



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 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА

Тема работы
Математическое моделирование тепломассопереноса в поверхностных слоях кожи при воздействии нагретых до высоких температур частиц с учётом включений и испарения клеточной влаги

УДК 519.876:66.021.3/.4:572.524

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ14	Васюк Николай Викторович		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Татьяна Борисовна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД	Федорчук Юрий Митрофанович	д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы магистранта по направлению 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

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



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

Школа Инженерная Школа Энергетики

Направление подготовки 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

ООП/ОПОП Технологии сжижения природного газа и промышленная теплотехника

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

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Максимов В.И.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
5БМ14	Васюк Николай Викторович

Тема работы:

Математическое моделирование тепломассопереноса в поверхностных слоях кожи при воздействии нагретых до высоких температур частиц с учётом включений и испарения клеточной влаги

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 41-35/с от 10.02.2023

Срок сдачи студентом выполненной работы:

31.05.2023

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект исследования – элемент кожного покрова человека. Предмет исследования – теплоперенос в слоистой структуре кожного покрова при тепловом воздействии от фронта лесного пожара.
Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке	Аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений научного сообщества в рассматриваемой области. Математическое моделирование тепломассопереноса в поверхностных слоях кожи при воздействии нагретых до высоких температур частиц с учётом включений и испарения клеточной влаги. Обсуждение результатов исследования. Формулировка выводов и заключения.
Перечень графического материала	

	Презентация
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Якимова Т.Б.
Социальная ответственность	Федорчук Ю.М.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	14.12.2022
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Барановский Н.В.	к.ф.-м.н.		14.12.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ14	Васюк Николай Викторович		14.12.2022



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

Школа Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

ООП/ОПОП Технологии сжижения природного газа и промышленная теплотехника

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

Период выполнения весенний семестр 2022/2023 учебного года

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
5БМ14	Васюк Николай Викторович

Тема работы:

Математическое моделирование тепломассопереноса в поверхностных слоях кожи при воздействии нагретых до высоких температур частиц с учётом включений и испарения клеточной влаги.
--

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	31.05.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
06.09.2021	Титульные листы, реферат, введение,	10
23.12.2021	Аналитическая часть магистерской диссертации	10
08.01.2023	Проектная часть магистерской диссертации, заключение, список использованных источников, приложения	10
05.04.2023	Раздел «Социальная ответственность»	5
31.05.2023	Представление готовой магистерской диссертации	5
14.06.2023	Защита магистерской диссертации	60
	Итого	100

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП/ОПОП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Максимов В.И.	К.Т.Н.		

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ14	Васюк Николай Викторович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 116 с., 30 рис., 28 табл., 65 источников.

Ключевые слова: кожный покров, ожог, волосяной фолликул, тепловое излучение, математическое моделирование, испарение клеточной влаги, 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 с учётом включений и испарения клеточной влаги.

В процессе исследования были сформулированы физико-математические 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 графические 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.....	9
Глава 1 Современное состояние области исследования.....	11
1.1 Типы и характер лесных пожаров.....	11
1.2 Строение и структура кожного покрова человека.....	13
1.3 Поражения человека при тепловом воздействии	18
1.4 Численные методы прогнозирования теплового поражения кожного покрова	21
1.4.1 Инструментальный метод.....	21
1.4.2 Расчётный метод.....	22
1.4.3 Расчётно-экспериментальный метод.....	22
1.5 Модели поражения кожного покрова человека.....	23
1.5.1 Экспериментальная модель поражения	23
1.5.2 Статистическая модель поражения	24
1.5.3 Термодинамическая модель поражения.....	25
1.5.4 Кинетическая модель поражения.....	26
1.6 Медицинские информационные системы.....	27
1.7 Выводы по результатам обзора литературы.....	30
ГЛАВА 2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	31
2.1 Объект исследования.....	31
2.2 Алгоритм решения задачи теплопроводности.....	31
2.2.1 Двумерная задача теплопроводности.....	35
2.2.2 Двумерная задача теплопроводности для неоднородного тела.....	38
2.2.3 Одномерное уравнение теплопроводности с фазовым переходом на границе (испарение материала).....	40
2.2.4 Конечно-разностная аппроксимация граничных условий второго и третьего рода	42
ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	44
3.1 Формулировка физической модели	40
3.1.1 Математическая и геометрическая модели тепло и массопереноса для четырёхслойной структуры кожного покрова.....	40
3.2 Расчёт теплопереноса в кожном покрове с учётом включений (волосяные луковицы).....	40
3.2.1 Формулировка физической модели.....	40
3.2.2 Математическая и геометрическая модели тепло и массопереноса для пятислойной структуры кожного покрова.....	40
ГЛАВА 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ,	46
РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	46
4.1 Организация и планирование работ.....	46

4.2 Расчет сметы затрат.....	54
$Z_H=0,2 \cdot Z_0=0,2 \cdot 309980=61995,8$ руб.....	61
4.3 Оценка научно-технической результативности НИР	61
Выводы по разделу 4.....	65
Глава 5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	68
Введение.....	68
5.1 Производственная безопасность.....	68
5.1.1 Отклонение показателей микроклимата в помещении	68
5.1.2 Превышение уровней шума.....	70
5.1.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений	71
5.1.4 Наличие токсикантов, (запыленность, загазованность), ПДК, класс опасности, СКЗ, СИЗ;	72
5.1.5 Недостаточная освещенность	73
5.2 Электроопасность, класс электроопасности помещения, безопасные номиналы I, U, R _{заземления} , СКЗ, СИЗ	76
5.2.1 Поражение электрическим током.....	77
5.3 Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и ограничение применения; Приведена схема эвакуации.....	78
5.4 Экологическая безопасность.....	80
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	81
Заключение.....	83
Список использованных источников.....	84
Перечень НТД.....	89
7. ГОСТ 12.4.123-83. Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования.	89
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	91
INTRODUCTION.....	92
CURRENT STATE OF RESEARCH.....	93
The structure of the human skin.....	94
Numerical methods for predicting thermal damage to the skin.....	96
Algorithm for solving the problem of heat conduction	97
Conclusion	101

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 с учётом включений и испарения клеточной влаги.

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).

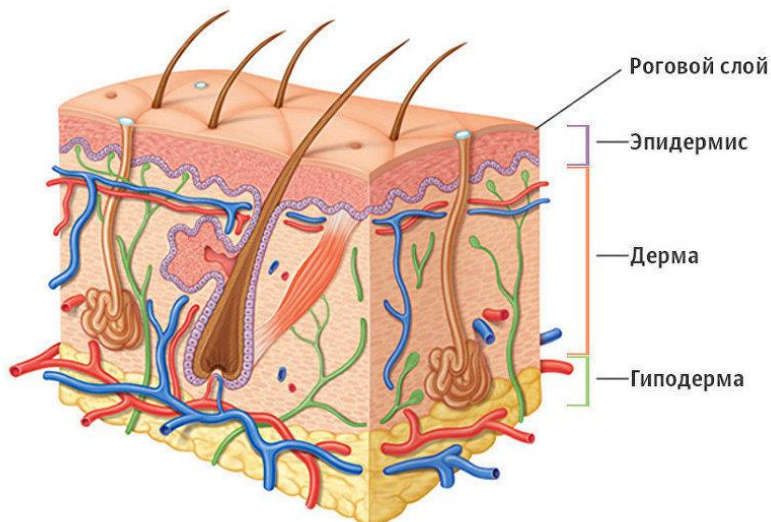


Рис.1 Строение кожи [16]

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 степени 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

	<p>активность клеток. Имеются глубокие выросты (шипы), 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.

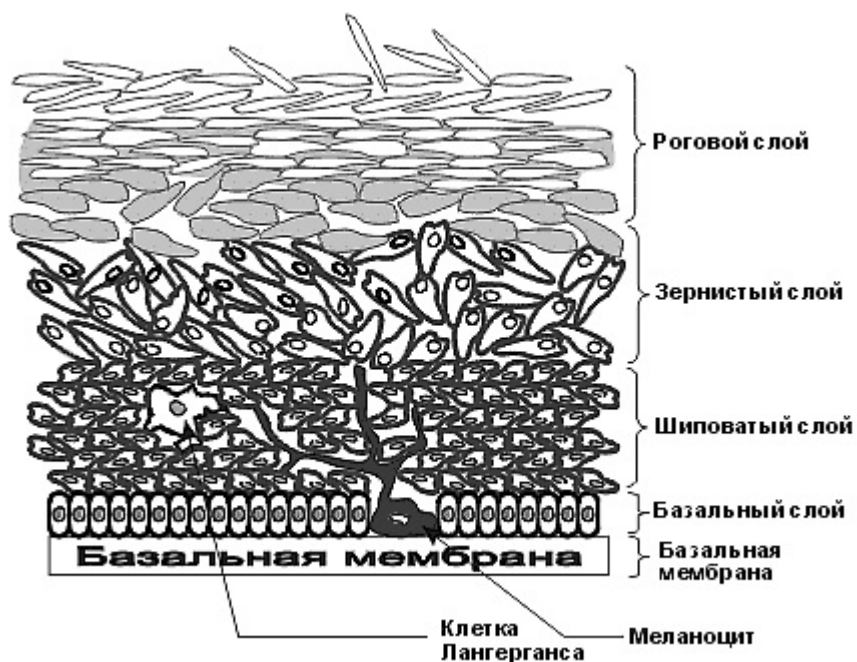


Рис. 2 Строение эпидермиса [18]

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 чёткой 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 желёз, 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.

Волосной фолликул - это сложный орган, находящийся в дермальном слое кожи, который состоит из 20 различных типов клеток с разными функциями. Он регулирует рост волос путем взаимодействия гормонов и иммунных клеток.

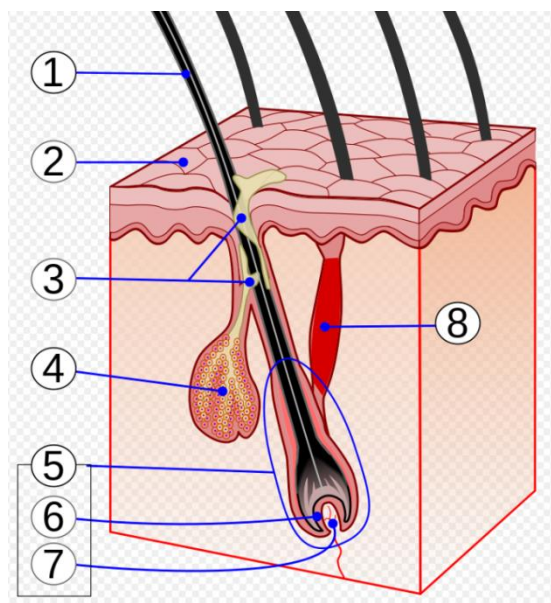


Рис. 3 Строение волосяного фолликула (волосяной луковицы)

1 – стержень волоса, 2 – поверхность кожи, 5 – волосяной фолликул

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 толщи 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]

Термическое возникают результате	– в высокой	<ul style="list-style-type: none"> • Пламя: Большая площадь ожога, сложность удаления остатков одежды с повреждённых участков. Поражение органов зрения, дыхания;
--	-------------------	--

<p>температуры.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 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.
<p>Сочетанные</p>	<p>Поражение несколькими факторами сразу, например</p>

	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 29 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 пострадавших. 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;

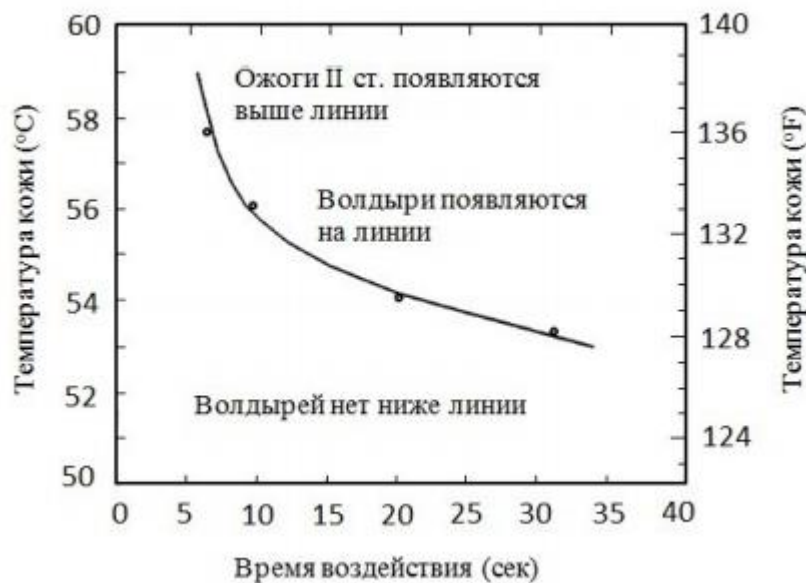


Рис. 4 Температура основного слоя кожи от времени [17]

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.

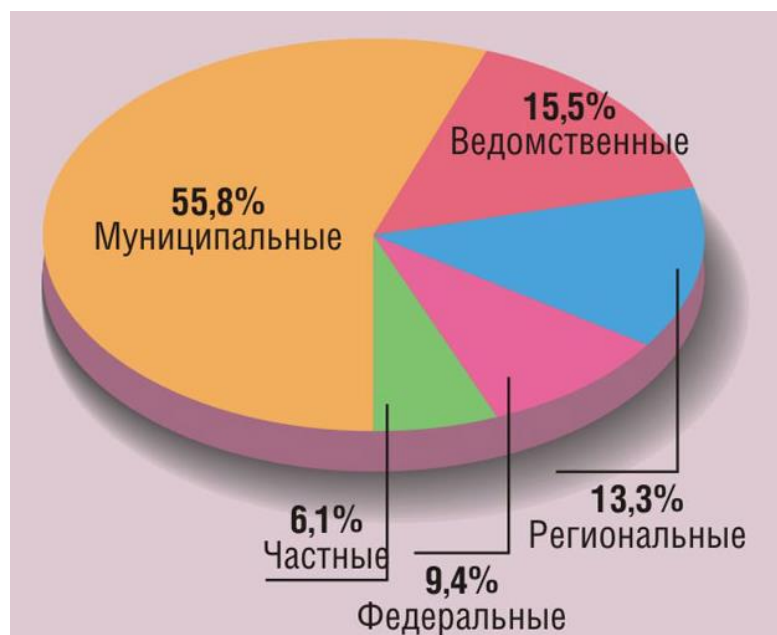


Рис. 5 Тенденция развития МИС [14]

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 ½ 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. 6) [25].

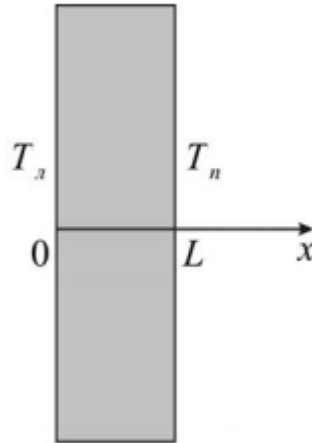


Рис. 6 Геометрия задачи теплопроводности [18]

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]:

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

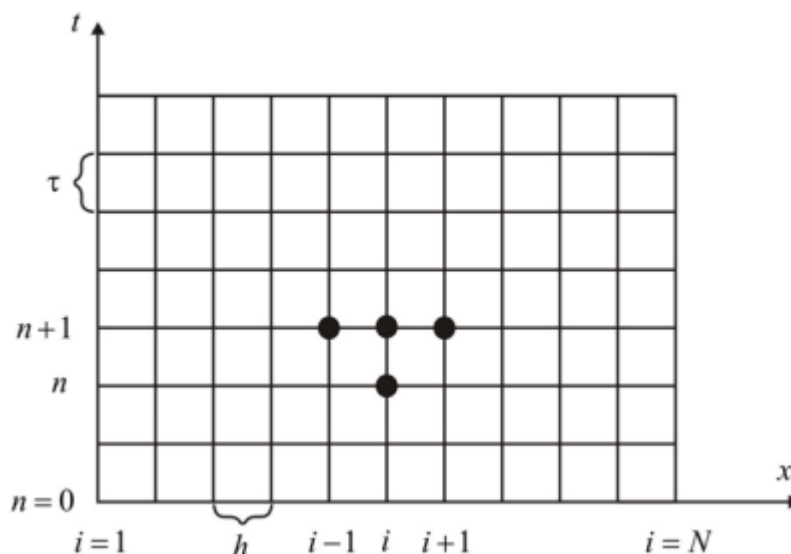


Рис. 7 Неявная четырёхточечная разностная схема [33]

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:

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

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

2.2.1 Двумерная задача теплопроводности

Математическая постановка задачи будет иметь вид:

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

Начальные и граничные условия запишем в следующем виде:

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

$$x = 0: T = T_h, t > 0;$$

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

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

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

Введем пространственно-временную сетку для аппроксимации дифференциального уравнения со следующими координатами:

$$x_i = (i - 1) \cdot h_x, y_j = (j - 1) \cdot h_y, t_n = n \cdot \tau,$$

где h_x и h_y - шаги сетки по координатам x , y соответственно; τ - шаг по времени, $i = (1; N_x)$; $j = (1; N_y)$; $n = (0; K)$. Полностью вся расчётная область покрывается сеткой.

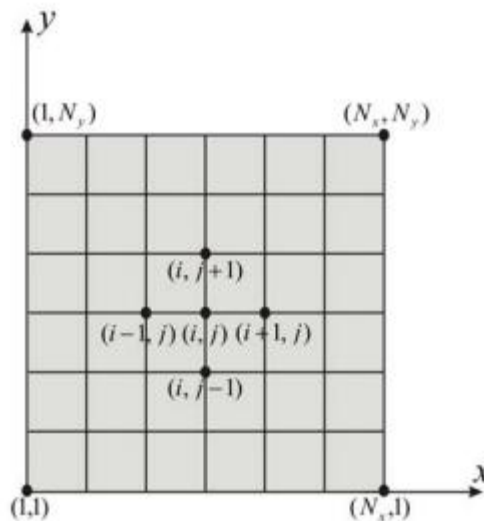


Рис. 8 Разностная сетка области решения

Необходимо ввести обозначение: $T(x_i, y_j, t_n) = T_{i,j}^n$.

Применим локально-одномерную схему А.А. Самарского для дискретизации уравнения – получения разностного уравнения, описывающего отсчеты решения дифференциального уравнения на заданной H-сетке. Данная схема является абсолютно устойчивой и обладает свойством суммарной аппроксимации. Реализация данного подхода осуществляется в том, что шаг по времени проводится в 2 этапа – на промежуточном временном шаге проводим дискретизацию двумерного уравнения только в направлении оси x и получаем одномерное уравнение, после его решения проводим вновь дискретизацию уравнения, но уже в направлении оси y и, решая полученное одномерное уравнение, определяем поле температуры на целом шаге по времени.

Имеем:

$$\rho \cdot c \cdot \frac{T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - T_{i,j}^n}{\tau} = \lambda \cdot \left(\frac{T_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} - 2 \cdot T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + T_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{h_x^2} \right),$$

$$\rho \cdot c \cdot \frac{T_{i,j}^{n+1} - T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\tau} = \lambda \cdot \left(\frac{T_{i,j+1}^{n+\frac{1}{2}} - 2 \cdot T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + T_{i,j-1}^{n+\frac{1}{2}}}{h_y^2} \right).$$

Данные уравнения являются разностными и сводятся к стандартному трехдиагональному виду и решаются последовательно методом прогонки. В первую очередь решается первое уравнение для всей области, затем, после нахождения решения, переходят к решению второго уравнения.

Рассмотрим решение первого уравнения методом прогонки. Необходимо привести его к виду $A_i T_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} - B_i T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + C_i T_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}} = F_i$. Тогда данные коэффициенты примут вид:

$$A_i = C_i = \frac{\lambda}{h_x^2}, B_i = \frac{2 \cdot \lambda}{h_x^2} + \frac{\rho \cdot c}{\tau}, F_i = -\frac{\rho \cdot c \cdot T_{i,j}^n}{\tau}.$$

Далее необходимо найти α_i и β_i из левого граничного условия для определения прогоночных коэффициентов. Определяем значение $T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}$ из правого граничного условия. Находим поле температуры $T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}$ на промежуточном временном слое.

2.2.2 Двумерная задача теплопроводности для неоднородного тела

Рассмотрим процесс теплопереноса на участке, включающий в себя несколько включений. В нашем случае в роли включений будут выступать волосяные луковицы, располагающиеся на 2 и 3 слоях рассматриваемой частицы. Так как она является учебной, размеры необходимо выбрать такими, что бы используемая разностная сетка была равномерной.

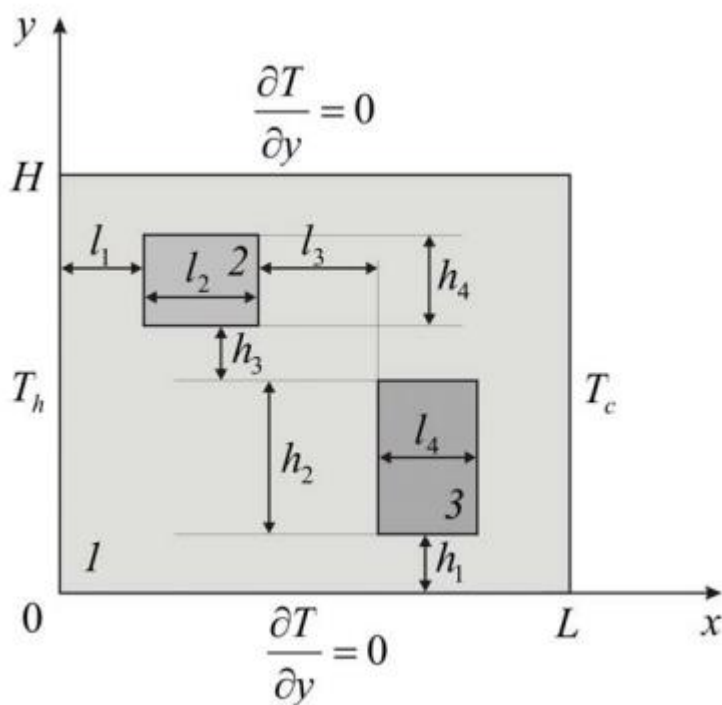


Рис. 9 Область решения

Горизонтальные границы являются адиабатическими.

Математическая постановка задачи будет иметь вид:

$$\rho_1 c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \left(\frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial y^2} \right);$$

$$\rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \left(\frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial y^2} \right);$$

$$\rho_3 c_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = \lambda_3 \left(\frac{\partial^2 T_3}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial y^2} \right).$$

Начальные и граничные условия запишутся следующим образом:

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

$$x = 0: T = T_h, t > 0;$$

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

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

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

$$\begin{cases} T_1(t, x, y) = T_2(t, x, y) \\ -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} \end{cases};$$

$$\begin{cases} T_1(t, x, y) = T_2(t, x, y) \\ -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial y} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial y} \end{cases};$$

$$\begin{cases} T_1(t, x, y) = T_3(t, x, y) \\ -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial x} \end{cases};$$

$$\begin{cases} T_1(t, x, y) = T_3(t, x, y) \\ -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial y} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial y} \end{cases};$$

Необходимо ввести равномерную пространственно-временную сетку. Решение данных систем линейных алгебраических уравнений будем проводить методом прогонки, учитывая присутствие нескольких неоднородностей. Эти включения учитываются в прогоночных коэффициентах.

На границах используем среднее арифметическое в качестве теплофизических параметров среды:

$$\lambda_{\text{эфф}} = \frac{\lambda_1 + \lambda_3}{2},$$

$$\rho_{\text{эфф}} = \frac{\rho_1 + \rho_3}{2},$$

$$c_{\text{эфф}} = \frac{c_1 + c_3}{2}.$$

2.2.3 Одномерное уравнение теплопроводности с фазовым переходом на границе (испарение материала)

Рассмотрим процесс теплопроводности на участке с испарением. Математическая постановка задачи примет вид:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, 0 < x < L;$$

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

$$x = 0: -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = q - w_{\text{исп}} \cdot Q_{\text{исп}}, t > 0;$$

$$x = L: \lambda \frac{\partial T}{\partial x} = q - w_{\text{исп}} \cdot Q_{\text{исп}}, t > 0;$$

Где $w_{\text{исп}} = \frac{A \cdot (P^{\text{H}} - P^*)}{\sqrt{\frac{6,28RT}{M}}}$ – скорость испарения клеточной влаги, $P^{\text{H}} = P_0 \cdot$

$\exp\left(-\frac{Q_{\text{исп}}}{RT}\right)$ – давление насыщенного пара, $R=8,31$ Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная, A – коэф. аккомодации, P_0 – предэкспонент фазового перехода,

M – молекулярный вес, $Q_{\text{исп}}$ - энергия активации процесса испарения, $P^* = P_{\text{атм}}$.
 Нелинейные граничные условия в имеющейся краевой задаче. Необходимо провести дискретизацию условий II рода. Находим прогоночные коэффициенты a_1 и b_1 из $T_1 = a_1 \cdot T_2 + b_1$.

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = q - \frac{A \cdot (P_0 \cdot \exp\left(-\frac{Q_{\text{исп}}}{RT}\right) - P_{\text{атм}}) \cdot Q_{\text{исп}}}{\sqrt{\frac{6,28RT}{M}}};$$

$$-\lambda \frac{T_2 - T_1}{h} = q - \frac{A \cdot (P_0 \cdot \exp\left(-\frac{Q_{\text{исп}}}{RT_1}\right) - P_{\text{атм}}) \cdot Q_{\text{исп}}}{\sqrt{\frac{6,28RT_1}{M}}};$$

$$T_1 - T_2 = \frac{qh}{\lambda} - \frac{A \cdot h \cdot (P_0 \cdot \exp\left(-\frac{Q_{\text{исп}}}{RT_1}\right) - P_{\text{атм}}) \cdot Q_{\text{исп}}}{\lambda \cdot \sqrt{\frac{6,28RT_1}{M}}};$$

$$T_1 = T_2 + \frac{qh}{\lambda} - \frac{A \cdot h \cdot (P_0 \cdot \exp\left(-\frac{Q_{\text{исп}}}{RT_1}\right) - P_{\text{атм}}) \cdot Q_{\text{исп}}}{\lambda \cdot \sqrt{\frac{6,28RT_1}{M}}}.$$

Следует:

$$\begin{cases} a_1 = 1; \\ b_1 = \frac{qh}{\lambda} - \frac{A \cdot h \cdot (P_0 \cdot \exp\left(-\frac{Q_{\text{исп}}}{RT_1}\right) - P_{\text{атм}}) \cdot Q_{\text{исп}}}{\lambda \cdot \sqrt{\frac{6,28RT_1}{M}}}. \end{cases}$$

Исходя из уравнений наблюдаем, что коэффициент b_1 зависит от температуры нелинейным образом на одной из границ. Используем метод простой итерации, что бы определить поля температуры.

2.2.4 Конечно-разностная аппроксимация граничных условий второго и третьего рода

Если в поставленной задаче использовать в качестве граничных условий на наружной поверхности использовать граничные условия 2 рода, математическая постановка примет вид:

$$x = 0: -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = q_1, t > 0;$$

$$x = L: -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = q_2, t > 0.$$

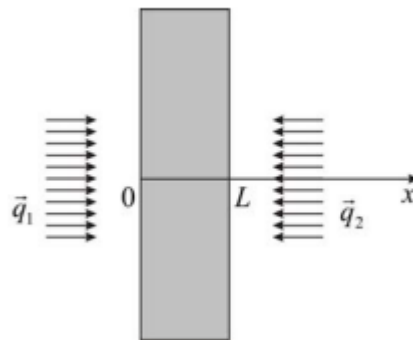


Рис. 10 Геометрия задачи (граничные условия 2 рода)

$q_1 > 0$ – нагрев материала $x = 0$;

$q_1 < 0$ – охлаждение материала $x = 0$;

$q_2 > 0$ – охлаждение материала $x = L$;

$q_2 < 0$ – нагрев материала $x = L$.

Необходимо провести дискретизацию граничных условий 2 рода, используя погрешность $O(h)$. Аппроксимация данного вида говорит о том, что различия между точными и полученными значениями будут 1 порядка с шагом h . Погрешность меньше, чем выше порядок аппроксимации. Второй порядок аппроксимации по сравнению с первым будет давать результаты более точные, так как $h^2 < h < 1$.

Определим первые прогоночные коэффициенты a_1 и b_1 :

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = q_1; x = 0$$

$$-\lambda \frac{T_2 - T_1}{h} = q_1;$$

$$T_1 = T_2 + \frac{h \cdot q_1}{\lambda}.$$

Получаем:

$$\begin{cases} a_1 = 1; \\ b_1 = \frac{h \cdot q_1}{\lambda}. \end{cases}$$

Определим температуру T_N :

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = q_2; x = L$$

$$-\lambda \frac{T_N - T_{N-1}}{h} = q_2;$$

$$T_N = T_{N-1} - \frac{h \cdot q_2}{\lambda};$$

так как $T_{N-1} = a_{N-1} \cdot T_N + b_{N-1}$, то

$$T_N = a_{N-1} \cdot T_N + b_{N-1} - \frac{h \cdot q_2}{\lambda};$$

$$T_N = \frac{\lambda \cdot b_{N-1} - h \cdot q_2}{\lambda \cdot (1 - a_{N-1})}.$$

ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ14	Васюк Николай Викторович

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	И.Н. Бутакова
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.01 «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	Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами. Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- дополнительная заработная плата - 15% - накладные расходы - 20% - районный коэффициент - 30% - норма амортизации - 40-50%
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Размер отчислений во внебюджетные фонды – 30,2%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИТ	- анализ конкурентных технических решений; - SWOT-анализ; - описание потенциальных потребителей;
2. Планирование и формирование бюджета научно-технического проекта	- планирование работ; - разработка графика Ганта; - формирование бюджета затрат на научное исследование.
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	- Определение финансовой эффективности и ресурсоэффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Многоугольник конкурентоспособности
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2023
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН	Якимова Татьяна Борисовна	к.э.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ14	Васюк Николай Викторович		

ГЛАВА 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

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

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

Для достижения поставленной цели сформулировали задачи:

1. Определение этапов работы;
2. Определение продолжительности этапов работы;
3. Расчет затрат необходимых для НИР;
4. Расчет рентабельности проекта;
5. Оценка научно-технической результативности НИР.

4.1 Организация и планирование работ

Планирование представляет собой процесс формирования целей, определения приоритетов. 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.

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. 15. Основными исполнителями проекта являются студент (С) и научный руководитель (НР).

Таблица 15 –Перечень работ и оценка времени их выполнения

№п/п	Этапы работы	Загрузка исполнителей, %		Продолжительность, дни
		С	НР	
1	Формулировка задания и темы работы	0	100	1
2	Аналитический обзор отечественной и зарубежной литературы по теме работы	100	0	15
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	9
6	Численное исследование тепловых режимов воздействия на человека	90	10	17

7	Вычислительные эксперименты по моделированию тепловых режимов воздействия лесных пожаров на человека	80	20	9
8	Анализ результатов математического моделирования	90	10	7
9	Написание статей, составление докладов по материалам работы, участие в конференциях	60	40	9
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	3
13	Оформление заключительной части работы	100	0	4
14	Перевод части диссертации на английский язык	100	0	5
15	Подготовка рукописи диссертации	90	10	6
	Итого:			102

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 $t_{ож}$ осуществляется по формуле[29]:

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

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:

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

Где $T_{рд}$ —трудоемкость работы, чел/дн.;

$K_{вн}$ —коэффициент выполнения работ ($K_{вн}=1$);

$K_{д}$ —коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации согласование работ ($K_{д}=1,2$).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях:

$$T_{кд} = T_{рд} \cdot T_{к'}$$

Где $T_{к}$ —коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется:

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

Где $T_{кал}$ —календарные дни ($T_{кал}=365$);

$T_{вд}$ —выходные дни ($T_{вд}=52$);

$T_{пд}$ —праздничные дни ($T_{пд}=12$).

Таблица 16 –Трудозатраты на выполнение проекта [27]

№ П / П	Этапы работы	Исполнитель и	Продолжительность работ, дни			Длительность работ $T_{рд}$, чел./дн.		Длительность работ $T_{кд}$, чел./дн.	
			t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	С	НР	С	НР
1	Получение задания и темы работы	НР	1	1	1	0	1	0	1,4 6
2	Аналитический обзор отечественной и зарубежной литературы по теме работы	С	2 5	35	29	15	0	42, 21	0
3	Выбор направления исследований и обоснование актуальности работы	НР, С	4	6	4,8	3	3	3,4 9	3,4 9
4	Формулировка физической модели теплового Воздействия на человека	НР, С	3	5	3,8	4	1	4,9 8	0,5 5
5	Формулировка математической модели теплового Воздействия на человека	С	7	10	8,2	9	0	11, 94	0
6	Численное исследование тепловых режимов воздействия на человека	НР, С	1 6 5	185	173	15	2	22 6,6	25, 2
7	Вычислительные эксперименты по моделированию тепловых режимов воздействия лесных пожаров на человека	НР, С	5 0	60	54	7	2	62, 88	15, 7
8	Анализ результатов математического моделирования	НР, С	7	10	8,2	6	1	10, 74	1,1 9
9	Написание статей, составление докладов по материалам работы, участие в конференциях	НР, С	5 0	65	56	5	4	48, 91	32, 6
10	Сравнительный анализ с результатами Экспериментов других авторов	С	3	5	3,8	5	0	5,5 3	0
11	Формулировка выводов по результатам численного исследования	НР, С	3	5	3,8	4	1	3,8 7	1,6 6
12	Работа над разделами «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент,	С	1 2	14	12, 8	3	0	18, 63	0

	ресурсоэффективность И ресурсосбережение»								
13	Оформление заключительной части работы	С	5	7	5,8	4	0	8,4 4	0
14	Перевод части диссертации на английский язык	С	5	7	5,8	5	0	8,4 4	0
15	Подготовка рукописи диссертации	НР, С	1 2	15	13, 2	5	1	17, 29	1,9 2
	Итого:		3 5 2	430	383 ,2	90	12	474	83, 8

На основании табл. 16 строим линейный график работ

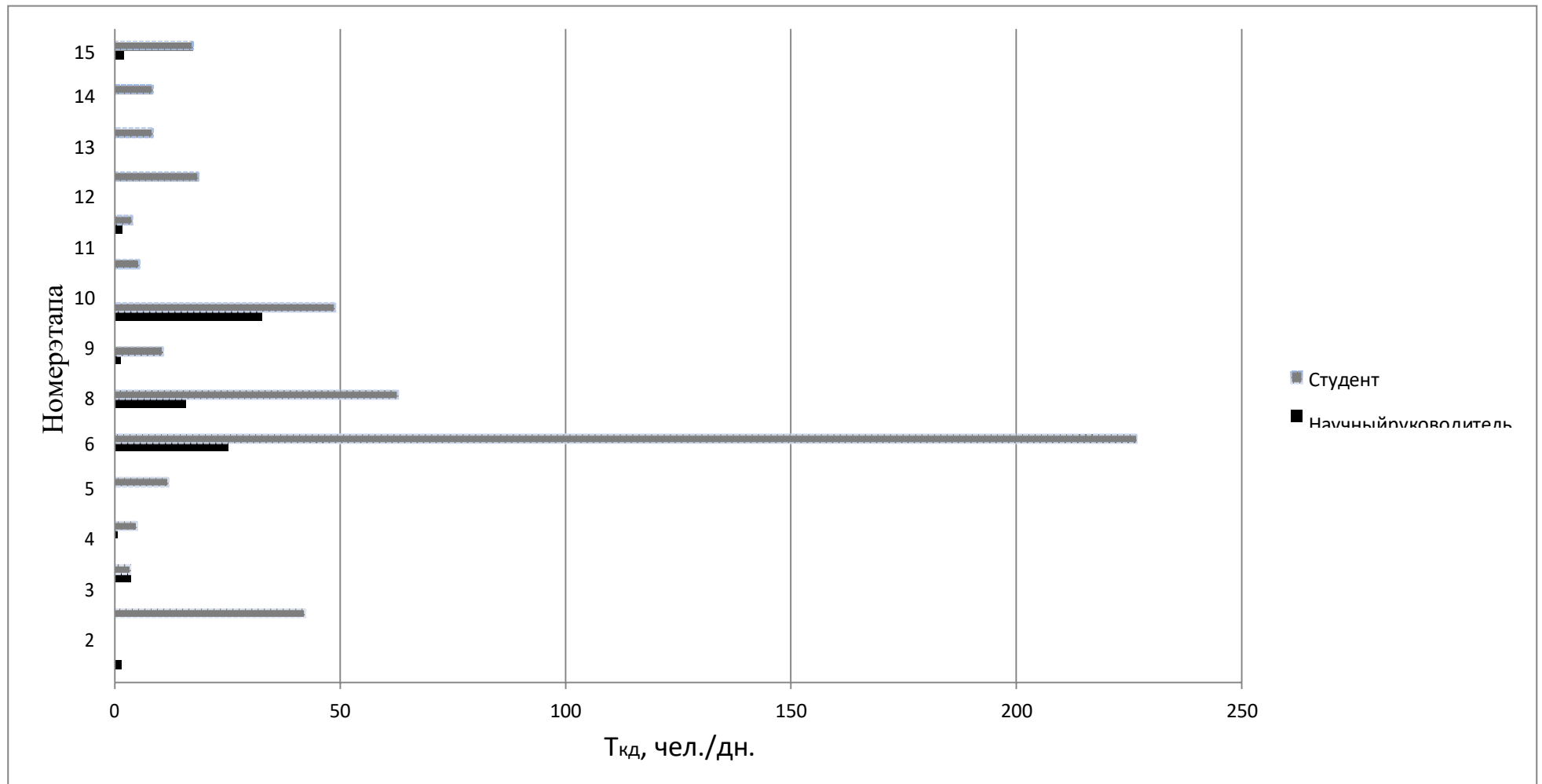


Рисунок 25 – Линейный график работ на основе рассчитанного для студента и научного руководителя времени $T_{кд}$

4.2 Расчет сметы затрат

Смета затрат представляет собой сводный план всех расходов, стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта.

Затраты на реализацию проекта представляют собой сумму основных расходов и складываются из следующих элементов[27]:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{мат}} + Z_{\text{ам}} + Z_{\text{з.п}} + Z_{\text{с.о}} + Z_{\text{пр}} + Z_{\text{эл}},$$

где $Z_{\text{мат}}$ – материальные затраты;

$Z_{\text{з.п}}$ – заработная плата (основная и дополнительная);

$Z_{\text{ам}}$ – амортизационные расходы;

$Z_{\text{с.о}}$ – Социальные отчисления;

$Z_{эл}$ – затраты на электроэнергию;

$Z_{пр}$ – прочие затраты.

Материальные затраты представляют собой элемент себестоимости, в котором отражается стоимость покупных материалов, используемых в процессе работы для обеспечения нормального рабочего процесса. К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ [16].

Материальные затраты на данный проект представлены в табл. 17. Стоимость оборудования принималось согласно [18], канцелярские товары – [19], офисная мебель – [80], программное обеспечение – [11,22].

Таблица 17–Материальные затраты на проект

№п/п	Наименование	Количество	Цена, руб.	Сумма, руб.
Канцелярские товары				
1	Бумага для принтера А4	2	250	500
2	Картридж для принтера	1	866	866
3	Ручка шариковая	2	59,8	119,6
4	Карандаш механический	1	49	49
5	Грифели для карандаша	1	38,9	38,9
6	Резинка стирательная	1	12	12

Таблица 17 – Стоимость оборудования

Наименование оборудования	Стоимость, руб.	Амортизация, руб.
Ноутбук	25000	2416
Мышка	710	50
ПО ObjectPascal	56500	6030
ПО Microsoft Office 2010	16700	1860

Амортизационные отчисления определяются исходя из стоимости основных фондов (компьютерного оборудования), используемых при проведении научных исследований и годовой нормы амортизационных отчислений:

$$Z_{ам} = \frac{N_a * C_{об}}{F_d} * t_{вт} = 8899 \text{ руб.}$$

Где N_a - годовая норма амортизации, принимаем 25%; $C_{об}$ - цена оборудования, принимаем 2500 руб, F_d - действительный годовой фонд рабочего времени, примем 2416 ч., $t_{вт}$ - время работы вычислительной техники при создании программного продукта, примем 3440 ч.

Расходы на материалы составили: 100500 руб.

Следующей статьей расходов НИР для оценки затрат является заработная плата исполнителей. Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и студента, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная заработная плата рассчитывается:

$$Z_{дн} = Z_m / F_d,$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

Расчет затрат на основную заработную плату приведен в табл. 18

Таблица 18 – Расчет основной заработной платы

Исполнитель	$Z_{мс}$, руб.	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
Научный Руководитель	39300	1,3	51090	2123	12	25476
Исполнитель	16300	1,3	21190	881	90	79290

Далее необходимо рассчитать дополнительную заработную плату 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.) [23].

Расчет дополнительной заработной платы ведётся по следующей формуле:

$$Z_{дон} = k_{дон} \cdot Z_{осн}$$

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

$$Z_{дон}^{рук} = k_{дон} \cdot Z_{осн}^{рук} = 0,12 \cdot 25476 = 3057,1 \text{ руб.},$$

$$Z_{дон}^u = k_{дон} \cdot Z_{осн}^u = 0,12 \cdot 79290 = 9515 \text{ руб.},$$

Расчет отчислений во внебюджетные фонды

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 [23].

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы [23]:

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

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 сотрудников:

$$Z_{внеб}^{рук} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн}^{рук} + Z_{доп}^{рук}) = 0,302 \cdot (25476 + 3057,1) = 8617 \text{ руб.},$$

$$Z_{внеб}^u = k_{внеб} \cdot (Z_{осн}^u + Z_{доп}^u) = 0,302 \cdot (79290 + 9515) = 26819 \text{ руб.}$$

$$Z_{доп} = Z_{осн} \cdot k_{доп} = 104766 \cdot 0,1 = 10476,6 \text{ руб.},$$

где $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

Фонд заработной платы составляет:

$$Z_{з.п.} = Z_{доп} + Z_{осн} = 104766 + 10476,6 = 115242,6 \text{ руб.}$$

$$Z_{с.о} = k_{внеб} \cdot Z_{з.п.} = 0,3 \cdot 115242,6 = 34572,8 \text{ руб.}$$

Где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.) [17].

Статья расходов на электроэнергию включает в себя затраты на электроэнергию при работе оборудования а также затраты на электроэнергию, потраченную на освещение.

Затраты на электроэнергию при работе оборудования для технологических целей $\mathcal{E}_{об}$ [23]:

$$\mathcal{E}_{об} = P_{об} \cdot Ц_z \cdot t_{об},$$

Где $P_{об}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт; $Ц_z$ – тарифная цена за 1 кВт*час, принимаем 1,89 руб/кВт*час, $t_{об}$ – время работы оборудования, час.

Время работы оборудования вычисляется ($T_{рд}$) для студента из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов:

$$t_{об} = T_{рд} \cdot 8 = 393 \cdot 8 = 3144 \text{ ч}$$

Мощность, потребляемая оборудованием $P_{об}$ принимаем равную мощности ноутбука $P_{об} = 0,09$ кВт.

Затраты на электроэнергию при работе оборудования:

$$\mathcal{E}_{об} = 0,09 \cdot 1,89 \cdot 3144 = 534,8 \text{ руб.}$$

Затраты на электроэнергию для освещения помещения, где осуществляется проект $\mathcal{E}_{ос}$:

$$\mathcal{E}_{ос} = P_{ос} \cdot \zeta_{э} \cdot t_{ос}$$

Где $P_{ос}$ – мощность, потребляемая осветительными приборами, кВт, $t_{ос}$ – время работы осветительных приборов, час.

Мощность, потребляемая освещением $P_{ос}$:

$$P_{ос} = P_{уст.ос} \cdot K_c = 0,48 \cdot 0,9 = 0,432 \text{ кВт,}$$

Где $P_{уст.ос}$ – установленная мощность осв. Приборов, принимаем 0,48 кВт, $K_c = 0,9$ – коэффициент спроса для внутреннего освещения.

Время работы освещения $t_{ос}$:

$$t_{ос} = T_{рд} \cdot t_{сут} = 393 \cdot 5 = 1965 \text{ ч}$$

где $t_{сут}$ – длительность работы освещения за смену, ч.

$$\mathcal{E}_{ос} = 0,432 \cdot 1,89 \cdot 1965 = 1604,4 \text{ руб.}$$

Общие затраты на электроэнергию:

$$\mathcal{E}_{эл} = \mathcal{E}_{об} + \mathcal{E}_{ос} = 534,8 + 1604,4 = 2139,2 \text{ руб.}$$

Прочие расходы составляют 16% от единовременных затрат на выполнение технического продукта и определяются по формуле:

$$C_{проч.} = (C_{мат.} + C_{осн.} + C_{соц.} + \mathcal{E} + C_{ам.}) \cdot 0,17 = (100500 + 152774,1 + 2139,2 + 8899) \cdot 0,19$$

$$C_{\text{проч.}}=45667,8 \text{ руб.}$$

Общая себестоимость НИР представлена в табл. 19 путем сведения рассчитанных статей затрат в смету.

Таблица 19 – Смета затрат на НИР

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат.}}$	100500
Фонд оплаты труда	$C_{\text{осн.}}$	117338
Отчисления из ФОТ	$C_{\text{соц.}}$	35436
Расходы на электроэнергию	Э	2139,2
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам.}}$	8899
Прочие расходы	$C_{\text{проч.}}$	45 667,8
Итого:		309980

Таким образом основные затраты на реализацию проекта составили

$$Z_0=309980 \text{руб.}$$

Для экономической оценки проекта необходимо провести расчет основных показателей работ. К основным показателям работ относятся: продолжительность и объем работ, численность персонала, производительность и средняя заработная плата на 1 работника, себестоимость, прибыль и рентабельность.

Сводный сметный расчет представляет собой сумму основных и накладных расходов, компенсационных затрат с учетом сметной прибыли.

Сметная стоимость (С) определяется по формуле:

$$C=Z_0+Z_n+P_c+K_3$$

Где Z_0 – сумма основных расходов, Z_n – накладные расходы, P_c – сметная

прибыль, Кз – компенсационные затраты, принимаем 0.

Накладные расходы принимаются в размере 20% от основных расходов:

$$З_n = 0,2 \cdot З_o = 0,2 \cdot 309980 = 61995,8 \text{ руб.}$$

Плановые накопления ($П_n$) представляют собой сметную прибыль ($П_c$) и определяются умножением утвержденного норматива прибыли в процентах к сумме основных и накладных расходов по формуле:

$$П_n = (З_n + З_o) \cdot N_{пн} = (61995,8 + 309980) \cdot 0,14 = 52076,6 \text{ руб.},$$

Где $N_{пн}$ – норматив плановых накоплений, %.

Тогда сметная стоимость составит:

$$C = 309980 + 61995,8 + 52076,6 = 424051,6 \text{ руб.}$$

Объем работ (Q) в денежном выражении представляет собой сметную стоимость работ (C). Производительность труда одного работника находится по формуле:

$$П_m = \frac{Q}{Ч} = \frac{424051,6}{2} = 212025,8 \text{ руб.}$$

Где Q – объем работ, руб., $Ч$ – численность работников, человек.

Рентабельность проекта определяется по формуле:

$$P = \frac{П}{C_p} = 0,14$$

Где $П$ – прибыль (прибыль от тематических работ, тоже, что и плановые накопления), C_p – себестоимость работ, которая находится по формуле:

$$C_p = 61995,8 + 309980 = 371975,8$$

4.3 Оценка научно-технической результативности НИР

Одним из главных показателей качества результатов научной деятельности является показатель научно-технического уровня (НТУ), как обобщающая характеристика перспективности и прогрессивности научно-

технических решений, заложенных в разработку, по сравнению с уже существующими и ранее созданными, которые относятся к одной научной отрасли.

В отечественной практике разработана методика количественно-качественной оценки НТУ результатов с целью повышения уровня объективности оценки НТУ, с использованием таблиц-матриц и шкал, построенных на основе содержательных нормативных критериев, отражающих степень воздействия определенных показателей на уровень научной значимости результата. Комплекс нормативных критериев-показателей включает: уровень новизны научного результата; степень и широту воздействия результатов НИР на науку.

В [27] результат научной деятельности определяется как степень достижения научного, научно-технического, экономического и социального эффектов, которые характеризуются следующим образом:

- *научный эффект*, как прирост информации, предназначенной для "внутри научного" потребления
- *научно-технический эффект*, как возможность использования результатов научных исследований в других НИОКР и получения информации, необходимой для создания новой продукции;
- *экономический эффект*, как величина прибыли за счёт использования результатов научной деятельности;
- *социальный эффект*, как степень влияния результатов научной деятельности на различные сферы деятельности современного общества.

Для фундаментальных НИР рассчитывается интегральный коэффициент научной результативности, а для поисковых работ — коэффициент научно-технической результативности. Оценка научно-технической результативности прикладных НИР производится на основе сопоставления технических параметров, достигнутых в результате выполнения НИР, с соответствующими базовыми значениями [27].

Таблица 20 – Характеристики факторов и признаков научной результативности НИР [27]

Фактор научной результативности	Коэф. значимости фактора	Качество фактора	Характеристика фактора	Коэф. достигнутого уровня
Новизна полученных результатов	0,5	Высокая	Некоторые общие закономерности, методы, способы, позволяющие создать принципиально новое программное обеспечение МИС	0,7
Глубина научной проработки	0,35	Средняя	Невысокая сложность расчетов, невозможность проведения эксперимента	0,6
Степень вероятности успеха	0,15	Большая		1

Таблица 21 – Характеристики факторов и признаков научно-технической результативности НИР [27]

Фактор научной результативности	Коэф. значимости фактора	Качество фактора	Характеристика фактора	Коэф. достигнутого уровня
Перспективность использования результатов	0,5	Важная	Результаты будут использованы при разработке новых программных комплексов обеспечения МИС	0,8

Продолжение табл. 21

Масштаб реализации результатов	0,3	Отрасль	Время реализации: до 3 лет	0,7
Завершенность результатов	0,2	Средняя	Рекомендации, развернутый анализ, предложения	0,6

В этом случае коэффициент научно-технической результативности [27]:

$$K_{нр(нтр)} = \sum_{i=1}^n K_{вл} * K_{п}$$

Где $K_{вл}$ – коэффициент влияние i -го параметра на научно-техническую результативность, $K_{п}$ – коэффициент относительного повышения i -го параметра по сравнению с базовым значением.

Результаты расчёта коэффициента научно-технической результативности представлены в виде таблицы.

Таблица 22 – Оценка научно-технической результативности НИР

Параметр	$K_{влі}$	$K_{пі}$	$K_{влі} \cdot K_{пі}$
Коэффициент научной результативности			
Новизна полученных результатов	0,5	0,7	0,35
Глубина научной проработки	0,35	0,6	0,21
Степень вероятности успеха	0,15	1	0,15
Коэффициент научно-технической результативности			
Перспективность использования результатов			0,4
	0,5	0,8	
Масштаб реализации результатов	0,3	0,7	0,21

Завершенность результатов	0,2	0,6	0,12
---------------------------	-----	-----	------

Коэффициент научной результативности:

$$K_{\text{нр}} = 0,35 + 0,21 + 0,15 = 0,71.$$

Коэффициент научно-технической результативности:

$$K_{\text{нтр}} = 0,4 + 0,21 + 0,12 = 0,73.$$

Выводы по разделу 4

В данной главе был произведен расчет продолжительности этапов работы, определена трудоемкость работ каждого из участников и построен линейный график работ. По данному графику можно судить о времени, затраченном на каждый из этапов проекта, вкладе каждого из участников и максимальном по длительности исполнении работ в рамках научно-исследовательского проекта. В целях экономической оценки проекта составлен сводный сметный расчет, который представляет собой сумму основных и накладных расходов с учетом сметной прибыли. Согласно сметы затрат расходы на НИР составляют 847862,77 руб. Рентабельность проекта составила 14%. Технико-экономическое обоснование НИР свидетельствует о том, что в случае внедрения программного комплекса происходит снижение времени и стоимости на получение объективной информации о степени повреждения кожного покрова в условиях ЧС типичного представителя населения. Эффект от экономии времени за счет оперативного получения объективной информации, снижения степени риска принятия неверных решений приводит к определенной экономии на численности лиц, задействованных в спасательных операциях при ЧС, следственно должен привести к экономии затрат на оплату труда служащих.

Задание для раздела «Социальная ответственность»

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ14	Васюк Николай Викторович

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»: Математическое моделирование тепломассопереноса в поверхностных слоях кожи при воздействии нагретых до высоких температур частиц с учётом включений и испарения клеточной влаги

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

Объект исследования: математическое моделирование влияния лесного пожара на поверхностные слои кожи с учётом структурной неоднородности и испарения клеточной влаги.

Область применения: прогнозирование лесных пожаров на кожный покров человека.

Разработка математического моделирования производится в лабораторной аудитории в учебном заведении.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность:

1.1. Анализ выявленных вредных факторов и опасных факторов

- Природа воздействия
- Действие на организм человека
- Нормы воздействия и нормативные документы (для вредных факторов)

СЗ коллективные и индивидуальные

1.2. Анализ выявленных опасных факторов

- Термические источники опасности
- Электроопасность
- Пожароопасности

1. Вредные факторы:
1.1 Нарушения микроклимата, оптимальные и допустимые параметры;
1.2 Шум, ПДУ, СКЗ, СИЗ;
1.3 Повышенный уровень электромагнитного излучения, ПДУ, СКЗ, СИЗ;
1.4 Недостаточная освещенность.

Проведен расчет освещения рабочего места;

2. Опасные факторы:

2.1 Электроопасность; класс электроопасности помещения, безопасные номиналы I, U, R_{заземления}, СКЗ, СИЗ;

2.2 Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и

	ограничение применения; Приведена схема эвакуации.
2. Экологическая безопасность: <ul style="list-style-type: none"> • Выбросы в окружающую среду • Решения по обеспечению экологической безопасности 	Наличие промышленных отходов (бумага-черновики, перегоревшие люминесцентные лампы, оргтехника) и способы их утилизации;
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: <ol style="list-style-type: none"> 1. Перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; 2. Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; 3. Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	Рассмотрены 2 ситуации ЧС: 1) природная – сильные морозы зимой, (аварии на электро-, тепло-коммуникациях, водоканале, транспорте); 2) техногенная – несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место (возможны проявления вандализма, диверсии), представлены мероприятия по обеспечению устойчивой работы в том и другом случае.
4. Перечень нормативно-технической документации.	ГОСТы, СанПиНы, СНИПы;

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	23.05.2023 г.
--	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ТПУ	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		23.05.2023г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ14	Васюк Николай Викторович		23.05.2023г.

Глава 5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Социальная ответственность - ответственность отдельного ученого и научного сообщества перед обществом. Первостепенное значение при этом имеет безопасность применения технологий, которые создаются на основе достижений науки, предотвращение или минимизация возможных негативных последствий их применения, обеспечение безопасного как для испытуемых, как и для окружающей среды проведения исследований.

В ходе данной работы проводилась разработка математической модели влияния лесного пожара на кожный покров человека при воздействии нагретых до высоких температур частиц. Работа выполнялась в лабораторной аудитории №41 4 корпуса НИТПУ. Все работы выполнялись с использованием компьютера. Раздел также включает в себя оценку условий труда на рабочем месте, анализ вредных и опасных факторов труда, разработку мер защиты от них.

5.1 Производственная безопасность

5.1.1 Отклонение показателей микроклимата в помещении

Проанализируем микроклимат в помещении, где находится рабочее место. Микроклимат производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Эти факторы влияют на организм человека, определяя его самочувствие.

Оптимальные и допустимые значения параметров микроклимата приведены в таблице 23 и 24:

Таблица 23 - Оптимальные нормы микроклимата

Период года	Температура воздуха, С°	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	19-23	40-60	0.1
Теплый	23-25		0.2

Таблица 24 - Допустимые нормы микроклимата

Период года	Температура воздуха, С°		Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
	Нижняя допустимая граница	Верхняя допустимая граница		
Холодный	15	24	20-80	<0.5
Теплый	22	28	20-80	<0.5

Общая площадь рабочего помещения составляет 36м², объем составляет 139м³. По СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 санитарные нормы составляют 6,5 м² и 20 м³ объема на одного человека. Исходя из приведенных выше данных, можно сказать, что количество рабочих мест соответствует размерам помещения по санитарным нормам.

После анализа габаритных размеров рассмотрим микроклимат в этой комнате. В качестве параметров микроклимата рассмотрим температуру, влажность воздуха, скорость ветра.

В помещении осуществляется вынужденная вентиляция, который забирает воздух из помещения, а приток воздуха осуществляется за счет естественной вентиляции, а точнее при помощи окна. Основной недостаток - приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания. Согласно нормам СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 объем воздуха необходимый на одного человека в помещении без дополнительной вентиляции должен быть более 40м³[1]. В нашем случае объем воздуха на одного человека составляет 72 м³, из этого следует, что

дополнительная вентиляция не требуется. Параметры микроклимата поддерживаются в холодное время года за счет систем водяного отопления с нагревом воды до 100°С, а в теплое время года – за счет кондиционирования, согласно с параметрами [2]. Нормируемые параметры микроклимата, ионного состава воздуха, содержания вредных веществ должны соответствовать требованиям [3].

5.1.2 Превышение уровней шума

Одним из наиболее распространенных в производстве вредных факторов является шум. Он создается вентиляционным и рабочим оборудованием, преобразователями напряжения, рабочими лампами дневного света, а также проникает снаружи. Шум вызывает головную боль, усталость, бессонницу или сонливость, ослабляет внимание, память ухудшается, реакция уменьшается.

Основным источником шума в комнате являются компьютерные охлаждающие вентиляторы. Уровень шума варьируется от 35 до 42 дБА. Согласно СанПиН 2.2.2 / 2.4.1340-03, при выполнении основных работ на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 82дБА [4].

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть средства индивидуальной защиты (СИЗ) и средства коллективной защиты (СКЗ) от шума.

Средства коллективной защиты:

1. устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;
2. изоляция источников шума от окружающей среды;
3. применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения;

Средства индивидуальной защиты;

1. применение спецодежды и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

5.1.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений

Источником электромагнитных излучений в нашем случае являются дисплеи ПЭВМ. Монитор компьютера включает в себя излучения рентгеновской, ультрафиолетовой и инфракрасной области, а также широкий диапазон электромагнитных волн других частот. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50 см вокруг ВДТ не должна превышать 25В/м в диапазоне от 5Гц до 2кГц, 2,5В/м в диапазоне от 2 до 400кГц [1]. Плотность магнитного потока не должна превышать в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц 250нТл, и 25нТл в диапазоне от 2 до 400кГц. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500В [1].

При длительном постоянном воздействии электромагнитного поля (ЭМП) радиочастотного диапазона при работе на ПЭВМ у человеческого организма возникают сердечно-сосудистые, респираторные и нервные расстройства, головные боли, усталость, ухудшение состояния здоровья, гипотония. Тепловой эффект ЭМП характеризуется увеличением температуры тела, локальным селективным нагревом тканей, органов, клеток за счет перехода ЭМП на теплую энергию.

Предельно допустимые уровни (ПДУ) облучения (по ОСТ 54 30013-83):

а) до 10 мкВт/см² , время работы (8 часов);

б) от 10 до 100 мкВт/см² , время работы не более 2 часов;

в) от 100 до 1000 мкВт/см² , время работы не более 20 мин. при условии пользования защитными очками;

г) для населения в целом ППМ не должен превышать 1 мкВт/см².

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

СКЗ

1. защита временем;

2. защита расстоянием;

3. снижение интенсивности излучения непосредственно в самом источнике излучения;

4. заземление экрана вокруг источника;

5. защита рабочего места от излучения;

СИЗ

1. Очки и специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани (кольчуга). При этом следует отметить, что использование СИЗ возможно при кратковременных работах и является мерой аварийного характера. Ежедневная защита обслуживающего персонала должна обеспечиваться другими средствами.

2. Вместо обычных стекол используют стекла, покрытые тонким слоем золота или диоксида олова (SnO_2).

5.1.4 Наличие токсикантов, (запыленность, загазованность), ПДК, класс опасности, СКЗ, СИЗ;

Нормативы распространяются на рабочие места, независимо от их расположения (в производственных помещениях, в горных выработках, на открытых площадках, транспортных средствах и т.п.).

Нормативы используются при проектировании производственных зданий, технологических процессов, оборудования и вентиляции, для обеспечения производственного контроля за качеством производственной среды и профилактики неблагоприятного воздействия на здоровье работающих вредных химических веществ.

Нормативы установлены на основании комплексных токсиколого-гигиенических и эпидемиологических исследований с учетом международного опыта.

По степени опасности продукты сгорания делятся на [4]:

- 1) Чрезвычайно опасные (Бензапирен);
- 2) Высокоопасные (NO_2 , H_2S , летучая зола при содержании $\text{CaO} > 35\%$);
- 3) Умеренно опасные (NO , SO_2 , SO_3 , летучая зола при содержании $\text{CaO} < 35\%$);

- 4) Малоопасные вещества (CO);
- 5) Безопасные вещества (N₂, O₂, CO₂, H₂O).

Процесс горения любого вещества сопровождается не только выбросом в атмосферу раскаленных продуктов сгорания и тепловым излучением, но и потреблением значительных объемов воздуха. При 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%.

5.1.5 Недостаточная освещенность.

Для обеспечения требуемой освещенности необходимо использовать совмещенное освещение, создаваемое сочетанием естественного и искусственного освещения. При данном этапе развития осветительной техники целесообразно использовать люминесцентные лампы, которые по сравнению с лампами накаливания имеют большую светоотдачу на ватт потребляемой мощности и более естественный спектр.

Минимальный уровень средней освещенности на рабочих местах с постоянным пребыванием людей должен быть не менее 200 лк.

В расчётном задании должны быть решены следующие вопросы:

- Выбор системы освещения;
- Выбор источников света;
- Выбор светильников и их размещение;
- Выбор нормируемой освещённости;
- Расчёт освещения методом светового потока.

В данном расчётном задании для всех помещений рассчитывается общее равномерное освещение.

Таблица 25 Параметры помещения

Параметр	Обозначение	Значение, м
Длина	A	6
Ширина	B	6
Высота помещения	H	4

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен.

Световой поток лампы определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{рас}} = E_{\text{н}} * S * K_3 * Z/N * \eta$$

Где $E_{\text{н}}$ – нормируемая минимальная освещённость по СНиП 23-05-95, лк; S – площадь освещаемого помещения, м^2 ; K_3 – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т. е. отражающих поверхностей), наличие в атмосфере цеха дыма, пыли (табл. 4.9); Z – коэффициент неравномерности освещения, отношение $E_{\text{ср}}/E_{\text{min}}$. Для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1; N – число ламп в помещении; η – коэффициент использования светового потока.

Коэффициент использования светового потока показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность. Он зависит от индекса помещения i , типа светильника, высоты светильников над рабочей поверхностью h и коэффициентов отражения стен ρ_c и потолка ρ_n .

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = S/h(A+B)$$

Проведем расчет индекса помещения:

Площадь помещения:

$$S = A * B = 6 * 6 = 36\text{м}^2$$

Индекс:

$$i = \frac{S}{h * (A + B)} = \frac{36}{2,8 * (6 + 6)} = 1,1$$

Согласно этим данным коэффициент использования светового потока будет равен 46 %.

Коэффициенты отражения оцениваются субъективно (табл.4.10) [БЖД Практикум 2009-2020].

Согласно указанной методике выбираем тип источника света.

Наиболее подходящим вариантом является 40 ваттная лампа ЛБ, у которой $\Phi=2800$ лм. Для выбранного типа лампы подходит светильник ОД-2-40 с размерами: длина = 1230 мм, ширина = 266 мм.

Из уравнения 1.5.1 находим количество ламп для помещения

$$N = E_H * S * K_3 * Z / \Phi * \eta = 200 * 36 * 1,3 * 1,1 / 2800 * 0,46 = 8;$$

Принимаем $N=8$ лампы или 4 светильника.

Размещаем светильники в 2 ряда по 2 светильника в ряду с соблюдением условий:

L – расстояние между соседними светильниками или рядами

l – расстояние от крайних светильников или рядов до стены.

Оптимальное расстояние l от крайнего ряда светильников до стены рекомендуется принимать равным $L/3$.

Сначала определим световой поток расчетный.

$$\Phi = E_H * S * K_3 * Z * \eta = 200 * 36 * 1,3 * 1,1 / 8 * 0,46 = 2798 \text{ лм};$$

Проведем проверку выполнения условия соответствия:

$$- 10\% \leq ((\Phi_{\text{расч}} - \Phi_{\text{станд}}) / \Phi_{\text{расч}}) * 100\% \leq + 20\%$$

Подставляя численные значения получаем:

$$- 10\% \leq (2800 - 2798) / 2798 * 100\% \leq + 20\%$$

$$- 10\% \leq 0,07\% \leq + 20\%$$

Результат расчета укладывается в допустимые пределы.

Определим мощность осветительной установки:

$$P = N \cdot P_i = 8 \cdot 40 \text{ Вт} = 320 \text{ Вт.}$$

Теперь определим расстояния между светильниками по длине и ширине помещения.

$$6000 = LA + 2 \cdot 1230 + 2/3 \cdot LA;$$

$$L = (6000 - 2460) \cdot 3/5 = 2124 \text{ мм};$$

$$LA/3 = 708 \text{ мм};$$

$$6000 = LB + 2 \cdot 266 + 2/3 \cdot LB; LB = (6000 - 522) \cdot 3/5 = 3287 \text{ мм};$$

$$LB/3 = 1096 \text{ мм.}$$

Рисуем схему размещения светильников на потолке для обеспечения общего равномерного освещения.

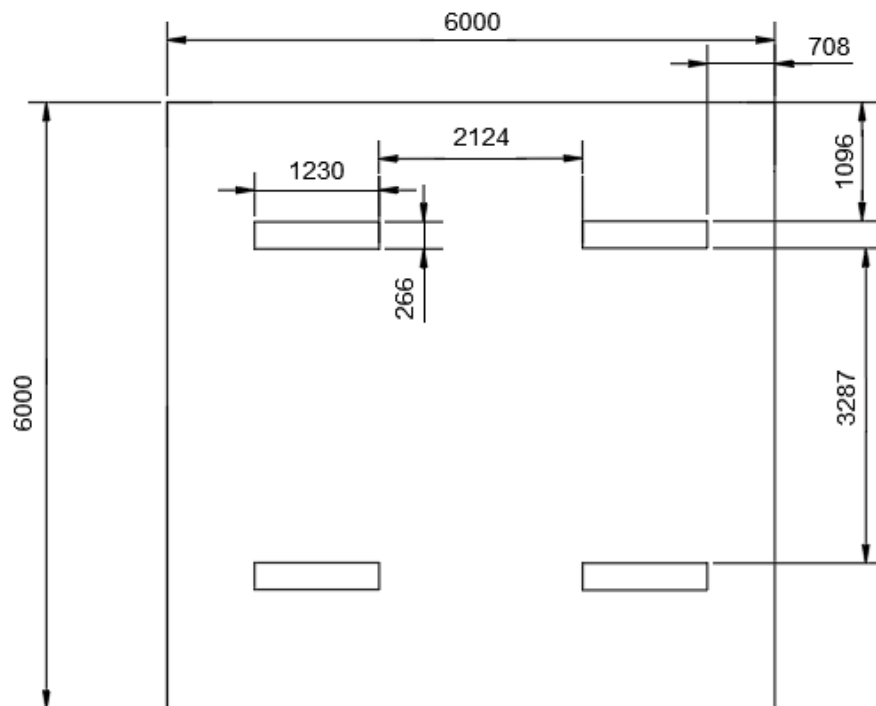


Рис. 26 План размещения светильников на потолке.

5.2 Электроопасность, класс электроопасности помещения, безопасные номиналы I, U, R_{заземления}, СКЗ, СИЗ

Классификация помещений по электробезопасности, содержащих электрическое оборудование, подразделяются на:

Безопасные. Сюда относятся сухие и прохладные места, где присутствует не токопроводящий пол, пыль. К этой группе относятся места с минимальным числом предметов из металла.

Высокоопасные. Это сырые места. Тут в нормальных режимах работы влажность способна существенно повыситься. Связано это с: резким скачком температуры, выделением пара в большом объёме. К этой категории относятся и сухие, чердачные и не обогреваемые места, участки с токопроводящей пылью. Это может быть жаркое место, в котором температура превышает 30 градусов.

Чрезвычайно опасные. К этой группе помещений относятся: очень сырые места, с ядовитыми газами либо парами, охлаждающими жидкостями, а также разрушительными для сопротивления человека материалами. Это может быть то помещение, в котором встречаются два признака: жара и токопроводящий пол, и другие.

5.2.1 Поражение электрическим током

К опасным факторам можно отнести наличие в помещении большого количества аппаратуры, использующей однофазный электрический ток напряжением 220 В и частотой 50Гц. По опасности электропоражения комната относится к помещениям без повышенной опасности, так как отсутствует повышенная влажность, высокая температура, токопроводящая пыль и возможность одновременного прикосновения токоведущих элементов с заземленными металлическими корпусами оборудования [6].

Лаборатория относится к помещению без повышенной опасности поражения электрическим током. Безопасными номиналами являются: $I < 0,1 \text{ А}$; $U < (2-36) \text{ В}$; $R_{\text{зазем}} < 4 \text{ Ом}$.

Для защиты от поражения электрическим током используют СИЗ и СКЗ.

Средства коллективной защиты:

1. — защитное заземление, зануление;
2. — малое напряжение;

3. — электрическое разделение сетей;
4. — защитное отключение;
5. — изоляция токоведущих частей;
6. — оградительные устройства.

7. Использование щитов, барьеров, клеток, ширм, а также заземляющих и шунтирующих штанг, специальных знаков и плакатов.

СИЗ:

1. Использование диэлектрических перчаток, изолирующих клещей и штанг, слесарных инструментов с изолированными рукоятками, указатели величины напряжения, калоши, боты, подставки и коврики.

5.3 Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и ограничение применения; Приведена схема эвакуации

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1-В4, Г и Д.

Согласно НПБ 105-03 лабораторная аудитория относится к категории В–горючие и трудно горючие жидкости, твердые горючие и трудно горючие вещества и материалы, вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых находится, не относятся к категории наиболее опасных А или Б.

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНиП 2.01.02-85 (выполнено из кирпича, которое относится к трудносгораемым материалам).

Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

а) халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) используют для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000В. Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

Для предупреждения пожара и взрыва необходимо предусмотреть:

1. первичные средства пожаротушения на производственных участках (передвижные углекислые огнетушители ГОСТ 9230-77, пенные огнетушители ТУ 22-4720-80, ящики с песком, войлок, кошма или асбестовое полотно);

2. автоматические сигнализаторы (типа СВК-3 М 1) для сигнализации о присутствии в воздухе помещений дымовых газов.

Лаборатория полностью соответствует требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, изображенного на рисунке 2, порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу.



Рисунок 27 – План эвакуации четвертого этажа учебного корпуса № 4 НИТПУ

5.4 Экологическая безопасность

В компьютерах огромное количество компонентов, которые содержат токсичные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды.

К таким веществам относятся:

- свинец (накапливается в организме, поражая почки, нервную систему);
- ртуть (поражает мозг и нервную систему);
- никель и цинк (могут вызывать дерматит);
- щелочи (прожигают слизистые оболочки и кожу);

Поэтому компьютер требует специальных комплексных методов утилизации.

Таким образом утилизацию компьютера можно провести следующим образом:

- отделить металлические детали от неметаллов;
- разделить углеродистые металлы от цветмета;

- пластмассовые изделия (крупногабаритные) измельчить для уменьшения объема;

- копир-порошок упаковать в отдельную упаковку, точно также, как и все проклассифицированные и измельченные компоненты оргтехники, и после накопления на складе транспортных количеств отправить предприятиям и фирмам, специализирующимся по переработке отдельных видов материалов.

Люминесцентные лампы утилизируют следующим образом. Не работающие лампы немедленно после удаления из светильника должны быть упакованы в картонную коробку, бумагу или тонкий мягкий картон, предохраняющий лампы от взаимного соприкосновения и случайного механического повреждения. После накопления ламп объемом в 1 транспортную единицу их сдают на переработку на соответствующее предприятие. Недопустимо выбрасывать отработанные энергосберегающие лампы вместе с обычным мусором, превращая его в ртутьсодержащие отходы, которые загрязняют ртутными парами.

Черновики, в которых содержится важная информация (результаты экспериментов, неопубликованные статьи и т.п.), должны быть утилизированы при помощи специальных shredders для бумаги.

5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Природная чрезвычайная ситуация – обстановка на определенной территории или акватории, сложившейся в результате возникновения источника природной чрезвычайной ситуации, который может повлечь или повлек за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей и (или) окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приводит к авариям систем тепло- и водоснабжения, сантехнических коммуникаций и электроснабжения, приостановке работы. В этом случае при подготовке к зиме следует предусмотреть а) газобаллонные калориферы (запасные обогреватели), б) дизель или бензоэлектростанции; в) запасы питьевой и технической воды на складе (не менее 30 л на 1 человека); г) теплый транспорт для доставки работников на работу и с работы домой в случае отказа муниципального транспорта. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась.

В лабораторной аудитории №41 4 корпуса НИТПУ наиболее вероятно возникновение чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера.

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

Заключение

В результате проведенных работ сформулированы расчетные формулы для решения задачи о теплопереносе в структуре кожного покрова при воздействии нагретых до высоких температур частиц с учётом включений и испарения клеточной влаги.

Проведено численное моделирование процесса теплопереноса в условиях воздействия теплового потока от фронта лесного пожара при различной интенсивности и воздействия поражающего фактора лесного пожара (испарения клеточной влаги от фронта лесного пожара).

Благодаря полученному расчету температурного поля в кожном покрове при различной интенсивности и времени воздействия теплового потока от фронта пожара определен критерий теплового поражения человека (болевого порог), по данному критерию можно судить о степени воздействия поражающих факторов лесного пожара.

Полученные результаты могут найти применение при разработке нового поколения медицинских информационных систем, которые в перспективе должны использоваться в структурах МЧС, медицинских учреждениях и штабах ГО и ЧС при промышленных и административных объектов.

Список использованных источников

1. Повторный инструктаж по охране труда: периодичность проведения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ecostandardgroup.ru/journal/povtornoyu-instruk>
2. База инструкций по охране труда [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://xn-----7cdbxfuat6afkbmmhefunjo4bs9u.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.

Перечень НТД

1. ГОСТ 54 30013-83 Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности
2. ГОСТ 12.4.154-85 “ССБТ. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты”
3. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны
4. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 "Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)".
5. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
6. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
7. ГОСТ 12.4.123-83. Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования.
8. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
9. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
10. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности
11. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха
12. ГОСТ 30775-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов.

13. СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы.

14. ГОСТ 12.4.154. Система стандартов безопасности труда. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования, основные параметры и размеры.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Mathematical modeling of heat and mass transfer in the surface layers of the skin under the influence of particles heated to high temperatures, taking into account its structural heterogeneity and evaporation of cellular moisture

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ14	Васюк Николай Викторович		

Консультант кафедры:

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

Консультант – лингвист кафедры ИЯЭИ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ИЯЭИ	Воробьева Виктория Владимировна	к.ф.н.		

INTRODUCTION

This work is devoted to the most important studies of the processes of thermal effects of forest fires on the surface layer of the skin. The last few decades have been characterized by a large increase in the frequency of forest fires throughout the country. Most of these fires are ground fires. An analysis of various studies in this area was carried out. The general characteristics of forest fires and their main types are considered. The aim of the study is to develop a mathematical model of heat and mass transfer in the surface layers of the skin under the influence of particles heated to high temperatures. Instrumental, computational and computational-instrumental methods for solving the problem of assessing the thermal impact on the human cover are considered. As the main method, it is proposed to use the approach of mathematical modeling to study the problem under study. The finite difference method was used to solve the given systems of equations. The results can be used in the development of new systems for predicting forest fires and their impact on human skin.

Recently, the problem of forest fires has become acute. These consequences are pollution of the environment by products of combustion of forests, an increase in morbidity and mortality of the population. In turn, this leads to major environmental and economic problems. The greatest attention was paid to counteracting burn injuries received during combustion. Heat transfer by radiation is a central topic of various studies. But radiation is only one of the heat transfer mechanisms. Particles heated to high temperatures are a serious hazard if they come into contact with the skin. To assess the consequences of exposure to thermal radiation, both domestic and foreign methods are used, representing quantitative relationships between mathematical and thermodynamic criteria for thermal damage. This project opens up prospects for creating new systems for predicting forest fires and their impact on human skin.

CURRENT STATE OF RESEARCH

Forest fires are uncontrolled natural disasters that lead to significant economic and environmental disasters that destroy the ecosystem, degrade the ecological situation, and lead to significant injury and death of animals, plants and people. The main driving force of the fire is the wind, dry vegetation, thanks to which the fire is able to spread over a larger area in a short period of time. When extinguishing fires, it is necessary to take into account the characteristics of different forest fires, since each behaves differently. Flames, sparks, high ambient temperature - all these are factors that pose a danger in a forest fire.

There are several criteria for fires, the characteristics of which depend on the area of fire, the type of forest fire, as well as the special equipment used in extinguishing.

Table 26 Types of forest fires

Grassroots	There is an ignition of the forest litter, the fire spreads only in the subsoil layer at different speeds. Occurs only during severe drought. It causes severe damage to the root system of trees.
Upstream	Very dangerous in dense forest areas, as it rises up, capturing the crowns of trees. High ignition speed (5 km/h). The driving force is the wind. The spread of fire occurs simultaneously with the burning of the forest floor.
Underground or peat	They occur in the peat layer at a depth of more than 50 cm. Accompanied by acrid smoke. The outer covering is often undamaged, but there may be a smoldering pit underneath. Any living

	organism that falls into it dies.
--	-----------------------------------

The most dangerous type of forest fire is the crown fire, since when such fires appear, more than 70% of the territory burns out. The most common in our country is dominated by ground fire.

The causes of the fire are not only weather conditions and increased drought, but also due to a lack of knowledge of standard rules and human negligence.

Forest fires have a direct impact on humans and the environment, the negative impact of fires affects the economic and ecological state of the region.

The structure of the human skin

Thermal radiation is the main way of transferring heat from a hotter body to a cooler one. The degree of damage to the skin cover depends on the amount of thermal energy and the intensity of thermal radiation.

The skin forms the outer covering of the body and is the largest organ in the human body. Therefore, the structure, properties, as well as the functions that the skin performs should be taken into account. The functions of the skin are varied. It protects the body from damage, microorganisms, participates in metabolism, in water-salt metabolism, water, salts, lactic acid and products of nitrogen metabolism are released through it, in heat exchange.

It consists of: epidermis, dermis and subcutaneous fat (hypoderm).

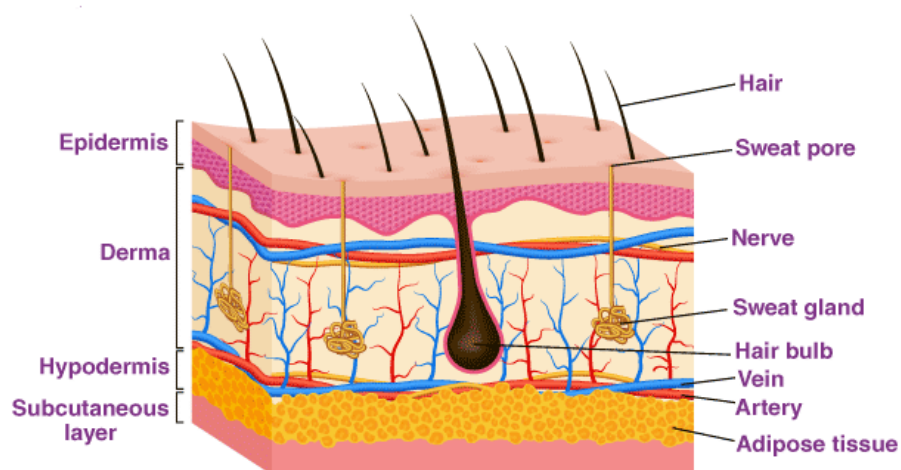


Fig. 28– Structure of human skin

In turn, the epidermis layer is a surface layer consisting of dead cells that act as a defense. The sweat glands pass through this layer. Each part of the body has a different layer of the epidermis. It all depends on the frequency of skin contact with other bodies and the degree of protection of individual parts of the body. Distinguish between thick and thin skin. Thick skin directly covers the palms and soles, while thin skin covers the rest of the body.

Table 27 Layers of cells in skin areas

	Layers of cells in areas of the body
Thick skin layer (2-2.5 mm)	<ul style="list-style-type: none"> • Basal - the lowest layer of the skin, has the ability to divide. Binds the upper and lower layers of the skin; • Prickly: increased cell activity. There are deep outgrowths (thorns) penetrating into adjacent cells and attaching 2 adjacent layers [17]; • Grainy: lamellar structures are formed, preventing the penetration of water into the underlying layers; • Brilliant: well developed on palms and soles;
Thin layer of skin (0.01-0.05 mm)	<ul style="list-style-type: none"> • Basal; • Prickly; • Grainy.

The main part of the skin is the dermis. Its thickness is much greater, it contains hair roots, blood vessels, sebaceous glands, varies from 0.5 to 5 mm. It mainly consists of connective tissue, most pronounced on the back, shoulders. The dermis is divided into 2 layers that are not interconnected by a clear boundary - the papillary and reticular layers. The papillary layer is associated with the epidermis, contains a large number of different fibers that give the skin elasticity and strength.

Contains blood vessels, capillaries. Due to the presence of immunocompetent cells, the layer performs a protective function of the immune system.

Numerical methods for predicting thermal damage to the skin

The study of complex processes of interaction of high-intensity heat fluxes with open and protected by clothing areas of the skin is possible using modeling methods and system analysis.

The key elements of the system in predicting thermal lesions are "heat source - skin". The heat source generally represents the boundary conditions for the heat exchange of the skin surface with the environment. For open areas of the skin in natural and man-made accidents, this is the dominant effect of thermal study, for closed areas - a combination of various heating mechanisms: thermal conductivity, convection, radiation. Thus, the computational and experimental substantiation of new approaches in predicting the danger of high-intensity heating is an important socio-economic problem.

- Instrumental method

A large amount of information related to the study of the impact of particles heated to high temperatures served as the basis for the creation of the main instrumental method for assessing the heat-shielding properties of an object. The main advantages of this method are the simplicity of hardware design, the conclusion of the final results, as well as the reproduction of various methods of heating the skin. It has been widely used both in domestic and foreign sources.

- Calculation method

The main criteria for predicting superficial and deep lesions is the relationship between medical and thermodynamic parameters. The probit function is a model in which the distribution of the standard normal distribution occurs. It allows you to identify the framework for random doses of skin lesions. There are several models of probit functions, depending on the degree of damage.

In case of thermal damage to the cover, there is no boundary for dividing the space around the emergency source of fire. The prediction of total losses used

with the main regulatory documents does not provide complete information about the degree of damage. It is necessary to calculate a sufficient number of zones to ensure a given accuracy of burn occurrence.

- Calculation-experimental method

Further research methodology is based on the study of the obtained real and instrumental data in a computer program. It allows the data to be used to predict burns of any degree. The results obtained are used to modify the probit functions.

Algorithm for solving the problem of heat conduction

To study the effect of a forest fire on the human skin, this work uses mathematical modeling. It is based on a partial description of objects in mathematical language.

The finite difference method (FDM) is often used to solve partial differential equations. In MCS, derivatives are replaced by their finite-difference approximations. As a result of the replacement, we get a system of linear algebraic equations for determining the temperature. The use of boundary conditions makes it possible to transform an open system into a closed one.

Table 28 Parts of mathematical modeling

Parts of modeling	Description
1. Development of a mathematical model	Identification of the main properties and features of the object, the construction of a mathematical model.
2. Solution of the problem	Development of numerical methods of solution.
3. Description of results	Presentation of the results of mathematical modeling.
4. Model simplification (modification)	There is a simplification or complication of the resulting model.

In this study, the objects of study are the human skin, which is affected by the radiation flux of a forest fire. Non-stationary heat transfer by thermal

conductivity is described by an equation written in a Cartesian coordinate system:

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

Let us consider an example of using FDM based on the one-dimensional heat equation. Heat transfer occurs through a flat plate. At the two ends of the plate, the temperature is different from each other. The initial temperature is T_0 , there is no heat source inside the plate.

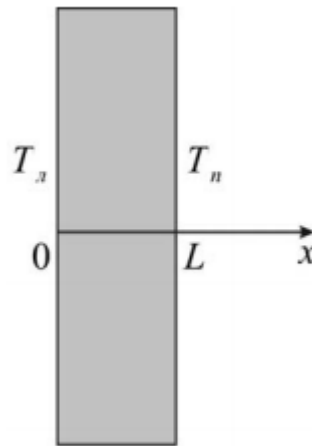


Fig. 29 – Geometry of the heat conduction problem

Temperature changes occur only in directions perpendicular to the plate layer. With the obtained direction of the coordinate axes, the temperature in the direction of the axis O_x and O_y will be constant. Due to the lack of connection between temperature and thermophysical characteristics, the equation is transformed into the following form:

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

We make a replacement for finite-difference analogues:

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

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

As a result of the replacement, we pass to the difference form of the differential equation:

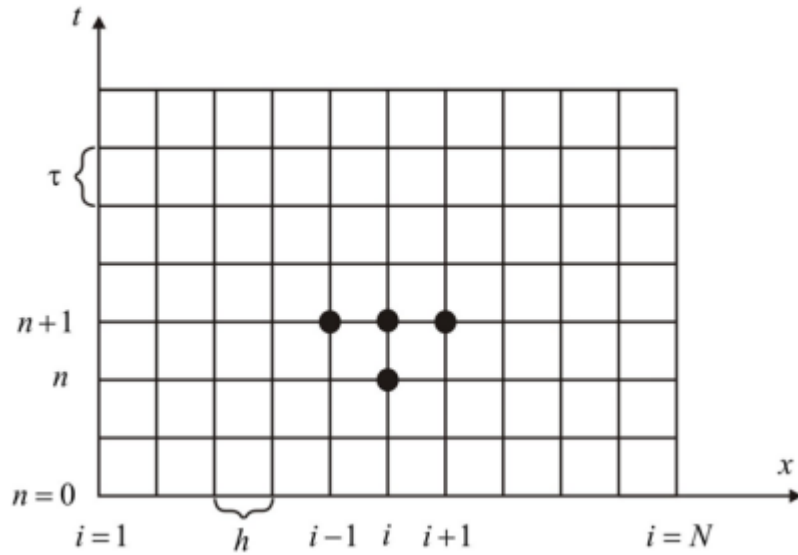


Fig. 30 – Implicit four-point difference scheme

Using this difference scheme, you can determine the temperature at each node. The four-point scheme allows you to use 2 time layers at once.

We reduce the system to a general form and use the sweep method:

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

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

These equations are three-point difference equations of the second order of accuracy. It is necessary to convert them into a two-point equation with 1 order:

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

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

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

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

The forward and backward sweep method is used. To do this, it is necessary to avoid expressions with division by zero, the absence of large errors:

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

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

Consider a differential equation of the form:

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

Initial and boundary conditions:

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

At the upper boundary, we apply boundary conditions of the third kind, since evaporation from the surface of the material is taken into account. It is characterized by heat exchange between the environment and the surface of the material. Set the ambient temperature T_e .

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

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

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

Conclusion

I conclude by saying:

1. The major part of the work will be devoted to experimental study of the thermal conditions of impact of forest fire factors on human skin;
2. The rescue services and departments of the Ministry of Emergencies require the use of medical information systems to support decision-making in emergencies at the operational objects and in the forests;
3. In view of the impossibility of conducting natural experiments, it is important to develop mathematical models and carry out numerical analysis of the processes of heat impact from forest fires on human tissues.