

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

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Математическое моделирование тепломассопереноса в поверхностных слоях кожи при воздействии нагретых до высоких температур частиц

УДК 519.876:66.021.3/4:572.52

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7Б	Васюк Николай Викторович		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Клемашева Елена Игоревна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

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 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 <i>FEANI</i> , 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей»,
Р5	Проектировать теплоэнергетические установки, теплотехнические системы и их оборудование	Требования ФГОС ВО, <i>CDIO Syllabus</i> (4.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), 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»,

Код результата	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
		16.014 «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей»
Р6	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области теплоэнергетики и теплотехники.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> (4.3, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <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»
Р7	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях теплоэнергетики и теплотехники.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> (3.2, 4.7), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <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»
Р8	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области теплоэнергетики и теплотехники.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> (3.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <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»
Р9	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> (2.5), Критерий 5 АИОР (п. 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов стандартов 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей», 16.014 «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей»

Код результата	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
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, CDIO <i>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, CDIO <i>Syllabus</i> (2.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P12	Применять практические знания теплотехники, современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области теплотехники и теплотехнологий	Требования ФГОС ВО, CDIO <i>Syllabus</i> (4.5, 4.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов стандартов 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей», 16.014 «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей»

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б7Б	Васюк Николай Викторович

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы (НОЦ)	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. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Бюджет проекта – не более 850000 руб., затраты на оборудование – не более 10000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Районный коэффициент – 1,3; Накладные расходы – 10%.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды : для руководителя и инженера – 30,2%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ конкурентных технических решений; SWOT-анализ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование научно-исследовательских работ; Определение трудоемкости работ; Построение диаграммы Ганта.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Сравнительная оценка характеристик проекта; Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности .

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT;
2. Диаграмма Ганта.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	26.04.2021
---	------------

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	Васюк Николай Викторович		

Задание для раздела «Социальная ответственность»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б7Б	Васюк Николай Викторович

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

Тема ВКР:

Математическое моделирование тепломассопереноса в поверхностных слоях кожи при воздействии нагретых до высоких температур частиц	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Математическое моделирование тепломассопереноса в слоистой структуре кожного покрова при воздействии излучения от лесного пожара.</p> <p>Объектом исследования является элемент кожного покрова человека на который действует лучистый тепловой поток от фронта лесного пожара.</p> <p>Предмет исследования – тепломассоперенос в слоистой структуре кожного покрова при воздействии высокоинтенсивного нагрева.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <p>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</p> <p>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p>1. ГОСТ 12.2.033-78 Рабочее место при выполнении работ сидя.</p> <p>2. ГОСТ 22269-76 Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места.</p>
<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>Вредные факторы: недостаточная освещённость, отклонение показателей микроклимата, высокий уровень шума.</p> <p>Опасные факторы: поражение электрическим током.</p>
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p>Атмосфера: выделение опасных веществ в процессе горения пожара: оксид углерода, углекислый газ, хлористый водород, синильная и уксусная кислота и другие вещества.</p> <p>Гидросфера: выпадение осадков в виде кислотных дождей и загрязнённого снега, загрязнение океанов</p> <p>Литосфера: Загрязнение почвы оседающими</p>

	продуктами сгорания.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: возгорания или взрывы в лаборатории, пожар на рабочем месте, выброс дымовых газов в помещении. Наиболее вероятной ЧС является выброс дымовых газов.

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7Б	Васюк Николай Викторович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 105 с., 31 рис., 27 табл., 51 источников.

Ключевые слова: кожный покров, ожог, тепловое излучение, математическое моделирование, теплоперенос, медицинская информационная система.

Объектом исследования является элемент кожного покрова человека.

Цель работы – разработка расчетных формул и численный анализ процессов тепломассопереносов в структурно неоднородном кожном покрове человека при воздействии частиц, нагретых до высоких температур.

В процессе исследования были сформулированы физикоматематические модели теплопереноса в тканях кожного покрова человека под воздействием теплового потока от фронта лесного пожара.

В результате исследования были получены температурные распределения в слое кожного покрова и представлены графически поля температур при различной интенсивности действующего теплового потока от пламени, что, впоследствии, позволяет предсказать степень повреждения и использовать данную информацию для прогнозирования ожогов.

Область применения: перспектива создания нового поколения медицинских информационных систем для нужд МЧС и экстренной медицинской помощи при ликвидации и минимизации ущерба от воздействия лесных пожаров.

Оглавление

Введение.....	11
Глава 1 Современное состояние области исследования.....	13
1.1 Типы и характер лесных пожаров.....	13
1.2 Строение и структура кожного покрова человека.....	15
1.3 Поражения человека при тепловом воздействии	19
1.4 Численные методы прогнозирования теплового поражения кожного покрова	22
1.4.1 Инструментальный метод	23
1.4.2 Расчётный метод.....	23
1.4.3 Расчётно-экспериментальный метод	24
1.5 Модели поражения кожного покрова человека.....	25
1.5.1 Экспериментальная модель поражения	25
1.5.2 Статистическая модель поражения.....	26
1.5.3 Термодинамическая модель поражения	26
1.5.4 Кинетическая модель поражения.....	27
1.6 Медицинские информационные системы	28
1.7 Выводы по результатам обзора литературы.....	31
ГЛАВА 2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	32
2.1 Объект исследования	32
2.2 Алгоритм решения задачи теплопроводности	32
Глава 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение.....	37
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	38
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	38
4.1.2 SWOT-анализ.....	38
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	39
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	39
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	41
4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	47
4.3.1 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ	47
4.3.2 Основная заработная плата исполнителей проекта	47
4.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	49
4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	49
4.3.5 Услуги сторонних организаций	50
4.3.6 Накладные расходы	50

4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	51
4.4.1 Интегральный показатель ресурсоэффективности.....	51
Вывод по разделу	52
Глава 5 Социальная ответственность	54
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	55
5.2 Производственная безопасность	56
5.3 Экологическая безопасность.....	59
5.4 Безопасность в ЧС	61
Вывод по разделу	62
Заключение	64
Список использованных источников	65

Введение

Данная работа посвящена наиболее важным исследованиям процессов теплового воздействия лесных пожаров на поверхностный слой кожи. Последние несколько десятилетий характеризуются большим увеличением частот лесных пожаров по всей территории страны. Большинство таких пожаров – наземные. Проведён анализ различных исследований в этой области. Рассматривается общая характеристика лесных пожаров и их основные виды. Целью исследования является разработка математической модели тепломассопереноса в поверхностных слоях кожи при воздействии нагретых до высоких температур частиц. Рассматриваются инструментальные, расчётные и расчётно-инструментальные методы решения проблемы оценки теплового воздействия на покров человека. В качестве основного метода предлагается использовать подход математического моделирования для изучения исследуемой проблемы. Метод конечных разностей был использован для решения поставленных систем уравнений. Результаты можно использовать в разработке новых систем прогнозирования лесных пожаров и их воздействия на кожный покров человека [9].

В последнее время остро встала проблема лесных пожаров. Эти последствия являются загрязнением окружающей среды продуктами горения лесных массивов, увеличением заболеваемости и смертности населения. В свою очередь, это приводит к большим экологическим и экономическим проблемам. Наибольшее внимание уделялось противодействию ожоговым травмам, полученным при горении. Теплообмен с помощью излучения является центральной темой различных исследований. Но излучение – это лишь один из механизмов передачи тепла. Нагретые до высоких температур частицы при попадании на кожу представляют серьёзную опасность. Для оценки последствий воздействия теплового излучения применяются как отечественные, так и зарубежные методы, представляющие количественные зависимости между математическими и термодинамическими критериями

теплового поражения. Настоящий проект открывает перспективы создания новых систем прогнозирования лесных пожаров и их воздействия на кожный покров человека.

Цель работы – разработка расчетных формул и численный анализ процессов тепломассопереносов в структурно неоднородном кожном покрове человека при воздействии частиц, нагретых до высоких температур.

Глава 1 Современное состояние области исследования

1.1 Типы и характер лесных пожаров

Лесные пожары представляют собой неконтролируемые стихийные бедствия, ведущие за собой значительные экономические и экологические бедствия, разрушающие экосистему, ухудшают экологическую обстановку, приводят к значительным травмам и гибели животных, растений и людей. Основной движущей силой пожара является ветер, сухая растительность, благодаря которой огонь способен распространяться на большие площади в течение короткого промежутка времени. При ликвидации возгораний необходимо учитывать особенности разных лесных пожаров, так как каждый ведёт себя по-разному. Пламя, искры, высокая температура окружающей среды – всё это является факторами, представляющими опасность при лесном пожаре [10]. Помимо вышеперечисленного, большую угрозу в дальнейшем возгорании распространении пожара несут падающие ветки и стволы деревьев с обсохших насаждений, низкое содержание кислорода в воздухе и образующиеся пустоты в грунте (подземные пожары). Нарушение пожарной безопасности и невнимательность людей чаще всего приводит к возникновению возгораний.

Существует несколько критерий возгораний, характеристика которых зависит от площади возгорания, вида лесного пожара, а также специальная техника, используемая в тушении.

Таблица 1 Виды лесных возгораний [11]

Низовой	Происходит возгорание лесной подстилки, огонь распространяется лишь в подпочвенном слое с различной скоростью. Возникает только при сильной засухе. Приносит сильные повреждения корневой системе деревьев.
Верховой	Очень опасны на густых лесных участках, так как

	поднимается вверх, захватывая кроны деревьев. Высокая скорость возгорания (5 км/ч). Движущая сила – ветер. Распространение огня происходит одновременно с горением лесной подстилки.
Подземный или торфяной	Происходят в торфяном слое на глубине более 50 см. Сопровождается едким дымом. Внешний покров часто не имеет повреждений, но под ним может находиться тлеющая яма. Любой живой организм, провалившись в нее, погибает [11].
Валежный	Возникает в местах с большим скоплением сухих лесных материалов (шелкопрядников, поваленных деревьев и заброшенных лесосек). Высокая интенсивность возгорания, трудность тушения.

Лесные пожары классифицируются по интенсивности как слабые, средние и сильные. Так же интенсивность горения лесных пожаров может зависеть от силы ветра и времени суток.

Таблица 2 Классификация по интенсивности горения [11]

	Параметры	Подвид лесного пожара		
		слабый	средний	сильный
Низовой пожар	по скорости распределения, м/мин	До 1	от 1 до 3	более 3
Верховой пожар	по скорости распределения, м/мин	До 3	от 3 до 100	более 100
Торфяной пожар	По глубине прогорания	До 25	от 25 до 50	более 50

Самым опасным видом лесного пожара является верховой, так как при появлении таких пожаров выгорает более 70% территории. Самым распространённым в нашей стране преобладает низовой пожар.

Из за появления в Томской области ранней весны, в этом регионе преобладают низовые пожары. Именно в этот период образуется плотный слой лесных сухих горючих материалов, а сама почва имеет хороший уровень влажности. По статистике леса горят только в период пожароопасного сезона. Самые жаркие месяца года для данной области – июнь и июль и именно они являются самими пожароопасными месяцами [12, 13].

Причинами возникновения пожара являются не только погодные условия и повышенная засуха, но и из-за отсутствия знаний стандартных правил и халатности человека.

Лесные пожары на прямую оказывают воздействие на человека и окружающую природу, негативное влияние пожаров сказывается на экономическом экологическом состоянии региона.

1.2 Строение и структура кожного покрова человека

Тепловое излучение является основным способом передачи тепла от более нагретого тела к менее нагретому. Степень повреждения покрова кожи зависит от количества тепловой энергии и интенсивности теплового излучения.

Кожа образует внешний покров организма и является самым большим органом в теле человека. Поэтому следует учитывать структуру, свойства, а также функции, которые кожа выполняет. Функции кожи разнообразны. Она защищает организм от повреждений, микроорганизмов, участвует в обмене веществ, в водно-солевом обмене, через неё выделяется вода, соли, молочная кислота и продукты азотистого обмена, в тепловом обмене [14].

Кожа имеет сложное строение, состоящее из несколько слоев, каждый из которых выполняет отдельную функцию. Площадь кожи у взрослого человека составляет примерно 1,5-2 м². Кожа обеспечивает от 2 – 5% газообмена и 25% водно-солевого обмена. Она непосредственно связана со всеми органами человека, взаимодействует с ними. Коллаген является

основным компонентом кожи, отвечающий за регенерацию повреждённых клеток, а также ускоряет процесс заживления [15].

Она состоит из: эпидермиса, дермы и подкожно-жировой клетчатки (гиподерма).

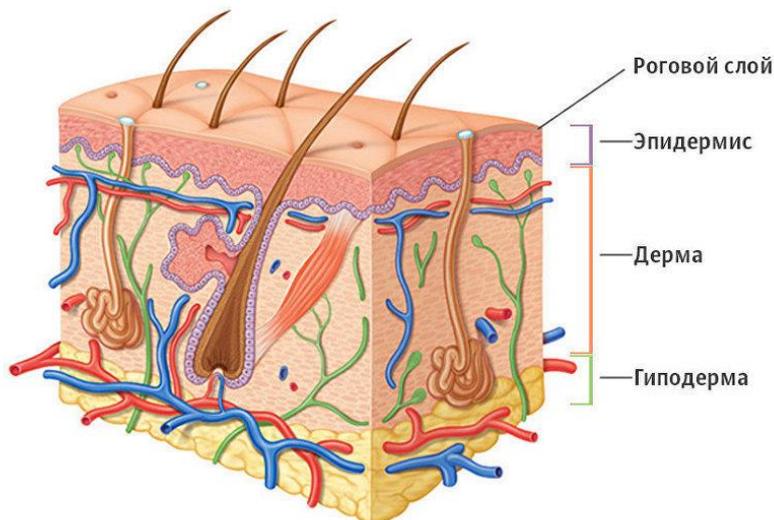


Рис.1 Строение кожи [16]

В свою очередь слой эпидермиса представляет собой поверхностный слой, состоящий из мёртвых клеток, выполняющих роль защиты. Через этот слой проходят потовыделяющие железы. На каждом участке тела слой эпидермиса различен. Всё зависит от частоты соприкосновения кожи с другими телами и степенью защиты отдельных частей тела. Различают толстую и тонкую кожу. Толстая кожа покрывает непосредственно ладони, подошвы, в то время как тонкая покрывает остальные участки тела [16].

Таблица 3 Слои клеток на участках кожи [17]

	Слои клеток на участках тела
Толстый слой кожи (2-2,5 мм)	<ul style="list-style-type: none"> • Базальный – самый нижний слой кожи, имеет способность к делению. Связывает верхний и нижний слои кожи; • Шиповатый: повышенная активность клеток. Имеются глубокие выросты (шипы),

	<p>проникающие в соседние клетки и присоединяет 2 соседних слоя [17];</p> <ul style="list-style-type: none"> • Зернистый: происходит формирование пластинчатых структур, препятствующие проникновению воды в подлежащие слои; • Блестящий: хорошо развит на ладонях и подошвах; • Роговой: отсутствие живых клеток, защитная функция. Толщина слоя зависит от интенсивности нагрузки.
Тонкий слой кожи (0,01-0,05 мм)	<ul style="list-style-type: none"> • Базальный; • Шиповатый; • Зернистый; • Роговой.

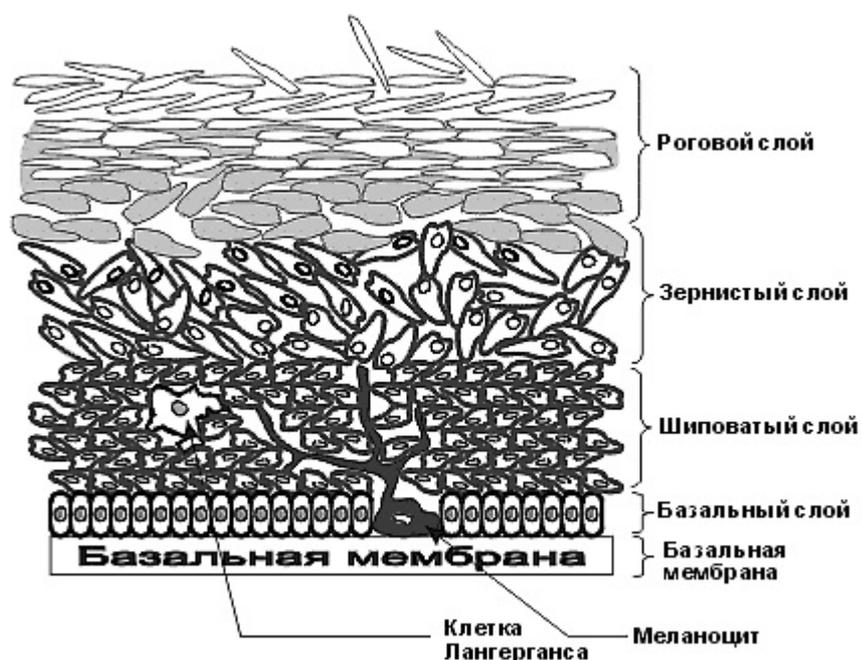


Рис. 2 Строение эпидермиса [18]

Основной частью кожи является дерма. Ее толщина намного больше, она содержит в себе корни волос, сосуды, сальные железы, изменяется от 0,5 до 5 мм. В основном состоит из соединительной ткани, наиболее выражена на спине, плечах. Дерма делится на 2 слоя, не соединяющиеся между собой четкой границей – сосочковый и сетчатый слои. Сосочковый слой связан с эпидермисом, содержит большое количество различных волокон, придающих коже упругость и прочность. Содержит кровеносные сосуды, капилляры. Из-за присутствия иммунокомпетентных клеток, слой выполняет защитную функцию системы иммунитета [19].

Сетчатый слой дермы образован плотной соединительной тканью, находится под верхним слоем дермы. Включает в себя большое количество потовых желез, коллагенные волокна, выполняет опорную функцию.

Внутренний слой – гиподерма или подкожная жировая клетчатка, располагается под эпидермисом и дермой, имеет с ними относительно подвижную связь. Образована жировой тканью, позволяющая запасать гиподерме питательные вещества и воду. Жировая клетчатка участвует в терморегуляции.

Кожа является очень сложным органом в теле человека, которая выполняет различные функции:

Таблица 4 Функции кожи [20]

Функция кожи	Описание
Защитная	Кожа защищает организм от вредных воздействий, неповрежденная кожа препятствует проникновению микробов и ядовитых веществ внутрь организма;
Дыхательная	Через кожу в организм поступает кислород и выделяется углекислый газ [21];

Выделительная	За сутки кожей выделяется 0,5 – 0,6 литров воды, кроме того выделяются различные соли, молочная кислота и продукты азотистого обмена;
Терморегуляционная	Процесс теплопотерь организма происходит через кожу за счёт испарения и теплоизлучения. Для изменение теплоотдачи тела происходит процесс сужения и расширения сосудов;
Эндокринная	Вырабатывает витамин D.

1.3 Поражения человека при тепловом воздействии

В случае термической травмы в первую очередь получает повреждение кожный покров, нарушается структура клеток кожи, их функция. Вследствие этого нарушается распределение веществ внутри организма. Ожоги – повреждение тканей организма, возникшее при термическом воздействии на кожу тепловым или ультрафиолетовым излучением. Это одно из самых распространённых термических поражений кожного покрова человека. За 2015 год только в России количество повреждений составило более 700 тысяч человек. Термическое повреждение – является одним из самых опасных, приводящее к разрушению белковых структур. Лечение ожогов – трудоёмкое и многоплановое мероприятие, требующее высокий уровень работы специалистов [20].

Ожоги, не имеющие контакт с нагретым телом, называются дистактными. Примером таких ожогов может выступать получение травмы при использовании сварного аппарата, долгого нахождения человека у источника нагрева, либо же при получении солнечного удара. Различают 4 степени ожога:

Таблица 5 Степени ожогов [23, 24]

Степени ожога	Описание
I. Покраснение кожи	Повреждение внешнего слоя кожи, появляется покраснение, боль. Место поражение тепловым воздействием опухает.
II. Образование пузырей	Повреждение ближних слоёв к внешнему, появление пузырей на поверхности, возникает отёк тканей.
III. Омертвление всей толщии кожи	Сильное повреждение всех слоёв кожи и подкожно-жировой клетчатки, увеличение пузырей на поверхности, заполненные желтоватой жидкостью (струп). Возможно поражение мышц, нервов, костей [23].
IV. Обугливание тканей	Полное разрушение кожного покрова, появление обугливания.

Тяжесть ожога определяется глубиной повреждения тканей, а также величиной площади взаимодействия. При увеличении площади и глубины повреждения тканей, увеличивается тяжесть течения ожоговой травмы. Особое значение имеют теплозащитные свойства поверхностных слоёв кожи. Получение повреждений при взаимодействии тела с низкой температурой – отморожение, а также следствие от поражения ультразвуком или длительной вибрацией – ожогами не являются. Струп – омертвевшие участки кожи при получении ожога. При незначительном нагреве, также может образовываться влажный струп [25].

Причиной ожога являются большое количество факторов.

Таблица 6 Тип повреждения кожного покрова [25]

<p>Термическое – возникают в результате высокой температуры.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Пламя: Большая площадь ожога, сложность удаления остатков одежды с повреждённых участков. Поражение органов зрения, дыхания; • Жидкость: площадь повреждения небольшая, глубокая; • Пар: поражение дыхательных путей, площадь ожога большая; • Расплавленный металл: 3-4 степень ожога. Возникает при попадании раскалённой частицы металла на кожу; • Раскалённые предметы: площадь взаимодействия зависит от размера разогретого предмета. Происходит отслоение кожи.
<p>Химическое – возникают в результате взаимодействия химически активных веществ.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Кислоты: Из обожжённых тканей формируется струп, который препятствует дальнейшему проникновению кислоты, неглубокие [25]; • Щёлочи: Проникает глубоко, так как хорошо воздействует на ткани; • Соли тяжёлых металлов: имеют схожесть с кислотными ожогами, поверхностные.
<p>Электрическое</p>	<p>Возникают при получении разрядной дугой. Наличие нескольких ожогов малой площади, большая глубина. Также возникают при коротких замыканиях.</p>
<p>Лучевое – возникают в результате излучения.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Световое: возникает под действием солнечных лучей, ядерного взрыва; • Электромагнитное излучение; • Ионизирующее излучение: неглубокие,

	повышается ломкость сосудов, кровоточивость, снижается количество коллагена.
Сочетанные	Поражение несколькими факторами сразу, например жидкость и щёлочь.

При глубоких ожогах площадью более 20% поверхности тела пострадавшего летальность возрастает до 80%. Отсутствие единых взглядов врачей лечения этой категории пациентов, является одной из главных причин высокого уровня летальных исходов [26]. Всё это требует более детального изучения механизмов развития и течения ожогового шока, а также совершенствования протоколов ведения пациентов с тяжелой термической травмой.

1.4 Численные методы прогнозирования теплового поражения кожного покрова

Исследование сложных процессов взаимодействия высокоинтенсивных тепловых потоков с открытыми и защищёнными одеждой участками кожного покрова возможно с применением методов моделирования и системного анализа.

Ключевыми элементами системы при прогнозировании термических поражений являются «тепловой источник – кожный покров». Тепловой источник в общем случае представляет граничные условия теплообмена поверхности кожи с окружающей средой. Для открытых участков кожного покрова в природных и техногенных авариях это доминирующее воздействие теплового излучения, для закрытых – комбинация различных механизмов нагрева: теплопроводности, конвекции, излучения. Таким образом, расчётно-экспериментальное обоснование новых подходов в прогнозировании опасности высокоинтенсивного нагрева является важной социально-экономической проблемой [27].

1.4.1 Инструментальный метод

Большой объём информации, связанный с изучением воздействия нагретых до высоких температур частиц послужил созданию основного инструментального метода оценки теплозащитных свойств объекта. Основными преимуществами данного метода являются простота аппаратного оформления, вывод конечных результатов, а также воспроизведение разных методов нагрева кожного покрова. Получил широкое распространение, как в отечественных, так и зарубежных источниках[27]. Для изучения излучения тепловой активности, используется специальная аппаратура с нагревательными элементами. Данная конструкция позволяет произвести оценку теплозащитных свойств различных образцов кожного покрова.

1.4.2 Расчётный метод

Основными критериями для прогнозирования поверхностных и глубоких поражений является взаимосвязь между медицинскими и термодинамическими параметрами. Пробит-функция это модель, при которой происходит распределение стандартного нормального закона распределения. Она позволяет выявить рамки для случайных величин доз поражения кожного покрова. Существует несколько моделей пробит-функций, зависящих от степени поражения. Минимальным является порог со значением в промежутке от -9 LnI (вероятностный критерий Pr) до 3 LnI . Критерием летального исхода является промежуток от -13 LnI до $+2,6 \text{ LnI}$.

Теорема теории вероятностей является основой для прогнозирования санитарных и безвозвратных потерь. Данная информация крайне необходима медицинскому персоналу для дальнейшего лечения постардавших. Спектр поражения включает в себя распределение вероятностей поражения каждой степени санитарных потерь в зависимости от расстояние до источника облучения [28].

При тепловом поражении покрова отсутствует граница разделения пространства вокруг аварийного источника пожара. Прогнозирование общих

потерь, используемых с основных нормативных документах, не представляют полной информации о степени поражения. Необходимо вычислить достаточное число зон для обеспечения заданной точности появления ожога [28].

1.4.3 Расчётно-экспериментальный метод

Дальнейшая методика исследования основывается на исследовании полученных реальных и инструментальных данных в компьютерной программе. Она позволяет применять данные для прогнозирования ожогов любых степеней. Полученные результаты применяются для модификации пробит-функций. Данный этап включает в себя несколько этапов.

Таблица 7 Основные этапы прогнозирования алгоритма [29, 30]

Номер этапа	Формула	Описание
№1	$Q(\tau) = \rho \cdot c \cdot t(\tau) \cdot \delta,$ <p>где δ - толщина исследуемого материала, c – удельная теплоёмкость, ρ – плотность металла.</p>	Фиксирование количества облучения по экспериментальной зависимости температуры во времени.
№2	$q_i = \frac{\Delta Q_i}{\Delta \tau},$ <p>где ΔQ_i - приращение тепловой энергии, $\Delta \tau$ - интервал времени аппроксимации температуры.</p>	Определяется интервальная постоянная плотность теплового потока, линейная интервальная аппроксимация экспериментальной зависимости [29].
№3	$I_i = q_i^{4/3} \Delta \tau_i$	Определяется интервальный динамический индекс.
№4	$I_{\text{инт}} = \sum I_i$	Определение суммарного индекса за время экспозиции.
№5	$Pr = a + b \cdot \ln(I_{\text{инт}})$	Определение пробит-функции для расчёта вероятности [30].

1.5 Модели поражения кожного покрова человека

1.5.1 Экспериментальная модель поражения

Оценку последствий воздействия опасных факторов пожара на объекты окружающего пространства целесообразно проводить с учётом распределения интенсивности реальных радиационно-конвективных потоков в пространстве и времени.

Учитывая все факторы при возгорании, можно выделить три зоны теплового поражения объекта вокруг аварийной зоны источника – летальная зона, опасная и безопасная [31].

Таблица 8 Зоны аварийного теплового источника [31]

Зоны источника	Описание
Летальная зона	Границей является расстояние от наружной поверхности пламени до центра теплового источника. Вероятность летально исхода в результате теплового нагрева в данной зоне приближается к единице.
Опасная зона	Границей является от поверхности пламени до границы болевого порога. Тепловое излучение – основной механизм нагрева, включает в себя все 4 степени ожога. При увеличении расстояния от поверхности пламени вероятность тяжёлых степеней поражения уменьшается, а лёгких – увеличивается [31].
Безопасная зона	Включает в себя зону за границей болевого порога.

Экспериментальные модели являются результатом обработки опытных данных.

1.5.2 Статистическая модель поражения

Основная задача математической статистики состоит в установлении количественных соотношений между количеством физических, биологических, химических поражающих воздействий и следствием воздействия опасных факторов на человека [32].

В многочисленных проведённых опытах с объектами установлено, что вероятность отравления различной степени, шока или потери сознания в следствии воздействия опасных факторов можно записать в виде закона распределения, определить её по таблицам или получить её расчётным путём.

$$t_0 = \frac{LnI - m_{LnI}}{\sigma_{LnI}},$$

где m_{LnI} - оценка математического ожидания облучения, σ_{LnI} - оценка среднеквадратического отклонения LnI от m_{LnI} , I – индекс теплового излучения.

$$I = q^{4/3} * \tau,$$

где q – плотность постоянного теплового потока, τ – время воздействия.

В реальных условиях изменение плотности теплового потока излучения от пламени пожаров носит нестабильный характер: с резким возрастанием до максимального значения и постепенным убыванием в течении времени действия высокотемпературного источника [33]. Передача энергии осуществляется несколькими способами – теплопроводностью, конвекцией, излучением. Статический нагрев – нагрев при постоянном тепловом потоке.

1.5.3 Термодинамическая модель поражения

Для расчёта температурного профиля во всех структурных слоях кожи предложена модель на основе классического закона Фурье:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \Delta^2 T,$$

где c , ρ , λ - теплоёмкость, плотность и коэффициент теплопроводности структурных слоёв кожи.

Дальнейшая модификация модели состояла в введении переменных коэффициентов теплопроводности. Представим процесс теплопередачи в виде одномерного уравнения теплопроводности для четырёхслойной системы при граничных условиях I рода [34]:

$$c_i \rho_i \frac{\partial t(x_i, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\lambda_i(t) \frac{\partial t(x_i, \tau)}{\partial x_i} \right),$$

где $i=1$ – роговой слой, $i=2$ – эпидермис, $i=3$ – дерма, $i=4$ – гиподерма (подкожная ткань).

Распределение температуры в структурных слоях кожного покрова при воздействии теплового излучения определяется из решения уравнения Фурье:

$$c_i \rho_i \frac{\partial T(x_i, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\lambda_i(T) \frac{\partial T(x_i, \tau)}{\partial x_i} \right) + q k e^{-k x_i}.$$

1.5.4 Кинетическая модель поражения

В зарубежных методиках за критерий теплового поражения принимается интервал от скорости поражения кожи.

$$\frac{\partial \Omega}{\partial \tau} = A \exp \left(- \frac{E}{RT_3} \right),$$

где $\frac{\partial \Omega}{\partial \tau}$ - скорость поражения, T_3 - температура кожи на границе «эпидермис – дерма», A – предэкспонент, E – энергия активации, R – газовая постоянная $R=8,31$ Дж/°С*моль [14, 15].

Интеграл от скорости поражения используется для количественной оценки тяжести поражения:

$$P = \int_0^{\tau_{кр}} \frac{dw}{d\tau} d\tau,$$

где $\tau_{кр}$ - время воздействия теплового источника до появления ожога.

Таблица 9 Оценка тяжести поражения [13]

При значениях $P \leq 0,5$	Поверхностный слой кожи остаётся без изменений;
При значениях $0,5 < P < 1$	Возникают ожоги I степени;
При значениях $P \geq 1$	Возникают ожоги II степени, появляются пузыри;

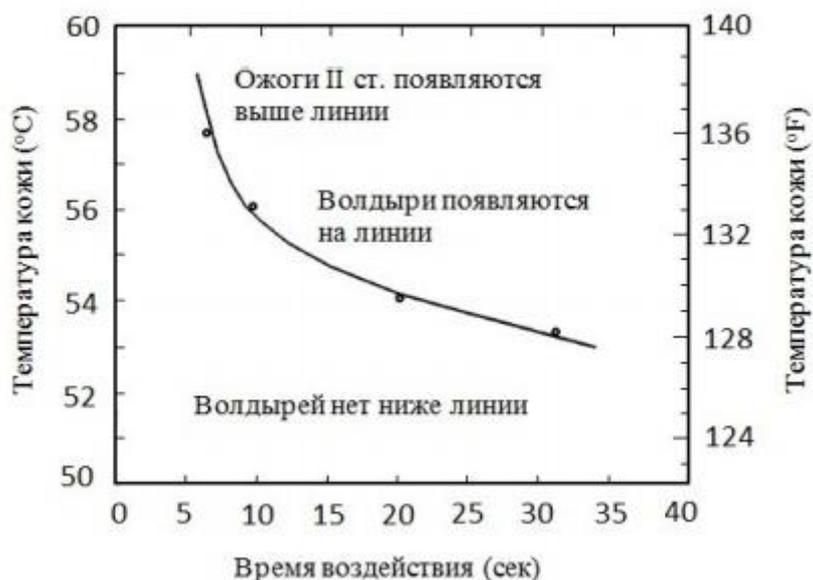


Рис. 3 Температура основного слоя кожи от времени [17]

1.6 Медицинские информационные системы

Целью данного научного исследования является создание программы по прогнозированию степени поражения кожного покрова человека при воздействии до высоких температур веществ для разработок медицинских информационных систем, основываясь на физическую и математическую модель процессов теплопереносов в тканях. На основе таких математических моделей в будущем будут разрабатываться МИС нового поколения.

Медицинские информационные системы – комплексный программный продукт, целью которого является автоматизация всех основных процессов, связанных с работой медицинских учреждений узкой и общей специализации [25]. Сбор, хранение, обработка и передача являются

главными функциями информационных систем. МИС позволяют быстро и надёжно наладить электронную работу с пациентами, контролировать все финансовые и организационные вопросы.

В странах дальнего зарубежья больше преобладает термин HIS (Hospital Information System) – информационная система, позволяющая производить комплексное управление медицинских процессов. Дополнениями выступают различные модули, такие как RIS (Radiology Information System) – радиологическая информационная система, а также PACS (Picture Archiving and Communication System) – система сохранения медицинских изображений [45].

МИС в целом очень сильно влияет на процесс организационной работы. При помощи него можно решить огромный спектр задач.

Таблица 10 Задачи медицинских информационных систем [34]

Задачи МИС	Основные параметры
Управление данными и оптимизация процессов	МИС позволяет управлять большим количеством данных о пациентах, о результатах деятельности медицинской организации. Вводится единая система документации.
Слияние данных и отчетность	Создание электронных структур для больниц, их филиалов. Происходит объединение нескольких заведений в единую электронную систему управления [34].
Доступность информации	МИС является огромным архивом, в котором хранится вся необходимая информация, предоставляющий доступ ко всем видам услуг.

Структура МИС включает в себя несколько компонентов, которые объединяются в большие группы.

Таблица 11 Основные виды компонентов МИС [41]

Компоненты МИС	Описание
Аналитические и управленческие компоненты	Происходит ведение управленческого отчёта, инструментов анализа качества, а также медицинских услуг. Анализирование состояния медицинской организации, выявление проблем и оптимизация бизнес-процессов.
Медицинские компоненты	Все модули, связанные с регистрацией, учётом и сопровождения лечения пациентов в различных типах учреждений.
Финансово-экономические компоненты	Учёт медикаментов, управление запасами, расчет себестоимости лечения.
Компоненты обмена данными	Ведение каталогов и справочников, обработка полученных данных [41].
Общетехнические компоненты	Защита БД, контроль доступа пользователей.

При удачном выборе медицинской информационной системы, работа покажет позитивные результаты.

Современные МИС, как отечественных, так и зарубежных производителей достигли высоких результатов. Medods - платформа для организации работы частных медицинских центров и стоматологий, а также сети клиник от российских разработчиков. Данная программа поддерживает все необходимые модули: запись пациентов на приём (онлайн-запись с сайта), ведение их электронных карт, формирование документов, счетов, а также получения сводных статистик [37].

Медицинские информационные системы в настоящее время набирают всё больший оборот. Количество необходимого объёма информации растёт.

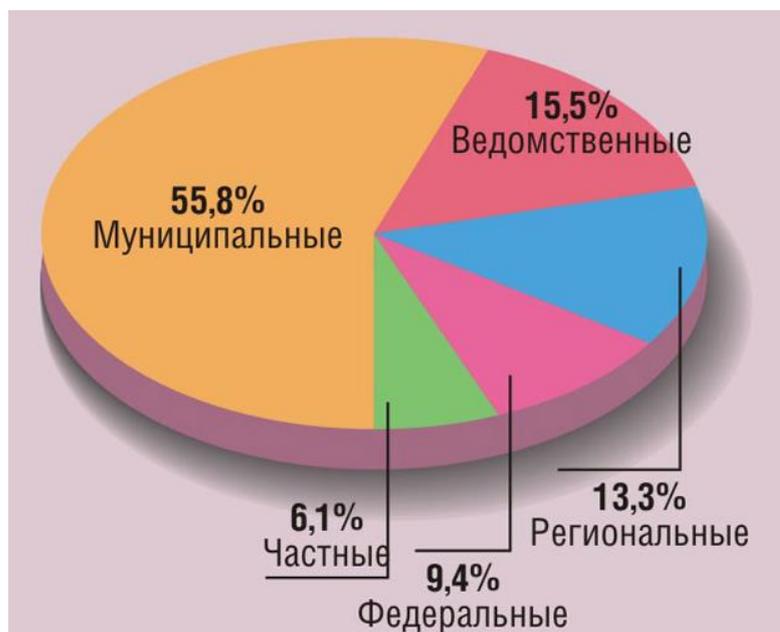


Рис. 4 Тенденция развития МИС [14]

1.7 Выводы по результатам обзора литературы

Данный обзор литературы позволяет сделать следующие выводы:

1. Большое количество отечественных и зарубежных работ позволяют сделать полноценный обзор по исследованию поражающих факторов нагретых до высоких температур частиц.

2. Из-за отсутствия возможности проведения экспериментального опыта в реальном времени, появляется возможность провести анализ математической модели и провести расчёт тепловых процессов при воздействии нагретой частицы на ткани человека.

ГЛАВА 2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Объект исследования

Основными исследованиями, полученными в сфере изучения взаимодействия очагов возгорания на окружающую среду, установлено, что опасной температурой для жизни человека является 50-70 °С. Пребывание в помещениях с низким уровнем содержания кислорода, вдыхание продуктов горения при содержании в них $\frac{1}{2}$ СО также являются опасными [32].

При возникновении возгораний, помимо поражающих факторов, человек страдает сильным психологическим расстройством. Испуг в таких ситуациях могут вызвать ряд факторов: сильные звуковые воздействия, падение обломков конструкций в месте пожара, быстрое возгорание объектов, панический страх. Даже минимальная паника в чрезвычайных ситуациях может служить причиной значительных жертв.

Наиболее частными случаями являются взрывы продукции и полуфабрикатов на химических предприятиях. Из-за утечки опасных веществ из повреждённого оборудования человек получает химическое отравление. Также высокий риск получения механических травм: переломы, травмы головы, ушибы различной тяжести.

Излучение является серьёзным поражающим фактором. Из-за теплового излучения, фронт пожара распространяется на несколько десятков метров. При таких воздействиях теплопроводность является ведущим фактором переноса тепла в тканях человека [27].

2.2 Алгоритм решения задачи теплопроводности

Для изучения влияния лесного пожара на кожный покров человека в данной работе используется математическое моделирование. Оно основывается на частичном описании объектов математическим языком.

Метод конечных разностей (МКР) часто используется для решения дифференциальных уравнений в частных производных. В МКР происходит замена производных на их конечноразностные аппроксимации. В итоге замены мы получаем систему линейных алгебраических уравнений для определения температуры. Использование граничных условий позволяет незамкнутую систему преобразовать в замкнутую [42].

Таблица 12 Этапы моделирования [12]

Этап моделирования	Описание
1. Разработка математической модели	Выявление основных свойств и особенностей объекта, построение математической модели.
2. Решение задачи	Разработка численных методов решения.
3. Описание результатов	Представление результатов математического моделирования.
4. Упрощение модели (модификация)	Происходит упрощение или усложнение получившейся модели [12].

В данном исследовании объектов исследования выступает кожный покров человека, на который действует поток излучения лесного пожара. Нестационарный перенос тепла теплопроводностью описывается уравнением, записанным в декартовой системе координат:

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

Рассмотрим пример использования МКР на основе одномерного уравнения теплопроводности. Теплопередача происходит через плоскую пластину. На двух концах пластины температура отлична друг от друга.

Начальная температура равна T_0 , источник тепловыделения внутри пластины отсутствует (Рис. 5) [25].

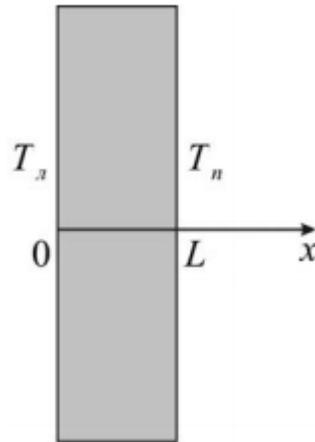


Рис. 5 Геометрия задачи теплопроводности [18]

Изменение температуры происходит только в направлениях, перпендикулярных слою пластины. При полученном направлении координатных осей, температура в направлении оси O_x и O_y будет постоянной. Из-за отсутствия связи между температурой и теплофизическими характеристиками уравнение преобразуется в следующий вид:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2},$$

Производим замену на конечно-разностные аналоги:

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

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T_{i+1}^{n+1} - 2T_i^{n+1} + T_{i-1}^{n+1}}{h^2}.$$

В результате замены переходим к разностной форме дифференциального уравнения [18]:

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

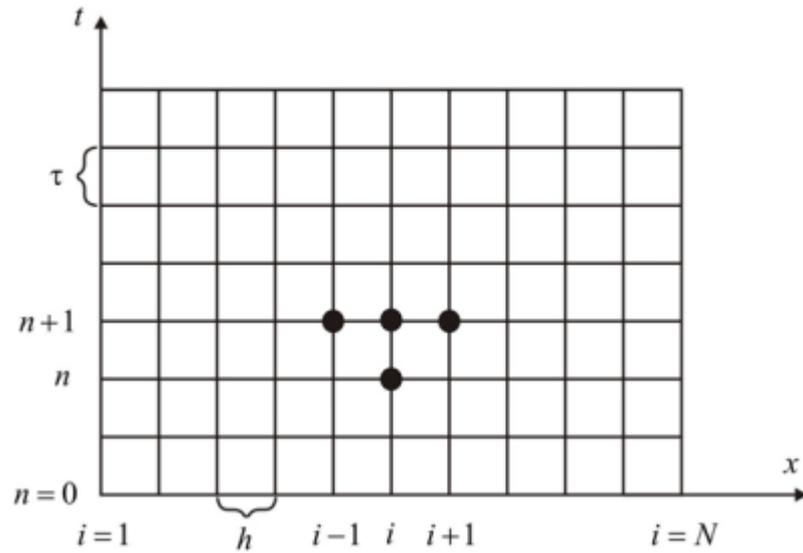


Рис. 6 Неявная четырёхточечная разностная схема [33]

При помощи данной разностной схемы можно определить температуру в каждом узле. Четырёхточечная схема позволяет использовать сразу 2 временных слоя.

Сводим систему к общему виду и используем метод прогонки:

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

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

Данные уравнения являются трёхточечными разностными уравнениями второго порядка точности. Необходимо преобразовать их в двухточечное уравнение с 1 порядком [18]:

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

Находим $T_{N-1}^{n+1}, T_{N-2}^{n+1}, \dots, T_2^{n+1}.$

Уменьшаем $i - 1, T_{i-1}^{n+1} = \alpha_{i-1} \cdot T_i^{n+1} + \beta_{i-1}$ и получаем:

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

Используется метод прямой и обратной прогонки. Для этого необходимо избегать выражений с делением на ноль, отсутствие больших погрешностей [19].

Отсюда следует:

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

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

Рассмотрим дифференциальное уравнение вида:

$$\rho \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}.$$

Начальные и граничные условия:

$$t = 0, T = T_0.$$

На верхней границе применяем граничные условия третьего рода, так как учитывается испарение с поверхности материала. Оно характеризуется теплообменом между окружающей средой и поверхностью материала. Задаем температура окружающей среды T_e [24].

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = k(T_e - T), t > 0, k > 0.$$

Получим:

$$\alpha_1 = \frac{\lambda}{\lambda + h \cdot k};$$

$$\beta_1 = \frac{h \cdot k \cdot T_e}{\lambda + h \cdot k}.$$

Глава 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение

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

В данной работе рассматривается математическое моделирование теплопереноса в слоистой структуре кожного покрова при воздействии излучения от лесного пожара.

Для математического моделирования использовалась среда программирования Delphi 10.3. Все графические результаты обрабатывались в пакете программы OriginPro 8. Результаты НИР представлены в виде диссертационной работы с применением пакета программ Microsoft Office [45].

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования;
- определение возможных альтернатив проведения научного исследования, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательской работы;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

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

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями данного исследования являются Медицинские информационные системы. Откроются перспективы создания новых систем прогнозирования лесных пожаров и их воздействия на кожный покров человека.

4.1.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ предназначен для выявления сильных, слабых сторон проекта, а также возможностей создаваемого проекта и его угроз. Анализ проводится в два этапа: на первом этапе описываются сильные и слабые стороны разрабатываемой технологии, выявляются возможности и угрозы при реализации проекта; на втором этапе анализа строятся интерактивные матрицы для оценки вариантов стратегического выбора.

Таблица 20 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта(С): С1. Относительная дешевизна модернизации С2. Наличие внешних инвесторов. С3. Высокий спрос на приобретение. С4. Меньшее количество требуемой аппаратуры. С5. Увеличение экспорта технологии.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта (Сл): Сл1. Высокая стоимость. Сл2. Трудоемкость монтажа. Сл3. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с оборудованием.
Возможности (В): В1. Перспективы создания новых систем прогнозирования лесных пожаров.	Результаты анализа полей «Сильные стороны и возможности». 1. Повышение спроса на создание новых МИС из-за наличия внешних	Результаты анализа полей «Слабые стороны и возможности». 1. Повышение спроса на продукт приведет к повышению потребности в

<p>В2. Разработка МИС нового поколения на основе полученной математической модели.</p> <p>В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p>В4. Появление спроса на технологию.</p>	<p>инвесторов.</p> <p>2. Ежегодное увеличение лесных пожаров приведёт к появлению новых способов борьбы с ними.</p>	<p>высококвалифицированном персонале.</p> <p>2. При повышении стоимости конкурентных разработок, стоимость установки оборудования на их фоне может выглядеть не высокой.</p>
<p>Угрозы (У):</p> <p>У1. Появление новых проектных решений.</p> <p>У2. Низкое финансовое обеспечение технологии.</p>	<p>Результаты анализа полей «Сильные стороны и угрозы».</p> <p>1. При использовании современных компонентов приведёт к удорожанию установки в целом.</p>	<p>Результаты анализа полей «Слабые стороны и угрозы».</p> <p>1. Отсутствие спроса на продукт из-за высокой стоимости оборудования.</p> <p>2. Обучение персонала организаций для работы с оборудованием.</p>

SWOT-анализ показал, что одним из важных направлений в развитии данной технологии являются мероприятия по повышению заинтересованности, а вследствие и спроса на технологию у потенциальных заказчиков. А главными препятствиями для развития технологии является низкое финансовое обеспечение технологии.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование представляет собой процесс формирования целей, определения приоритетов, средств и методов их достижения. Оно часто рассматривается как завершающий этап прогнозирования, в процессе которого принимаются решения на основе выбора тех или иных альтернатив развития. С точки зрения математики, планирование – это функция, одним из аргументов которой является время [46].

В целях планирования необходимо составить перечень этапов работ, указать участников и продолжительность этих этапов. Результат планирования представляется в виде линейного или сетевого графика проекта.

Этапы проекта и их продолжительность представлена в табл. 21. Основными исполнителями проекта являются исполнитель (И) и научный руководитель (НР).

Таблица 21 – Перечень работ и оценка времени их выполнения

№ п/п	Этапы работы	Загрузка исполнителей, %		Продолжительность, дни
		И	НР	
1	Формулирование задания и темы работы	0	100	1
2	Аналитический обзор отечественной и зарубежной литературы по теме работы	100	0	35
3	Выбор направления исследований и обоснование актуальности работы	50	50	6
4	Формулировка физической модели теплового воздействия на человека	90	10	5
5	Формулировка математической модели теплового воздействия на человека	100	0	10
6	Численное исследование тепловых режимов воздействия на человека	90	10	185
7	Вычислительные эксперименты по моделированию тепловых режимов воздействия лесных пожаров на человека	80	20	60
8	Анализ результатов математического моделирования	90	10	10
9	Написание статей, составление докладов по материалам работы, участие в конференциях	60	40	65

10	Сравнительный анализ с результатами экспериментов других авторов	100	0	5
11	Формулировка выводов по результатам численного исследования	70	30	5
12	Работа над разделами «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	100	0	14
13	Оформление заключительной части работы	100	0	7
14	Перевод части диссертации на английский язык	100	0	7
15	Подготовка рукописи диссертации	90	10	15
	Итого:			430

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Важным моментом какой-либо разработки является определение трудоемкости работ каждого из участников, т.к. зачастую трудовые затраты составляют основную часть стоимости научного исследования.

Трудоемкость является вероятностной характеристикой, которая оценивается экспертным путем в человеко-днях и зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Расчет продолжительности этапов работ осуществляется опытно-статистическим методом, который реализуется вероятностным способом.

Расчет ожидаемого значения продолжительности работ тож осуществляется по формуле:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5},$$

где t_{min} - минимальная трудоемкость работ, чел/дн.; t_{max} - максимальная трудоемкость работ, чел/дн.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести в календарные дни.

Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях произведем по формуле:

$$T_{рд} = \frac{t_{ож}}{K_{вн}} \cdot K_{д},$$

где $T_{рд}$ - трудоемкость работы, чел/дн.; $K_{вн}$ - коэффициент выполнения работ ($K_{вн} = 1$); $K_{д}$ - коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ.

Расчет продолжительности этапа в календарных днях:

$$T_{кд} = T_{рд} \cdot T_{к},$$

где $T_{к}$ - коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется:

$$T_{к} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вд} - T_{пд}} = \frac{365}{(365 - 52 - 12)} = 1,213,$$

где $T_{кал}$ - календарные дни ($T_{кал} = 365$); $T_{вд}$ - выходные дни ($T_{вд} = 52$); $T_{пд}$ - праздничные дни ($T_{пд} = 12$).

Таблица 22 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях		Длительность работ в календарных днях	
	t_{min} , чел.-дни		t_{max} , чел.-дни		$t_{ож}$, чел.-дни		T_{pi}		T_{ki}	
	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель
Составление и утверждение технического задания	1	-	2	-	1	-	2	-	4	-
Подбор и изучение материалов по теме	-	4	-	5	-	4	-	5	-	10
Выбор направления исследования	-	1	-	2	-	1	-	2	-	4
Календарное планирование работ по теме	1	-	2	-	1	-	2	-	4	-
Поиск и анализ существующих проектных решений	-	2	-	3	-	2	-	3	-	6
Сравнение существующих проектных решений, определение достоинств и недостатков, поиск способ усовершенствования	-	2	-	3	-	2	-	3	-	6
Оценка эффективности полученных результатов	1	-	2	-	1	-	2	-	4	-
Определение целесообразности проведения ОКР	1	-	2	-	1	-	2	-	4	-
Разработка проектной конструкторской документации, подбор оборудования	-	22	-	24	-	23	-	23	-	46
Разработка мероприятий	-	2	-	3	-	2	-	3	-	6

связанных с охраной труда и экологической безопасностью										
Оценка коммерческого потенциала, ресурсоэффективности, ресурсосбережения	-	2	-	3	-	2	-	3	-	6
Составление пояснительной записки ВКР	-	4	-	5	-	4	-	5	-	10

Разработка графика проведения научного исследования

В данном разделе построен ленточный график проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Календарный план-график построен на основе таблицы 6 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней).

4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

4.3.1 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Затраты на амортизации используемого ПК, руб./год рассчитываются по формуле:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.пк}} \cdot C_{\text{пк}}}{T_{\text{кал.}} \cdot T_{\text{сл}}},$$

где $T_{\text{исп.пк}}$ – время использования ПК; $C_{\text{пк}}$ – цена ПК; $T_{\text{кал.}}$ – календарное время; $T_{\text{сл}}$ – срок службы ПК.

$$K_{\text{ам}} = \frac{100 \cdot 100000}{365 \cdot 2} = 13700 \text{ руб./год.}$$

4.3.2 Основная заработная плата исполнителей проекта

В данную статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоёмкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок [38].

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата; $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20% от $Z_{\text{осн}}$).

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

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

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 28 раб. дня $M=11,1$ месяца, 5-дневная рабочая неделя; в 48 раб.дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная рабочая неделя; $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно технического персонала, раб. дн.

Таблица 24 – Балан рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Количество нерабочих дней (выходные, праздничные дни)	66	118
Потери рабочего времени (отпуск, невыходы по болезни)	56	28
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	219

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_{\text{д}}) \cdot k_p,$$

где Z_{mc} – заработная плата по тарифной ставке, руб.; k_{np} – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от Z_{mc}); $k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,15-0,2 (т.е. 15-20% от Z_{mc}); k_p – районный коэффициент, равный 1,3 для Томска.

Месячный должностной оклад руководителя и инженера:

$$Z_m^{\text{рук}} = Z_{mc}^{\text{рук}} \cdot (1 + k_{np} + k_{\text{д}}) \cdot k_p = 40000 \cdot (1 + 0,4 + 0,2) \cdot 1,3 = 58600 \text{ руб.},$$

$$Z_m^{\text{исл}} = Z_{mc}^{\text{исл}} \cdot (1 + k_{np} + k_{\text{д}}) \cdot k_p = 15000 \cdot (1 + 0,3 + 0,14) \cdot 1,3 = 30200 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата руководителя и инженера:

$$Z_{\text{дн}}^{\text{рук}} = \frac{Z_m^{\text{рук}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{58600 \cdot 10,1}{243} = 2550,5 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{дн}}^{\text{исл}} = \frac{Z_m^{\text{исл}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{30200 \cdot 11,07}{219} = 1530,5 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата руководителя и инженера:

$$Z_{осн}^{рук} = Z_{дн}^{рук} \cdot T_p = 2450,5 \cdot 8 = 20100 \text{ руб.},$$

$$Z_{осн}^{исл} = Z_{дн}^{исл} \cdot T_p = 1530,5 \cdot 47 = 72300,5 \text{ руб.}$$

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 8.

Таблица 25 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$, руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	40000	0,3	0,2	1,3	58600	2550,5	8	20100
Инженер	15000	0,3	0,15	1,3	30200	1530,5	47	72300,5
Итого $Z_{осн}$								92400,5

4.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодно оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн},$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12-0,15) [39].

$$Z_{доп}^{рук} = k_{доп} \cdot Z_{осн}^{рук} = 0,12 \cdot 20100 = 2350,2 \text{ руб.},$$

$$Z_{доп}^{исл} = k_{доп} \cdot Z_{осн}^{исл} = 0,12 \cdot 72300,5 = 8600,2 \text{ руб.}$$

4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам

государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}),$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). В 2021 году коэффициент отчислений составил 30,2%.

Величина отчислений во внебюджетные фонды руководителя и инженера:

$$Z_{внеб}^{рук} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн}^{рук} + Z_{доп}^{рук}) = 0,302 \cdot (20100 + 2350,2) = 6600,4 \text{ руб.},$$

$$Z_{внеб}^{инж} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн}^{инж} + Z_{доп}^{инж}) = 0,302 \cdot (72300,5 + 8600,2) = 24300,4 \text{ руб.}$$

4.3.5 Услуги сторонних организаций

Оплата услуги, сторонних организаций включает расходы, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями.

В данном случае к ним относятся печатные услуги, включающие в себя печать листов различного формата, в том числе чертежей, и брошюровка.

$$Z_{конр} = 800 \text{ руб.}$$

4.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле [41]:

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{нр},$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Величина накладных расходов:

$$Z_{\text{накл}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}} + Z_{\text{контр}} + A) \cdot k_{\text{нр}} = \\ = 91103,5 + 10932,4 + 30610,8 + 800 + 2411) \cdot 0,16 = 21737,2 \text{ руб.}$$

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

4.4.1 Интегральный показатель ресурсоэффективности

Ресурсоэффективность проекта определяется при помощи интегрального критерия ресурсоэффективности:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности; a_i – весовой коэффициент; b_i – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проведен с помощью таблицы 9.

Таблица 26 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2
1. Способствует росту производительности труда	0,2	5	5
2. Динамическая точность системы	0,2	5	5
3. Удобство в эксплуатации	0,15	4	3
4. Надежность	0,2	5	5
5. Качество регулирования	0,15	4	3
6. Простота наладки	0,1	3	3
7. Срок эксплуатации	0,2	5	4
ИТОГО	1	4,65	3,8

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{p1} = 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 5 = 4,65.$$

$$I_{p2} = 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,15 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 = 3,8$$

Показатели ресурсоэффективности для 1 варианта исполнения проекта равен 4,65 из 5, для 2 варианта – 3,8, что говорит об эффективности использования ресурсов. Для 1 и 2 вариантов исполнения используется меньшее количество оборудования, но точность и качество регулирования таких систем выше, кроме того обслуживать их также проще.

Вывод по разделу

В ходе выполнения данного раздела была проведена оценка коммерческой ценности проекта.

В первой части проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Определены потенциальные потребители данного проекта, проведен анализ конкурентных технических решений. С помощью SWOT-анализа выявлены сильные и слабые стороны проекта, а также возможности и угрозы.

Во второй части определена структура работ в рамках научного исследования и трудоемкость их выполнения, разработана диаграмма Ганта.

В третьей части определен и сформирован бюджет научно-технического исследования, выполнен расчет материальных затрат, затрат на оборудование, основной заработной платы исполнителей, дополнительной заработной платы исполнителей, отчислений во внебюджетные фонды и накладные расходы.

В четвертой части определен интегральный показатель ресурсоэффективности, по которому можно судить об экономии ресурсов для достижения поставленной цели.

Анализируя полученные результаты можно оценить, сколько финансовых средств и времени потребуется на реализацию данного проекта и о том насколько проект будет востребован на рынке.

Глава 5 Социальная ответственность

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

Социальная ответственность—сознательное отношение субъекта социальной деятельности к требованиям социальной необходимости, гражданского долга, социальных задач и, норм и ценностей, понимание осуществляемой деятельности для определенных социальных групп и личностей, для социального прогресса общества.

Охрана труда – совокупность нормативных, технических и правовых актов, мероприятий и правил, целью которых является сохранение здоровья и жизни работника в процессе трудовой деятельности. Данные мероприятия могут быть организационно–технического, санитарно–гигиенического, социально–экономического, лечебно–профилактического, реабилитационного характера.

Условия труда оказывают прямое воздействие на здоровье человека и его состояние в процессе работы, что обуславливает их отвечать всем требованиям безопасности и санитарно–гигиеническим требованиям.

Все факторы, воздействующие на работника в процессе осуществления трудовой деятельности, принято разделять на два типа: вредные и опасные производственные факторы.

В данной работе рассматривается математическое моделирование теплопереноса в слоистой структуре кожного покрова при воздействии излучения от лесного пожара.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Правовая основа по обеспечению охраны труда и безопасности трудящихся на рабочем месте основывается на Конституцию РФ и состоит из ряда федеральных законов и нормативно правовых актов. Управление охраной труда осуществляет блок федеральных органов исполнительной 116 власти, руководимый Министерством здравоохранения и социального развития РФ (Минздравсоцразвития России). Обеспечение работников средствами индивидуальной защиты, а также оснащения рабочих мест средствами коллективной защиты [ТК РФ Статья 221].

Важным объектом в производственных условиях является рабочее место, представляющее собой в общем случае пространство, в котором может находиться человек при выполнении производственного процесса. Поэтому в соответствии с ГОСТ 22269-76 “Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места” Взаимное расположение элементов рабочего места должно обеспечивать возможность осуществления всех необходимых движений и перемещений для эксплуатации и технического обслуживания оборудования.

Сотрудники обязаны проходить инструктаж по технике безопасности не реже 1 раза за 6 месяцев, также соблюдать правила пожарной безопасности. Предприятие, к которому относится производственное помещение, должно обеспечить оператора спецодеждой и другими средствами индивидуальной защиты дыхательных путей [1]. В конце рабочего дня оператор должен сдать дежурство, сделав отметку в журнале.

Требования охраны труда перед началом работы:

- 1) Надеть спецодежду, подготовить средства индивидуальной защиты, проверить их исправность;
- 2) Ознакомиться с условиями работы предыдущей смены;

- 3) Проверить исправность оборудования и инструментов;
- 4) Осмотреть рабочее место, убрать лишние предметы, препятствующие или мешающие выполнению работы;
- 5) Проверить выполнение всех требований безопасности, относящихся к предстоящей работе [2];
- 6) Обо всех недостатках и неисправностях, обнаруженных при проверке и осмотре, необходимо сообщить научному руководителю и до их устранения к работе не приступать.

5.2 Производственная безопасность

Производственная безопасность – система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих или уменьшающих вероятность воздействия на работающих вредных и опасных производственных факторов, возникающих в рабочей зоне в процессе трудовой деятельности.

Пользователь ПЭВМ должен знать о вредном воздействии факторов и об эффективных способах защиты от них, что уменьшает вероятность получения им различных профессиональных заболеваний, а также снижает количество сбоев и ошибок в работе.

Перечень опасных и вредных факторов приведен в таблице 27.

Таблица 27 – Возможные вредные и опасные факторы

Факторы	Эксплу- атация	Нормативные документы
Отклонение показателей микроклимата	+	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных

		помещений [2].
Недостаточная освещенность	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение [6]
Высокий уровень шума	+	ГОСТ 12.1.003-2014 Шум. Общие требования безопасности [7]
Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [8]

Отклонение показателей микроклимата

Для комфортной работы оператора ПЭВМ в помещении должен быть создан микроклимат, отвечающий всем требованиям. Источниками отклонения могут стать отсутствие отопления в холодный период, отсутствие вентиляции и кондиционеров в жаркий период времени.

Микроклимат характеризуется следующими показателями: температура воздуха; температура поверхностей; относительная влажность воздуха; скорость движения воздуха; интенсивность теплового облучения. Эти параметры по отдельности и в комплексе влияют на организм человека, определяя его самочувствие [2].

Согласно СанПиН 2.2.4.548–96. “Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений” для категории тяжести работ 1а температура воздуха должна быть в холодный период года не более 22–24С, в теплый период года 20–25С.

Электрический ток

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного для жизни воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Поражение человека электрическим током может произойти в случае нарушения изоляции, в случае соприкосновения неизолированного от земли человека к неизолированным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением, а также при соприкосновении с полом и стенами, оказавшимися под напряжением.

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека указаны ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. “Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов” [8].

Меры защиты от поражения электрическим током:

- Проверка защитного заземления
- Установка устройств автоматического отключения и предохранительных устройств.

Высокий уровень шума

На пользователя могут оказывать неблагоприятное влияние также шум от работы самой ПЭВМ и оборудования (принтеров, вентиляторов систем охлаждения и трансформаторов) в помещении. Согласно ГОСТ 12.1.003-2014 [7] “Шум. Общие требования безопасности” повышенный шум на рабочем месте оказывает вредное влияние на организм работника в целом, вызывая неблагоприятные изменения в его органах и системах.

Нормы для колеблющегося во времени и прерывистого шума максимальный уровень звука не должен превышать 110 дБА, а для импульсного шума 125 дБА [7].

Мероприятия для снижения воздействия шума на человека:

- Использование шумоподавляющих преград внутри здания;

- Снижение шума в источнике его возникновения (снижение шума в источнике его возникновения, т.е. использование композитных материалов).

Недостаточная освещённость

В компьютерных классах должно быть естественное и искусственное освещение. Естественное освещение обеспечивается через оконные проемы с коэффициентом естественного освещения КЕО не ниже 1,2% в зонах с устойчивым снежным покровом и не ниже 1,5% на остальной территории. Площадь оконных проемов должна составлять не менее 25% площади пола. Согласно СП 52.13330.2016 “Естественное и искусственное освещение” светильники должны располагаться в виде сплошных или прерывистых линий сбоку от рабочих мест параллельно линии зрения пользователя при разном расположении компьютеров.

Искусственное освещение в помещении и на рабочем месте создает хорошую видимость информации, машинописного и рукописного текста, при этом должна быть исключена отраженная блескость.

Норма освещённости рабочего места в офисе: Не менее 300 лк для общего освещения кабинета; 500-600 лк согласно СП 52.13330.2016.

5.3 Экологическая безопасность

Лесные пожары существенно влияют на почвообразовательные процессы: снижается ферментативная и биологическая активность почвы, уменьшается запас органического вещества в верхнем горизонте, происходит изменение реакции среды.

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.

На ликвидацию одного среднестатистического пожара расходуется около 50 м³ воды. Только для тушения трех тысяч ежегодно происходящих в амурской области пожаров требуется около 150000 м³ воды. А чтобы потушить 6,5 млн. пожаров на Земле—350 млн. м³, что равносильно стационарным водным ресурсам озер, рек и большей части почвенной влаги вместе взятых.

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.

Процесс горения любого вещества сопровождается не только выбросом в атмосферу раскаленных продуктов сгорания и тепловым излучением, но и потреблением значительных объемов воздуха. При 109 сгорании 1 м³ природного газа расходуется 5 м³ воздуха; 1 кг древесины—4,2 м³. А объем продуктов сгорания значительно превышает эти показатели.

Таким образом, в огне сгорают значительные объемы кислорода, создавая опасность для жизни людей в случае понижения в зоне пожара концентрации кислорода (менее 16 %), которая в случае массовых пожаров может понизиться до 10, а иногда до 6%.

Вследствие лесных возгораний выпадает большое количество вредных осадков, кислотные дожди, выпадение загрязнённого снега.

Для уменьшения возгораний в лесных зонах следует придерживаться простых правил:

- выжигать траву под деревьями, на лесных полянах, прогалинах, а также стерню на полях, в лесу;
- разводить костры в хвойных молодняках, на торфяниках, лесосеках, в местах с сухой травой, под кронами деревьев, а также на участках поврежденного леса.
- не допускать сжигания сухой травы и мусора на садоводческих участках и прилегающих к ним территориях.

5.4 Безопасность в ЧС

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 пробоем 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.

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

имущества. Противопожарные мероприятия подразумевают: разработку инструкций по пожарной безопасности и проведение инструктажа; обязательное наличие в компьютерном классе средств первичного 111 пожаротушения: (огнетушителей, пожарных кранов). Огнетушители размещаются на видных, легкодоступных местах на высоте не более 1,5 м. Первичные средства пожаротушения, используемые на объекте, должны быть исправны и проходить ежегодную поверку.

При обнаружении пожара или признаков горения (задымление, запах гари, повышение температуры и т.п.) необходимо:

1. немедленно прекратить работу и вызвать пожарную охрану по телефону «01» сообщив при этом адрес учебного корпуса, место возникновения, фамилию, имя, отчество, телефон;
2. двигаться к ближайшему запасному выходу согласно плану эвакуации;
3. ориентироваться по лампам аварийного освещения при эвакуации (светильникам зеленого цвета) в коридорах и на лестничных клетках;
4. если помещение задымлено, дышать через влажный носовой платок;
5. сохранять спокойствие;
6. выйти из здания и удалиться от него на безопасное расстояние.

Требования к способам обеспечения пожарной безопасности системы предотвращения пожара, приведены в ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ. «Пожарная безопасность». 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.

Вывод по разделу

В данном разделе были рассмотрены вопросы, связанные с экологией и социальной ответственностью с точки зрения уменьшения вредных выбросов, рассматривается подход к использованию природных ресурсов, с

меньшим воздействием на окружающую среду. Подробно описаны выявленные вредные и опасные факторы и средства защиты от них.

При соблюдении всех требований и установленных норм можно минимизировать вероятность и последствия различных ЧС, а также поможет снизить влияние опасных факторов на человека и повысить его продуктивность.

Заключение

В результате проведенных работ сформулированы расчетные формулы для решения задачи о теплопереносе в структуре кожного покрова при воздействии нагретых до высоких температур частиц.

Решение одномерной постановки задачи позволяют получить достаточно точные результаты при исследовании процессов. При усложнении модели проблема заключается в небольшом повышении точности результатов. Однако, учитывая более сложные модели, например при нагревании кожного покрова несколькими частицами, использование одномерной постановки недопустимо и, соответственно, необходимо применение пространственных задач.

Установлено, что в результате воздействия на человека в незащищенных местах, происходит повышение температуры, что может губительно сказаться на здоровье человека.

Полученные результаты могут найти применение при проектировании и разработке нового поколения медицинских информационных систем, которые в перспективе должны использоваться в структурах МЧС, медицинских учреждениях.

Список использованных источников

1. Повторный инструктаж по охране труда: периодичность проведения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ecostandardgroup.ru/journal/povtorny-instruk>
2. База инструкций по охране труда [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://xn-----7cdbhfuat6afkbbmmhefunjo4bs9u.xn--p1ai/>.
3. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений». – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608>
4. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608>
5. ГОСТ Р 55173-2012 «Установки котельные. Общие технические требования» – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200103141>
6. ГОСТ Р 56638-2015 «Чистые помещения. Вентиляция и кондиционирование воздуха». – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200124954>
7. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456054197>
8. ГОСТ 12.1.003-2014 «Шум. Общие требования безопасности». – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200118606>
9. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов». – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200313>
10. Управление лесными пожарами на эко региональном уровне. Материалы Международного научно-практического семинара (Хабаровск, Россия. 9–12 сентября 2003 г.). М.: Изд-во Алекс, 2004. — 208 С.
11. Гришин А. М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1992. — 408 с.

12. Гришин А. М., Фильков А. И. Прогноз возникновения и распространения лесных пожаров. Кемерово: Практика, 2005. —202 с.
13. Долгов А.А. Методология оценки лесопожарных рисков // Материалы международной научно-практической конференции / Долгов А.А., Сумина Е.Н., Цомаева Д.С. – Москва, 2008.
14. Rachel A. Loehmana, Elizabeth Reinhardt , Karin L. Riley Wildland fire emissions, carbon, and climate: Seeing the forest and the trees – A cross- scale assessment of wildfire and carbon dynamics in fire-prone, forested ecosystems / College of Forestry and Conservation, The University of Montana, Missoula, MT, 59812, USA. 2014
15. Hummel A., Lyons K. Skin Burn Translation Model for Evaluating Hand Protection in Flash Fire Exposures // Fire Technology.
16. Парамонов Б.А., Порембский Я.О., Яблонский В.Г. Ожоги: Руководство для врачей. – Санкт-Петербург: Специальная литература, 2000. – 480 С.
17. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. Разностные методы решения задач теплопроводности: учебное пособие – Томск: Издательство ТПУ, 2007.– 172с.
18. Рынок медицинских информационных систем: обзор, изменения, тренды: Врач и информационные технологии / Гусев А.В. – 2012. –№3. С. 6-15.
19. Кукавская Е.А. Воздействие лесных пожаров на баланс углерода среднетаежных сосняков Енисейской равнины. Диссертация кандидата биологических наук.
20. Rachel A. Loehmana, Elizabeth Reinhardt , Karin L. Riley Wildland fire emissions, carbon, and climate: Seeing the forest and the trees – A crossscale assessment of wildfire and carbon dynamics in fire-prone, forested ecosystems / College of Forestry and Conservation, The University of Montana, Missoula, MT, 59812, USA. 2014

21. Закиров А.М. Количественная оценка опасности поражения человека тепловым излучением при пожарах на химических и нефтехимических предприятиях / Диссертация кандидата технических наук – Казань:2011.

22. Baranovskiy, N.V. Spatial Mathematical Model of Heat Transfer in Human Skin Influenced by Heated up to High Temperatures Particle [Electronic 121 resource] N. V. Baranovskiy, A. S. Solodkin, A. A. Stuparenko // European Physical Journal Web of Conferences (EPJ Web of Conferences). – 2016. – Vol. 110: Thermophysical Basis of Energy Technologies, Tomsk, Russia.

23. Xu F., Lu T. J, Seffen K. A. Biothermomechanical behavior of skin tissue // Springer-Verlag. 2008.

24. Hummel A., Lyons K. Skin Burn Translation Model for Evaluating Hand Protection in Flash Fire Exposures // Fire Technology. SpringerScience+BusinessMediaNewYork. — 2013. С. 15.

25. Korobkina, D. V. Evaluation Different Boundary Condition in Depth of Tissue for the Task of Mathematical Simulation of Heat Transfer in Human Skin / D. V. Korobkina, N. V. Baranovskiy // MATEC Web of Conferences [Electronic resource]. – 2014. – Vol. 19 : The 2nd International Youth Forum "Smart Grids", Tomsk, Russia.

26. Пушкарева А.Е. Лазерный селективный нагрев элементов кожной ткани: диссертация кандидата технических наук / Санкт – Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики – Санкт-Петербург, 2006.

27. Парамонов Б.А., Порембский Я.О., Яблонский В.Г. Ожоги: Руководство для врачей. – Санкт-Петербург: Специальная литература, 2000. – 480 С.

28. Вильдяева М. В. Обоснование применения мексиданта в комплексном лечении больных с термической травмой. Диссертация кандидата медицинских наук – Саранск, 2009.

29. Гольдзон М.А. Недостаточность кровообращения при тяжелой термической травме и ее патогенетическая коррекция. Диссертация кандидата медицинских наук / Омская государственная медицинская академия – Омск, 2011.
30. Kurbatsky, N.P. Terminology of forest pyrology. In Questions of forest pyrology; ILID SB AS USSR: Krasnoyarsk, Russia, 1972; pp. 171–231.
31. Baranovskiy, N.V.; Kuznetsov, G.V. Forest Fire Occurrences and Ecological Impact Prediction: Monograph; Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science: Novosibirsk, Russia, 2017.
32. Kipfmueller, K.; Elizabeth, A.; Schneider, S.A.; Weyenberg, L.B.; Johnson, G. Historical drivers of the frequent fire regime in the red pine forests of Voyageurs National Park, MN, USA. *For. Ecol. Manag.* 2017, 405, 31–43. [CrossRef]
33. Baranovskiy, N.V.; Kuznetsov, G.V. Coniferous tree ignition by cloud-to-ground lightning discharge using approximation of “ideal” crack in bark. *JP J. Heat Mass Transf.* 2017, 14, 173–186. [CrossRef]
34. Vorobiev, Y.L. Forest fires on the territory of Russia: Status and problems. *Ecol. J.* 2009, 3, 9–11.
35. Amatulli, G.; Perez-Cabello, F.; Du la Riva, J. Mapping lightning/human-caused wildfires occurrence under ignition point location uncertainty. *Ecol. Model.* 2007, 200, 321–333. [CrossRef]
36. Clarke, H.; Tran, B.; Boer, M.M.; Price, O.; Kenny, B.; Bradstock, R. Climate change effects on the frequency, seasonality and interannual variability of suitable prescribed burning weather conditions in south-eastern Australia. *Agric. For. Meteorol.* 2019, 271, 148–157. [CrossRef]
37. Ilina, V.P. Pyrogenic effect on vegetation cover. Samara Luka: Problems of regional and global ecology. 2011, 20, 4–30.
38. Bryukhanov, A.V. Environmental assessment of the state of forests in Siberia. *Sustain. For. Manag.* 2009, 2, 21–31.

39. Staggs, J.E.J. A simple model of polymer pyrolysis including transport of volatiles. *Fire Saf. J.* 2000, 34, 69–80. [CrossRef]
40. Di Blasi, C. Modelling and simulation of combustion processes of charring and non-charring solid fuels. *Prog. Energy Combust. Sci.* 1993, 19, 71–104. [CrossRef]
41. Carslaw, S.; Jaeger, J.C. *Conduction of Heat in Solids*; Oxford University Press: Oxford, UK, 1984; p. 510.
42. Landau, G. Heat conduction in a melting solid. *Q. J. Appl. Math.* 1950, 8, 81–94. [CrossRef] 26. Billings, M.J.; Warren, L.; Wilkins, R. Thermal erosion of electrical insulating materials. *IEEE Trans. Electr. Insulation* 1971, 6, 82–90. [CrossRef]
43. Whiting, P.; Dowden, J.M.; Kapadia, P.D.; Davis, M.P. A one-dimensional mathematical model of laser induced thermal ablation of biological tissue. *Lasers Med. Sci.* 1992, 7, 357–368. [CrossRef]
44. Kindelan, M.; Williams, F.A. Theory for endothermic gasification of a solid by a constant energy flux. *Combust. Sci. Technol.* 1975, 10, 1–9. [CrossRef]
45. Wichman, I.S. A model describing the steady-state gasification of bubble-forming thermoplastics in response to an incident heat flux. *Combust. Flame* 1986, 63, 217–229. [CrossRef]
46. Spearpoint, M.J.; Quintiere, J.G. Predicting the piloted ignition of wood in the cone calorimeter using an integral model—Effect of species, grain orientation and heat flux. *Fire Saf. J.* 2001, 36, 391–415. [CrossRef]
47. Mackay, G.D.M. *Mechanism of Thermal Degradation of Cellulose: A Review of the Literature*; Forestry Branch Departmental Publication no 1201; Canada Department of Forestry and Rural Development: Petawawa, ON, Canada, 1967; p. 2.
48. Moghtaderi, B. The state-of-the-art in pyrolysis modeling of lignocellulosic solid fuels. *Fire Mater.* 2006, 30, 1–34. [CrossRef]

49. Galgano, A.; Di Blasi, C. Modeling the propagation of drying and decomposition fronts in wood. *Combust. Flame* 2004, 139, 16–27. [CrossRef]
50. Shen, D.K.; Fang, M.X.; Luo, Z.Y.; Cen, K.F. Modeling pyrolysis of wet wood under external heat flux. *Fire Saf. J.* 2007, 42, 210–217. [CrossRef]
51. Cruz, M.G.; Sullivan, A.L.; Gould, J.S.; Hurley, R.J.; Plucinski, M.P. Got to burn to learn: The effect of fuel load on grassland fire behavior and its management implications. *Int. J. Wildland Fire* 2018, 27, 727–741.