоимость, руб
Стоимость программного пакета Delphi	1	60 000,00	60 000,00
Стоимость программного пакета OriginPro 8.5.	1	90 181,00	90 181,00
ИТОГО:			150 181,00
Амортизационные отчисления			7 509,06

$$A_n = \frac{1}{5} * 100\% = 20\% - \text{норма амортизации};$$

$A_r = 150\,181,00 * 0,20 = 30\,036,20$ руб. – годовые амортизационные отчисления;

$A_m = \frac{30\,036,20}{12} = 2\,503,02$ руб. – ежемесячные амортизационные отчисления;

$$A = 2\,503,02 * 3 = 7\,509,06 \text{ руб.} - \text{затраты на амортизацию в проекте.}$$

4.3.2 Расчет затрат на экспериментальное оборудование

В роли экспериментального оборудования выступает персональный компьютер. Рассчитаем также амортизацию, так как персональный компьютер будет в дальнейшем использоваться (таблица 7).

Таблица 16 – Затраты на экспериментальное оборудование

Наименование	Количество, шт.	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб
Персональный компьютер (в сборе)	1	65990,00	65990,00
Всего за оборудование			65990,00
Расходы на транспортировку (15%)			9898,50
ИТОГО:			75888,50
Амортизационные отчисления			3794,43

$$A_n = \frac{1}{5} * 100\% = 20\% \text{ - норма амортизации;}$$

$A_r = 75888,50 * 0,20 = 15\,177,70$ руб. – годовые амортизационные отчисления;

$A_m = \frac{15\,177,70}{12} = 1\,264,81$ руб. – ежемесячные амортизационные отчисления;

$$A = 1264,81 * 3 = 3\,794,43 \text{ руб. – затраты на амортизацию в проекте.}$$

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.

При пятидневной рабочей недели отпуск составляет 28 календарных дня для исполнителя, и 56 календарных дней для научного руководителя, при количестве месяцев работы без отпуска, равном 11,2 месяца.

Составляем годовой баланс рабочего времени (таблица 8).

Таблица 17 – Годовой баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Исполнитель
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 9.

Таблица 18 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Зб, 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	1,3	0	1,3	25 350	1 296,40	89	115 397,60
Научный руководитель	35 120	1,3	0	1,3	59 352,8	2 735,60	21	57 447,60
ИТОГО								172 845,2

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 19 – Заработная плата исполнителей проекта

Заработная плата	Исполнитель	Научный руководитель
Основная зарплата, руб.	115 397,60	57 447,60
Дополнительная зарплата, руб.	13 847,71	6 893,71
Зарплата исполнителя, руб.	129 245,31	64 341,31
Итого, руб.	193 586,62	

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 %.

$$Z_{\text{соц}} = 30,2\% * (Z_{\text{зп}}) = 0,302 * 193\ 586,62 = 58\ 463,16 \text{ руб.}$$

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.

$$Z_{\text{накладные}} = 16\% * (Z_{\text{зп}}) = 0,16 * 193\ 586,62 = 30\ 973,86 \text{ руб.}$$

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

Таблица 20 – Бюджет затрат проекта

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Прочие прямые расходы	7 509,06
2. Затраты на экспериментальное оборудование	3 794,43
3. Затраты по з/п	193 586,62
4. Отчисления во внебюджетные фонды	58 463,16
5. Накладные расходы	30 973,86
6. Бюджет затрат проекта	294327,13

4.4 Оценка эффективности 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, (таблица 1);

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

Описание конкурирующих проектов приведено в п. 1.2.

Расчеты сведем в таблицу 12. Результаты представлены для трех разных исполнений проекта.

Таблица 21 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

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

$I_{p1} = 5 \cdot 0,05 + 4 \cdot 0,1 + 0,05 \cdot 5 + 0,08 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,07 \cdot 3 = 4,21$ – интегральный показатель эффективности разработанного проекта;

$I_{p2} = 3 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,1 + 0,05 \cdot 3 + 0,08 \cdot 4 + 0,1 \cdot 2 + 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 3 + 0,05 \cdot 2 + 0,07 \cdot 4 = 3,6$ – интегральный показатель эффективности конкурирующего проекта 1;

$I_{pz} = 2 \cdot 0,05 + 2 \cdot 0,1 + 0,05 \cdot 4 + 0,08 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 2 + 0,15 \cdot 2 + 0,15 \cdot 2 + 0,05 \cdot 3 + 0,07 \cdot 5 = 2,54$ – интегральный показатель эффективности конкурирующего проекта 2.

На основании критерия интегральной ресурсоэффективности проекта, разработанный проект обладает преимуществом перед конкурирующими.

Результаты показывают, что данная разработка является конкурентоспособной и имеет преимущества по таким показателям, как простота эксплуатации, точность, экономия ресурсов, срок эксплуатации.

Выводы по разделу

В результате выполнения раздела ВКР «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были выполнены проектирование и создание конкурентоспособной разработки, заключающейся в модели оценки влияния лесного пожара на слой почвы.

В процессе исследования проведен SWOT-анализ и выявлены сильные и слабые стороны разработки, а также возможности и угрозы. Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

Планирование выполнения научно-исследовательских работ привело к выявлению загруженности как научного-руководителя, так и студента-дипломника. Определена продолжительность выполнения работ, равная 98дней.

На основании планирования проекта были определены затраты, необходимые для выполнения работ. Бюджет затрат составляет 385 353,3руб.

5 Социальная ответственность

Введение

Социальная ответственность и охрана труда являются важнейшими составляющими любой деятельности, в особенности производственной, т.к. непосредственно связаны со здоровьем и жизнью человека. Социальная ответственность – сознательное отношение субъекта социальной деятельности к требованиям социальной необходимости, гражданского долга, социальных задач и, норм и ценностей, понимание осуществляемой деятельности для определенных социальных групп и личностей, для социального прогресса общества.

Объектом исследования в данной дипломной работе является почва, подверженная влиянию очага лесного пожара. Рассматривается структурно – неоднородной слой почвы с древесными включениями. Такие почвы имеют место быть на местах рубок леса.

Рассматривается влияние очага лесного пожара на слои почвы. Данное решение можно применить при оценке экологической обстановки после лесного пожара, а также для дальнейших вариантов возрождения почвенного состава.

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. [60]

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 – пространственная зона, оснащенная необходимыми средствами, в которой совершается трудовая деятельность работника или группы работников, совместно выполняющих производственные задания. Рабочее место является частью производственно-технологической структуры предприятия (организации), оно предназначено для выполнения части технологического (производственного) процесса и определяется на основе трудовых и других действующих норм, и нормативов. Условия труда пользователя, 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 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 может создать объект исследования.

Объектом исследования является почва, подверженная влиянию очага возгорания лесного пожара, включающая в себя древесные остатки. Когда человек пребывает в зоне пожара, то он может попасть под воздействие следующих опасных и вредных факторов.

Опасные факторы лесных пожаров по механизму воздействия на организм человека можно разделить на три группы: физико-химические, психофизические и биологические. Физико-химические включают повышенную температуру воздуха рабочей зоны, световое и тепловое излучение, наличие в дыме угарного и углекислого газов, горящих частиц лесных горючих материалов (ЛГМ), психофизические - нервнопсихологические и физические нагрузки, биологические - наличие в рабочей зоне кровососущих насекомых, способных вызывать кожные аллергические реакции и являющихся переносчиками таких заболеваний, как клещевой энцефалит, малярия. Огонь - основная причина травматизма и гибели людей, когда они попадают в его окружение. При тушении кромки низового пожара чаще всего подвергаются ожогам открытые участки тела, загорается одежда. Защитными средствами в этом случае могут служить специальная одежда, палатки, пологи из негорючих тканей. Тушение крупных лесных пожаров влечет за собой и более тяжелые последствия.

5.2.2 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» [61] для идентификации потенциальных факторов.

Сведем полученные результаты в таблицу.

Таблица 22 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Разраб-отка	Эксплу-атация	
1. Несоответствие микроклимата рабочей зоны	+	+	Требования к микроклимату рабочей зоны устанавливаются по ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ [62].
2. Зрительное напряжение, монотонность труда	+	+	Эргономические требования и требования к производственной среде
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	-	устанавливаются ГОСТ 50923-96 [63].
4. Повышенный уровень электромагнитных излучений	+	+	Требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 [64].

5. Электрического характера	+	+	Требования к уровню электромагнитных излучений устанавливаются ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ [65]. Требования к электробезопасности устанавливаются ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ [66].
-----------------------------	---	---	--

Для математического моделирования теплопереноса в слоистой структуре почвенного покрова при воздействии температуры от очага 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 2. Допустимые величины показателей микроклимата на рабочем месте должны соответствовать значениям, приведённым в ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ в таблице 1 [62].

Таблица 23 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочем месте

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °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 3 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочем месте

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат, 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) Зрительное напряжение, монотонность труда.

Зрительное напряжение возникает в результате работы с персональным компьютером. Также монотонность труда зависит от эргономических требований. Данные требования представлены в ГОСТ 50923-96 [63].

Рабочее место с дисплеем должно обеспечивать оператору возможность удобного выполнения работ в положении сидя и не создавать перегрузки костно-мышечной системы. Основными элементами рабочего места

оператора являются: рабочий стол, рабочий стул (кресло), дисплей, клавиатура; вспомогательными - пюпитр, подставка для ног.

Поверхность сиденья должна иметь ширину и глубину не менее 400 мм. Должна быть предусмотрена возможность изменения угла наклона поверхности сиденья от 15° вперед до 5° назад. Высота поверхности сиденья должна регулироваться в пределах от 400 до 550 мм.

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

Клавиатура на рабочем месте оператора должна располагаться так, чтобы обеспечивалась оптимальная видимость экрана.

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 человек усталость, стресс, умственную нагрузку. При низком уровне освещения стоит заменить или добавить источники освещения. Согласно СП 52.13330.2016 [64] Освещённость рабочей зоны должна быть 300-500 лк.

4) Повышенный уровень электромагнитных излучений.

При повышенном уровне электромагнитных излучений страдает психологическое и физическое здоровье исследователей, что влечет за собой снижение работоспособности. На данный момент большинство персональных компьютеров и их производных защищают их пользователей от повышенных электромагнитных излучений. Но все же есть требования к уровню электромагнитных излучений, которые требуется соблюдать. Данные требования представлены в ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ [65].

Измерения напряженности и электромагнитных излучений следует проводить не реже одного раза в год, а также в следующих случаях:

1. при вводе в действие новых установок;
 2. при внесении изменений в конструкцию, размещение и режим работы действующих установок;
 3. во время и после проведения ремонтных работ, которые могут сопровождаться изменением излучаемой мощности;
 4. при внесении изменений в средства защиты от ЭМП;
 5. при организации новых рабочих мест.
- 5) Электрического характера.

Под вредными и опасными факторами электрического характера подразумеваются факторы, которые могут нанести вред здоровью человеку в результате несоблюдения норм электробезопасности. Одним из наиболее вероятных факторов – поражение электрическим током. Поражение электрическим током может произойти при взаимодействии с неисправными устройствами, которые подключены к сети питания 220, 380 В. 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 [66]. 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;

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

Для снижения воздействия вредных и опасных факторов микроклимата рабочей среды необходимо поддерживать благоприятные для человека климатические условия на рабочем месте.

Для снижения зрительного напряжения и монотонности труда необходимо [63]:

- делать регулярные перерывы по 15 минут через каждые 30 минут;
- правильное расстояние до дисплея (45-60 см);
- использовать специальный компьютерный стул на газпатроне, без подлокотников, ширина и глубина поверхности сиденья не менее 400 мм.

Для достаточной и необходимой освещенности рабочей зоны необходимо [64]:

- использовать естественное и искусственное освещение в помещении;
- светильники должны располагаться в виде сплошных или прерывистых линий сбоку от рабочих мест параллельно линии зрения пользователя при разном расположении компьютеров;
- следует проводить чистку стекол оконных проемов и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп.

Для снижения уровня электромагнитных излучений необходимо [65]:

- установить монитор задней стенкой к стене;
- исключение пыли в помещении;
- необходимо хорошо проветривать помещение.

Для предотвращения факторов электрического характера, поражения электрическим током необходимо [66]:

- 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;

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

5.3 Экологическая безопасность

5.3.1 Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду

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

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

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

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

первой категории в результате химических реакций, в том числе с компонентами воздуха. Газы и аэрозоли первой и второй категорий принято называть соответственно первичными и вторичными загрязнителями.

Загрязнение гидросферы – немало важный фактор при лесном пожаре, а также при его ликвидации.

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.

Загрязнение литосферы заключается в уничтожении плодородного почвенного состава. Во время возгорания в лесу сгорает гумус – естественный плодородный слой почвы. В зависимости от состава почв на образование одного миллиметра гумуса уходит 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. Также из-за разрушения почвы возможно заболачивание территории, появляется риск затопления.

5.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

Экологической безопасностью называется допустимый уровень негативного воздействия природных и антропогенных факторов экологической опасности на окружающую среду и человека.

В процессе исследования влияния очага лесного пожара на слой почвы, не возникает факторов, которые могут отрицательно или положительно повлиять на окружающую среду. Исследование проводится при использовании персонального компьютера и программного обеспечения.

5.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Проблема взаимосвязи человек с природой не нова, она имела место всегда. Но сейчас, в настоящее время, экологическая проблема взаимодействия человека и природы, также воздействия человеческого общества на окружающую среду стала очень острой и приняла огромные масштабы. Общество не выживет без экологического сознания. Сущность экологического сознания является отражением реально практических отношений общества. Обществу необходимо знать экологические нормы, правила поведения, иметь высокий уровень экологической культуры.

Также развитие научных исследований помогает в защите окружающей среды от лесных пожаров. Развитие геомониторинга и геоинформационных систем позволяет определить очаг возгорания на ранней стадии развития. Также данные системы позволяют определить точное нахождение очага возгорания лесного пожара. Данные системы позволяют пожарным службам быстрее распознавать и реагировать на очаги возгорания.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией является лесной пожар, который убивает лесные массивы, фауну, а также может навредить человечеству, сжигая населенные пункты.

Причинами возгорания лесных массивов могут служить:

- Естественные, в следствие погодных условий (засуха, смена времени года);

- Антропогенные, в следствие неаккуратного обращения с огнем человека, оставление в лесу непотушенных очагов огня.

5.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований

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

- 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;
- неаккуратное обращение с огнем и несоблюдение мер пожарной безопасности.

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

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" [67] 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 в компьютерной аудитории исполнитель сталкивается с различными вредными и опасными факторами. Примерами являются недостаточная освещенность рабочей зоны, несоответствие микроклимата рабочей зоны, повышенный уровень электромагнитных излучений, зрительное напряжение, монотонность труда, возможность поражения электрическим током. Возможны и чрезвычайные ситуации, например, возгорание из-за неисправных электроприборов. Для контроля и обеспечения безопасности персонала от этого фактора предусмотрено большое количество мер, описанных в разделе. Также были рассмотрены факторы и меры для снижения вредных факторов на рабочем месте исполнителя. Соблюдая все нормы и требования добиться комфортных и безопасных условий работы достаточно несложно.

Список литературы

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. Viedma, O. Email Author, Urbieto, I.R., Moreno, J.M. Wildfires and the role of their drivers are changing over time in a large rural area of west-central Spain // Scientific Reports, 2018. Vol. 8. №1. P. 4-5.
4. Валендик Э.Н., Косов И.В. Влияние теплового излучения на окружающую среду // Сибирский экологический журнал, 2008. № 4. С. 517-523.
5. Курбатский Н.П. О классификации лесных пожаров // Лесн. хоз-во, 1970. №3. С. 68-73.
6. Сафронов, М.А. Еще раз о классификациях лесных пожаров // Лесн. хоз-во, 1971. №2. С. 22-25.
7. А.С. Залесов. Классификация лесных пожаров // Методические указания-Екатеринбург, 2011. С. 5-11.
8. Валендик Э.Н., Матвеев П.М., Софронов М.А. Крупные лесные пожары. М, 1979. С. 50-71.
9. Кимстач И.Ф., Девлшиев П.П., Евтюшин Н.М. Пожарная тактика. М, 1984. С. 35-40.
10. Соловьев С.В. Экологические последствия лесных и торфяных пожаров // Академия государственной противопожарной службы МЧС России – Москва, 2006. С. 12-18.
11. Гундар С. В. Об энергетическом балансе беспламенного горения части почвы при лесных пожарах. Вопросы лесной пирологии - Красноярск: Изд-во ин-та леса и древесины Сиб. отд. АН СССР, 1974 С. 74–82.
12. Reardon J., Hungerford R., and Ryan K. Factors affecting sustained smouldering in organic soils from pocosin and pond pine woodland wetlands. Int. J. Wildland Fire, 2007. №16. P. 107–118.

13. Гришин А.М., Зима В.П., Касымов Д.П. О механизме заглубления очага горения торфа // Инженерно – физический журнал, 2013. № 8. С. 8-10.
14. Гришин А. М. Физика лесных пожаров – Томск, 1994. С. 155-170.
15. Dominique Morvana, Gilbert Accaryb, So fiane Meradjic, Nicolas Frangieha, Oleg Bessonov. A 3D physical model to study the behavior of vegetation fires at laboratory scale // Fire Safety Journal, 2018. № 101. P. 12-13.
16. 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.
17. Wang H., He N., Zhao RH., Ma XY. Soil water content monitoring using joint application of PDI and TVDI drought indices // Remote sensing letters, 2020. Vol. 11. № 5. P. 455-462.
18. Grishin A. M., Golovanov A. N., Kataeva L. Yu., Loboda E. L. Formulation and Solution of the Problem of Drying of a Layer of Combustible Forest Materials // Combustion Explosion and Shock Waves, 2001. № 37. P. 8-12.
19. Rossi, J. L., et al., An Analytical Model Based on Radiative Heating for the Determination of Safety Distances for Wildland Fires // Fire Saf. J., 2011, Vol. 46. № 8, P. 525-533.
20. Zhdanova, A.O., Kuznetsov, G.V., Legros, J.C., Strizhak, P.A. Thermal conditions for stopping pyrolysis of forest combustible material and applications to firefighting // Thermal science, 2017. Vol. 21. № 6A. P. 2556-2558.
21. Кузнецов Г.В., Полсонгкрам Мэйтри. Влияние режима теплового воздействия на состав продуктов пиролиза древесной биомассы – Томск, 2011. С. 20-22.
22. Yawei C., Kumar Aanjaneya, Arvind Atreya. A study to investigate pyrolysis of wood particles of various shapes and sizes // Fire Safety Journal, 2017. №91. P. 8-11.

23. Antonov, D., Osipov, K., Khasanov, I. Experimental and Numerical Studies of Suppression of Forest Combustible Material Pyrolysis under Influence of Steam-Water Curtain // MATEC Web of Conferences 194, 2018. P. 4-5.
24. Черникова В.А., Алексахин Р.М., Голубев А.В. и др. Агроэкология - М.: Колос, 2000. С. 345-356.
25. Anna M. Gajda, Ewa A. Czyz, Karolina Furtak, and Krzysztof Jonczyk. Effects of crop production practices on soil characteristics and metabolic diversity of microbial communities under winter wheat // Soil Research, 2019. № 57. P. 23-25.
26. Xanthe J. Walker, Jennifer L. Baltzer, Steven G. Cumming, Nicola J. Day, Jill F. Johnstone, Brendan M. Rogers, Kylene Solvik, Merritt R. Turetsky and Michelle C. Mack. Soil organic layer combustion in boreal black spruce and jack pine stands of the Northwest Territories, Canada // International Journal of Wildland Fire, 2018. № 27. P. 12-20.
27. Ryan Tangney, Nader A. Issa, David J. Merritt, John N. Callow and Ben P. Miller. A method for extensive spatiotemporal assessment of soil temperatures during an experimental fire using distributed temperature sensing in optical fibre // International Journal of Wildland Fire, 2018. № 27. P. 13-14.
28. Moinuddin K. A. M., Sutherland D., Mell. W. Simulation study of grass fire using a physics-based model: striving towards numerical rigour and the effect of grass height on the rate of spread // International Journal of Wildland Fire, 2018. № 27. P. 18-23.
29. Mansuy, N., Miller, C., Parisien, M.-A., Parks, S.A., Batllori, E., Moritz, M.A. Contrasting human influences and macro-environmental factors on fire activity inside and outside protected areas of North America // Environmental Research Letters, 2019. Vol. 14. №6. P. 8-11.
30. Nielsen, S.E., DeLancey, E.R., Reinhardt, K., Parisien, M.-A. Effects of lakes on wildfire activity in the boreal forests of Saskatchewan, Canada // Forests, 2017. Vol. 7. №11. P. 9.

31. Ying Zhen Li, Haukur Ingason. Scaling of wood pallet fires // *Fire Safety Journal*, 2017. № 88. P. 8-13.
32. Le, G.E., Breysse, P.N., McDermott, A., Berman, J.D., Curriero, F.C. Canadian forest fires and the effects of long-range transboundary air pollution on hospitalizations among the elderly // *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2014. Vol. 3.№ 2. P. 5-6.
33. Bento-Gonçalves, A., Vieira, A. Wildfires in the wildland-urban interface: Key concepts and evaluation methodologies // *Science of the Total Environment*, 2020. Vol. 707. P. 430-431.
34. Yanoviak, S.P., Gora, E.M., Fredley, J., Muzika, R.-M., Carson, W.P. Direct effects of lightning in temperate forests: A review and preliminary survey in a hemlock–hardwood forest of the northern United States // *Canadian Journal of Forest Research*, 2015. Vol. 707. P. 1259-1264.
35. Blanco, J.A., Dubois, D., Littlejohn, D., Moshofsky, M., Welham, C. Soil organic matter: A sustainability indicator for wildfire control and bioenergy production in the urban/forest interface // *Soil Science Society of America Journal*, 2014. Vol. 707. P. 1259-1264.
36. Yao, J., Henderson, S.B. An empirical model to estimate daily forest fire smoke exposure over a large geographic area using air quality, meteorological, and remote sensing data // *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 2014. Vol. 78. P. 106-110.
37. Никитин Ю. А., Рубцов В. Ф. Предупреждение и тушение пожаров в лесах и на торфяниках – Москва: Россельгиздат, 1986. С. 45-47.
38. Huang, X., Torbick, N., Ziniti, B. Study of a simple volume scattering model on burned forest using polarimetric PALSAR-2 data // *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2018. Vol. 12. №15. P. 1875-1878.
39. Naderpour, M., Rizeei, H.M., Khakzad, N., Pradhan, B. Forest fire induced Natech risk assessment: A survey of geospatial technologies // *Reliability Engineering and System Safety*, 2019. Vol. 191. P. 177-178.

40. Ahmad, F., Goparaju, L. Analysis of forest fire and climate variability using Geospatial Technology for the State of Telangana, India // Environmental and Socio-Economic Studies, 2019. Vol. 7. № 1 P. 25-30.
41. Venevsky S., Yannick Le Page, José M.C. Pereira, Chao Wu. Analysis filter patterns and drivers with a global SEVER-FIRE v1.0 model incorporated into dynamic global vegetation model and satellite and on-ground observations // Geoscientific model development, 2019. № 12 P. 89-99.
42. Abdollahi, M., Islam, T., Gupta, A., Hassan, Q.K. An advanced forest fire danger forecasting system: Integration of remote sensing and historical sources of ignition data // Remote Sensing, 2018. Vol. 10. № 6. P. 4-7.
43. Michael C. Stambaugh, Richard P. Guyette. Predicting spatio-temporal variability in fire return intervals using a topographic roughness index // Forest Ecology and Management, 2008. № 254. P. 14-16.
44. Miguel E. Castillo Soto. The identification and assessment of areas at risk of forest fire using fuzzy methodology // Applied Geography, 2012. №4. P. 34-36.
45. Polevshchikova, I. Disturbance analyses of forest cover dynamics using remote sensing and GIS // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019. Vol. 316. № 1. P. 3-7.
46. Camargo, L.S., da Silva, R.W., do Amaral, S.S., Ferreli, T., da Silva, M.P.D. Map of areas susceptible to forest fires in the municipality of petrópolis // Anuario do Instituto de Geociencias, 2019. Vol. 42. № 1. P. 332-335.
47. Watt, P., Meredith, A., Yang, C., Watt, M.S. Development of regional models of Pinus radiata height from GIS spatial data supported with supplementary satellite imagery // New Zealand Journal of Forestry Science, 2013. Vol. 43. P. 5-8.
48. Vakalis D., Sarimveis H., Kiranoudis C.T., Alexandridis A., Bafas G.. A GIS based operational system for wildland fire crisis management II.

- System architecture and case studies // Applied Mathematical Modelling, 2004. № 28. P. 12-18.
49. Kostas Kalabokidis, Nikolaos Athanasis, Fabrizio Gagliardi, Fotis Karayiannis, Palaiologos Palaiologou, Savas Parastatidis, Christos Vasilakos. Virtual Fire: A web-based GIS platform for forest fire control // Ecological Informatics, 2013. № 16. P. 12-15.
50. Blonska E., Bednarz B., Kacprzyk M., Piaszczyk W., Lasota J. Effect of scots pine forest management on soil properties and carabid beetle occurrence under post-fire environmental conditions - a case study from Central Europe // Forest Ecosystems, 2020. Vol. 7. № 28. P. 2-10.
51. Menges S., Smith S., Olano J., Schafer J., Clarke G., Main K. Effects of frequent fire and mowing on resprouting shrubs of Florida scrub, USA // Fire Ecology, 2020. Vol. 16. № 10. P. 1-17.
52. Удоденко, Ю.Т., Комов, В.Т., Горбунова, Ю.С., Девятова, Т.А. Влияние лесного пожара на содержание ртути в дерново-подбурях типичной лесостепи (Воронежская область, Россия) // Трансформация экосистем, 2019. №2. С. 75–85.
53. Вахнина И.Л., Голятина М.А., Носкова Е.В. Изменение лесопокрытой площади цасучейского бора в результате природных пожаров // Природобустройство, 2019. № 4. С. 123-129.
54. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. Разностные методы решения задач теплопроводности: учебное пособие – Томск: Изд-во ТПУ. 2007. С. 8-73.
55. Самарский А.А. Теория разностных схем: учебное пособие – Москва: Наука Физико-математическая лит-ра, 1989. С. 103-134.
56. Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Вычислительная теплопередача – Москва: Едиториал УРСС, 2003. С. 111-118.
57. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А., Шаповалова Н.В., Тухватулина Л.Р., Криницына З.В. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое

- пособие. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
58. Кузьмина Е.А., Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений // «Методы менеджмента качества», 2003. №1. – 12 с.
59. Крапунин М.Г., Майданчик Б.И. Основы функционально-стоимостного анализа: учебное пособие – Москва: Энергия, 1980. – 175 с.
60. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 29.12.2020)
61. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»
62. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
63. ГОСТ 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.
64. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.
65. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности.
66. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
67. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».