

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



Институт электронного обучения
Направление подготовки (специальность) 20.03.01 Техносферная безопасность
Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Математическое моделирование распространения лесных пожаров в лесах подверженных радиоактивному загрязнению

УДК 630:614.842:577.346:574.001.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1E21	Лазыкин Дмитрий Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов Валерий Афанасьевич	Доктор физико-математических наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Шулинина Юлия Игоревна	-		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов Игорь Иванович	Кандидат технических наук		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭБЖ	Романенко Сергей Владимирович	Доктор химических наук		

Томск – 2017 г.

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Общекультурные и общепрофессиональные компетенции</i>		
P1	Способность понимать и анализировать социальные и экономические проблемы и процессы, применять базовые методы гуманитарных, социальных и экономических наук в различных видах профессиональной и социальной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-5, ОК-11, ОПК-2), Критерий 5 АИОР ¹ (п. 2.12)
P2	Демонстрировать понимание сущности и значения информационных технологий в развитии современного общества и для ведения практической инновационной инженерной деятельности в области техносферной безопасности	Требования ФГОС (ОК-12, ОПК-1), Критерий 5 АИОР (п. 2.5)
P3	Способность эффективно работать самостоятельно, в качестве члена и руководителя интернационального коллектива при решении междисциплинарных инженерных задач с осознанием необходимости интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования	Требования ФГОС (ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-8, ОК-9, ОК-10, ОК-11, ОК-14, ОПК-1, ОПК-3, ОПК-5, ПК-8). Критерий 5 АИОР (п. 2.9, 2.12, 2.14)
P4	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке.	Требования ФГОС (ОК-13, ОПК-4), Критерий 5 АИОР (п. 2.11)
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P5	Способность применять основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования с целью выбора и оптимизации устройств, систем и методов защиты человека и природной среды от опасностей.	Требования ФГОС (ОК-7, ОК-11, ОК-15, ОПК-1, ПК-5), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.4, 2.6, 2.7, 2.8)
P6	Уметь выбирать, применять, оптимизировать и обслуживать современные системы обеспечения техносферной безопасности на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях, в том числе при реализации инновационных междисциплинарных проектов	Требования ФГОС (ОК-15, ОПК-5, ПК-5, ПК-6, ПК-7). Критерий 5 АИОР (п. 2.2, 2.4, 2.4, 2.6, 2.7, 2.8)
P7	Уметь организовать деятельность по обеспечению техносферной безопасности на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях, в том числе при реализации инновационных междисциплинарных проектов	Требования ФГОС (ПК-9, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ОПК-3, 4, 5). Критерий 5 АИОР (п. 2.6, 2.12)

¹ Критерии АИОР (Ассоциации инженерного образования России) согласованы с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

P8	Уметь оценивать механизм, характер и риск воздействия техносферных опасностей на человека и природную среду	Требования ФГОС (ПК-12, ПК-16, ПК-17). Критерий 5 АИОР (п. 2.2–2.8)
P9	Применять методы и средства мониторинга техносферных опасностей с составлением прогноза возможного развития ситуации	Требования ФГОС (ПК-12, ПК-14, ПК-15, ПК-17, ПК-18). Критерий 5 АИОР (п. 2.2–2.8)

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



Институт электронного обучения
 Направление подготовки (специальность) 20.03.01 Техносферная безопасность
 Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой
 _____ Романенко С.В.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-1E21	Лазыкину Дмитрию Александровичу

Тема работы:

Математическое моделирование распространения лесных пожаров в лесах подверженных радиоактивному загрязнению	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	676/с от 06.02.2017

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объектом исследования являются лесные пожары, распространяющиеся в лесах подверженных радиоактивному загрязнению. Предмет исследования – математические модели лесных пожаров, описывающие данные процессы.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Обзор литературы по разделам: Лесные пожары, их типы и классификация, влияние пожаров на население близлежащих городов, пожары на территории загрязненной радионуклидами, лесная и радиационная пирология, способы описания контуров пожара, физическая и математическая постановка задачи. Главной задачей работы является получение модели распространения радионуклидов в лесных пожарах на определённой местности. В результате работы должно быть дано представление: • о влиянии скорости ветра на распространения радионуклидов в лесном пожаре;

	о мощности дозы облучения в конкретной точке местности в зависимости от расстояния до места пожара;
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	ассистент, Шулинина Юлия Игоревна
Социальная ответственность	кандидат технических наук, старший преподаватель, Романцов Игорь Иванович
Иностранный язык	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов Валерий Афанасьевич	Доктор физико-математических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-1Е21	Лазыкин Дмитрий Александрович		

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



Институт электронного обучения

Направление подготовки (специальность): 20.03.01 Техносферная безопасность

Уровень образования: Бакалавриат

Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности

Период выполнения (осенний/весенний семестр 2016/2017 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
Выполнения выпускной квалификационной работы
Срок сдачи студентом выполняемой работы:

Дата контроля	Название раздела модуля/ вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15.02.2017	Введение	5
18.02.2017	1. Раздел «Обзор литературы»	10
12.03.2017	2. Раздел «Математические методы, описывающие модель распространения лесных пожаров» 2.1. Общая математическая модель и математическое моделирование лесных пожаров	15
19.03.2017	2.2. Классификация математических моделей распространения лесных пожаров	10
31.03.2017	2.3. Концепция распространения эллиптических волн	10
17.04.2017	2.4. Способы описания контуров пожара	5
14.05.2017	2.5. Физическая и математическая постановка задачи	10
24.05.2017	2.6. Результаты проведенного исследования	10
	3. Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
	4. Раздел «Социальная ответственность»	10
01.06.2017	Заключение	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов Валерий Афанасьевич	Доктор физико- математических наук		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭБЖ	Романенко Сергей Владимирович	Доктор химических наук		

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-1E21	Лазыкину Дмитрию Александровичу

Институт	ИнЭо	Кафедра	ЭБЖ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	20.03.01 Техносферная безопасность

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклад руководителя - 36800 руб. Оклад инженера - 17000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Дополнительной заработной платы 12%; Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 30%.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	- Анализ конкурентных технических решений - SWOT-анализ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; - затраты на специальное оборудование; - заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	- Определение эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценочная карта конкурентных технических решений
2. График Ганта
3. Расчет бюджета затрат НИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Шулинина Юлия Игоревна	—		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1E21	Лазыкин Дмитрий Александрович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-1E21	Лазыкину Дмитрию Александровичу

Институт	ИнЭо	Кафедра	ЭБЖ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	20.03.01 Техносферная безопасность

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Рабочее место расположено на открытом воздухе. Пожар проходит в лесной зоне, где могут иметь место вредные и опасные факторы производственной среды для человека. Оказывается негативное воздействие на окружающую среду (атмосферу, гидросферу, литосферу), и непосредственно на самих пожарных, ликвидаторов ЧС.
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	• ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные факторы». • ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность». • ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». • санитарные правила СанПиН 2.6.1.2523-09 "Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)" • Приказ Минприроды России от 08.07.2014 N 313 (ред. от 16.02.2017) "Об утверждении Правил тушения лесных пожаров" • СП 2.6.1.2612-10 "Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)"

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности	Вредные факторы: • Загазованность воздушной среды; • Радиоактивность среды; • Огнетушащие вещества; • Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе; • Воздействие ионизирующего излучения; • Превышение уровней шума и вибрации;
1.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности	Опасные факторы: • Пламя и искры; • Высокий уровень радиации;

	• Токсические продукты горения и термического разложения; • Радиоактивная пыль; • Повышенная температура окружающей среды; • Пониженная концентрация кислорода; • Механические опасности;
2. Экологическая безопасность	Радиоактивные лесные пожары сопровождаются: • загрязнением и сгоранием атмосферного воздуха; • радиоактивным загрязнением территории • загрязнением поверхностных водных источников и подземных вод; • термическими повреждениями почвенно – растительного покрова . • уничтожением лесных массивов
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	Характерные чрезвычайные ситуации: • 60% случаев – авария на АЭС; • 25% - испытания ядерного оружия; • 8% - поджог травы/леса; • 7% - природные явления;
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	• ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные факторы». • ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность». • ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». • Приказ Минприроды России от 08.07.2014 N 313 (ред. от 16.02.2017) "Об утверждении Правил тушения лесных пожаров" • СП 2.6.1.2612-10 "Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)"
Перечень графического материала:	
<i>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</i>	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов Игорь Иванович	Кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1Е21	Лазыкин Дмитрий Александрович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 96 страниц, 13 рисунков, 13 таблиц, 45 источников.

Ключевые слова: математическое моделирование, лесные пожары, радионуклиды, радиоактивное загрязнение, программа Matlab, распространение радиоактивных веществ.

Объектом исследования являются лесные пожары, распространяющиеся в лесах подверженных радиоактивному загрязнению. Предмет исследования – математические модели лесных пожаров, описывающие данные процессы.

Цель работы – исследование модели распространения радиоактивных веществ в лесном пожаре.

В процессе исследования проводились: моделирование лесного пожара в программе Matlab, моделирование графиков распространения радионуклидов при лесном пожаре, исследование влияния скорости ветра на распространение радиоактивных веществ в лесном пожаре.

В результате работы была разработана математическая модель прогноза распространения повторного радиоактивного загрязнения в результате лесного пожара в лесах, подверженных радиоактивному загрязнению в результате аварийных ситуаций. Дана оценка влияния скорости ветра на распространение радиоактивных веществ в лесном пожаре. Показано, что ветер может оказывать влияние на распространение радионуклидов, что приводит к изменению дальности переноса, их распространения на расстоянии, и скорости осадения на поверхности, а также расчёт концентрации радионуклидов на земле.

Область применения: полученные математическая модель в данной работе может быть использована на практике для определения динамики развития верхового лесного пожара. Определения, как контуров лесных пожаров, так и повторного радиоактивного загрязнения распространяющегося в процессе пожаров в лесах подверженных радиоактивному загрязнению.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные факторы».

ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность».

ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

Приказ Минприроды России от 08.07.2014 N 313 (ред. от 16.02.2017) "Об утверждении Правил тушения лесных пожаров"

СП 2.6.1.2612-10 "Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)"

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Радиоактивно загрязнённая местность (РЗМ) – территория непосредственно подверженная радиоактивному загрязнению.

ЛГМ – легкогорючие материалы соснового леса, ветки, мхи, сухая трава и т.п.

ЧАЭС – Чернобыльская атомная электростанция и связанная с ней авария 1986 года.

Оглавление	
Введение.....	13
1. Раздел «Обзор литературы»	14
1.1. Лесные пожары, их типы и классификация	14
1.2. Источники возгорания и причины пожаров	15
1.3. Влияние пожаров на население близлежащих городов.....	17
1.4. Пожары на территории загрязненной радионуклидами	21
1.5. Загрязнение радионуклидами – изучение вопроса	22
1.6. Лесная и радиационная пирология	27
1.7. Радиационный мониторинг	29
2. Раздел «Математические методы, описывающие модель распространения лесных пожаров»	32
2.1. Общая математическая модель и математическое моделирование лесных пожаров.....	32
2.2. Классификация математических моделей распространения лесных пожаров	33
2.3. Концепция распространения эллиптических волн.....	36
2.4. Способы описания контуров пожара.....	40
2.5. Физическая и математическая постановка задачи	43
2.6. Результаты проведенного исследования	44
3. Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	55
4. Раздел «Социальная ответственность».....	73
Заключение	91
Список используемых источников.....	92

Введение

Решение задач математического моделирования распространения радиоактивных веществ, в движущейся воздушной среде, является одной из наиболее значимых составляющих в предупреждении рассеивания концентрации загрязнения воздушной среды. Графики возможных выбросов веществ на прилегающих территориях, могут быть использованы экспертами для определения потенциально опасных зон, загрязненных соответствующими веществами, и подготовки необходимых своевременных мероприятий, адекватных складывающейся ситуации. Так, в случае пожара в загрязнённом лесу угроза заражения может потребовать незамедлительных действий по защите биосферы в целом и обеспечения безопасности здоровья людей в частности.

Цель работы – разработать модель распространения лесного пожара в лесах подверженных радиоактивному загрязнению.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- изучение основных сведений о лесных пожарах;
- методы их изучения;
- методы математического моделирования процессов.

1. Раздел «Обзор литературы»

1.1. Лесные пожары, их типы и классификация

Как таковые пожары в зависимости от их характера возгорания, а также состава лесополосы, и от того где распространяется возгорание могут подразделяться на низовые, верховые и подземные. При низовом пожаре сгорает нижний слой – так называемая лесная подстилка, т.е. ветки, сухие листья, мхи, травы и т. п.[1] По ветру пожар движается со скоростью 0,25—5 км/ч. Высота пламени при этом достигает до 2,5 м. Температура горения около 700°C, порой даже выше. Верховой лесной пожар выжигает листья, хвою, ветви, и всю крону деревьев, охватывает травяно-моховой покров почвы. Скорость распространения от 5—70 км/ч. Температура от 900°C до 1200°C.[1] Подземные пожары в лесу чаще всего возникают из-за возгорания торфа, которое происходит в результате осушения болот. Скорость пожара может составлять 1 км в сутки. Подобные пожары не заметны, могут распространяться вглубь до нескольких метров, вследствие чего возникает дополнительная опасность в виду их крайней сложности для тушения, т.к. торф имеет возможность гореть без доступа кислорода и даже под водой [2].

Низовые и верховые пожары по скорости распространения огня могут разделяться на устойчивые и беглые.

Скорость характерная для определённых пожаров:

- для слабого низового пожара не превышает 1 м/мин;
 - (Высота самого слабого низового пожара до 0,6 м)
- среднего от 1 м/мин до 3 м/мин;
 - (Высота среднего доходит — до 1,6 м)
- сильного свыше 3 м/мин.
 - (Высота более сильного — свыше 1,6 м)

❖ Скорость распространения верхового пожара:

- слабый до 3 м/мин;

- средний до 100 м/мин;
 - сильный свыше 100 м/мин.
- ❖ От определения глубины выгорания зависит сила почвенного пожара:
- к слабым почвенным пожарам относятся те, глубина прогорания которых не превышает 25 см;
 - средним — 25-50 см;
 - сильным — более 50 см.
- ❖ Пожары можно оценить по площади:
- загорание — огнём охвачено 0,1-2 гектара;
 - малый — 2-20 га;
 - средний — 20-200 га;
 - крупный — 200-2000 га;
 - катастрофический — более 2000 га;
- ❖ При средней продолжительности лесных крупных пожаров около 10-15 суток, объём выгорающей площади может достигнуть 400-600 гектаров леса. [1]

1.2. Источники возгорания и причины пожаров



Рис. 1 - Горящие палы сухой травы

По данным статистики по пожарам с выявленными причинами, как правило, 90% пожаров обусловлено деятельностью человека.

Основная причина пожаров в 2010 году – прямое нарушение правил пожарной безопасности в лесах и на территориях, прилегающих к лесу. Причиной возникновения лесных пожаров, как правило, становятся палы сухой травы на прилегающих землях сельских хозяйств и нарушение людьми простейших правил пожарной безопасности, как в лесах, так и на торфяниках. [2]

Причиной колоссального масштаба лесных и торфяных пожаров стало прекращение профилактической деятельности по предупреждению пожаров, а также разрушение механизмов выявления и тушения пожаров на ранних стадиях. По сути, ликвидация государственной лесной охраны. Ситуацию усугубляет неопределенность статуса многих территорий, неясность зон ответственности подчинённых ведомств и организаций, отвечающих за тушение пожаров тех или иных территориях. Существуют неофициальные свидетельства, в которых говорится о умышленных поджогах леса, с целью последующего присвоения древесины при затрате небольших средств, к примеру, случай в Кораблинском районе Рязанской области и др.[2]. В мае-июне информация о крупных пожарах скрывалась или явно преуменьшалась, в результате июльская катастрофа явилась для руководства Рослесхоза, Минсельхоза, МЧС и страны полной неожиданностью.

Обострение ситуации с лесными пожарами в Европейской части России в 2010 г. началось ещё в апреле-мае, но органы государственной власти Московской, Ивановской, Нижегородских и Рязанских областей, факты скрывали или искажали данные о действительном положении дел. Так, массовые возгорания произошли в мае-июне, но только когда в июле огонь подступил к Дубровлагу и Федеральному ядерному центру в Сарове, власти, наконец, признали существование проблемы.[2]

С началом пожарного сезона, МЧС предоставляло заведомо недостоверную информацию о ситуациях с лесными пожарами, попросту из-за того что, источников информации о ситуации с лесными пожарами на некоторых участках просто не существовало. Официальная информация, получаемая от служб МЧС, порой, не соответствовала действительности. Заявления МЧС и ряда глав других регионов о готовности к любой сложности лесных пожаров, весной 2010 года, а также многочисленные утверждения сообщали населению и руководству страны недостоверные сведения о ситуации в целом. Роспотребнадзор и МЧС давали ложные сведения о пожарах на территориях загрязнённых радионуклидами.

1.3. Влияние пожаров на население близлежащих городов

В связи с тем, что пожары, в особенности продолжительные, загрязняют атмосферный воздух, что приводит к прямому вреду для здоровья населения, примыкающих территориях, в особенности подвержены риску органы дыхания и кровеносная система.

Анализируя исследования в Читинской области за последние несколько лет, чётко видно, что обращаемость населения за медицинской помощью в пожароопасный период в этой области увеличилась в 2-5 раз, при этом смертность выросла - в 8-15 раз.

В 2010-ом году стал, замечен рост заболеваемости сердечнососудистыми и заболеваниями верхних дыхательных путей, в особенности бронхиальной астмой. В период сильного задымления в г. Тольятти, резко выросло количество вызовов в медицинские учреждения до 2,5 раз, от 700-750 до 1160 в сутки. [3]



Рис. 2 - Задымление горящего леса

Даже при непродолжительном нахождении в задымленной зоне лесного пожара мелкодисперсные частицы, диаметром до 2,5 мкм, которые проникают в лёгкие, наносят серьёзный урон здоровью человека, приводят к обострению предшествующих заболеваний, уменьшают продолжительность жизни.

При лесных пожарах в 2010-ом году в атмосферный воздух было выброшено большое количество загрязняющих веществ, в их числе продукты горения, химически активные вещества, органические соединения и т.п. Оксид углерода, поступивший в лёгкие, ограничивает доступ кислорода к кровеносной системе человека. В группу риска при нахождении в задымленной области попадают, прежде всего, пожилые люди, беременные женщины, дети и лица, непосредственно страдающие заболеваниями дыхательных путей.

Прирост смертности населения в процентах в сравнении на июль 2010/2009

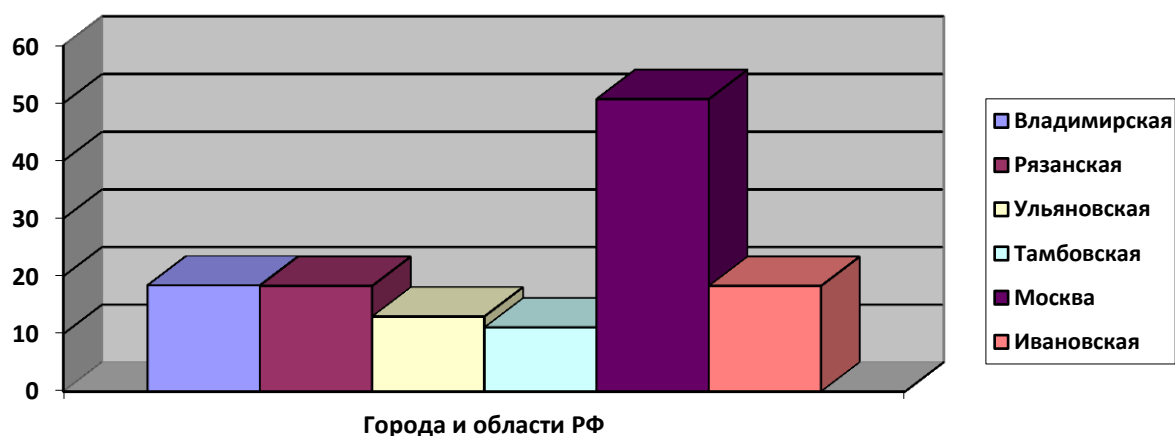


Рис. 3 - Диаграмма увеличения смертности населения

По данным Минздравсоцразвития в июле 2010 г. смертность населения по России в год выросло на 8,5%. [2] За январь-июль произошло уменьшение смертности по России на 0,4%, а в некоторых областях с аномально высокой температурой воздуха, при этом не имеющей интенсивного задымления, смертность в июле, как снижалась, так и увеличивалась. Летом 2010-го года госпитализация среди детей в Московской области возросла на 18%.

Жестокая засуха в средней полосе России стала настоящим бичом, став причиной гибели растений, и к тому же, вызвало немало пожаров по стране. По данным, предоставленным, Министерством здравоохранения и социального развития в областях, попавших в зону аномальной жары и лесных пожаров, возросла смертность населения. Увеличение смертности населения в июле 2010 года, по сравнению с прошлым годом и месяцем, составило во Владимирской области 17,4 %, в Ивановской области — 17,3 %, в Московской и Тульской областях — по 16,3 %, в Татарстане — 15,6 %, в Рязанской области — 13,4 %, в Ульяновской области — 12 %, в Тамбовской области — 11,2 %. [2]

Пиковое значение достигло Москву, рост смертности там составил колоссальные 50,8 %. [6] По словам, главы Департамента здравоохранения Москвы Сельцовского, во время аномальной жары число смертей в Москве

увеличилось 2.1%: «В обычные дни умирает 355—385 человек в день, а сейчас, это число выросло в 2 раза и достигло 700 человек». Ущерб экономике страны от аномальной жары на август 2010 года составил около 15 миллиардов долларов.

Для предотвращения природных пожаров и минимизации их воздействий на окружающую среду необходимо произвести:

- восстановление федерального лесного ведомства, при котором охрана и рекультивация лесов, стали бы приоритетными задачами;
- резко увеличить расходы на охрану и восстановление лесов;
- восстановить централизованную систему авиационной охраны лесов.

О преимуществах и недостатках авиационных технологий можно сказать отдельно следующее:

- наиболее высокая скорость доставки огнетушащих средств до источников лесного пожара;
- наибольшая эффективность одномоментной атаки с воздуха на очаг возгорания;
- мобильность и отсутствие проблем наземных способов доставки, к примеру, возможность доехать до места возгорания;
- повышенная безопасность тушения лесных пожаров для людей.

К основным недостаткам авиационного способа тушения пожаров можно отнести:

- стоимость подобных работ, намного выше, нежели с наземными средствами тушения;
- необходимость постоянных дозаправок;
- невозможность полной ликвидации лесных пожаров без участия наземных сил, средств пожаротушения.

Основные цели применения авиационных методов тушения:

- снижение интенсивности горения на кромке пожара и создание благоприятных условий для последующего тушения лесного пожара наземными силами;
- замедление распространения лесного пожара до непосредственного подхода наземных сил, а также средств пожаротушения.

1.4. Пожары на территории загрязненной радионуклидами

Особенную проблему приносят лесные пожары на территории, загрязнённой радиоактивными веществами, которые существенно меняют картину загрязнения. При сгорании лесного горючего материала наибольшая часть радиоактивных веществ выносится вместе с продуктами горения, как в твёрдом, так и в газообразном виде. При особо обильных пожарах дым поднимается с конвективной колонкой в атмосферу в высоту на несколько километров. Затем конденсируясь в верхних слоях атмосферы, аэрозоли с облаками могут переносить радионуклиды на десятки, а порой и сотни километров от зоны их образования, впоследствии выпадая в виде осадков [7].

При пожаре на территории подверженной радиоактивному заражению, горение радиоактивных веществ сопровождается определёнными явлениями: ростом загрязнения радионуклидами атмосферного воздуха; увеличением радиоактивных осадков из воздушной среды; непосредственным увеличением мощности дозы излучения в связи с движением радиоактивных облаков или повышении плотности загрязнения почвы радионуклидами [8]. Также имеет место дополнительное радиационное облучение, в первую очередь ликвидаторов последствий ЧС и широкого круга лиц, оказавшихся на территории прохождения аэрозольных облаков.

Лес, по своей сути, становится губкой, впитывающей радиоактивные вещества, благодаря своей огромной поверхности ассимилирующих органов

древесных растений. Концентрация радиоактивных веществ в лесу после аварии в 5-12 раз выше, в остальных природных образованиях, вроде луга, болот, полей и т.п. Хвойные леса становятся наиболее пожароопасными, являясь накопителями радиоактивных веществ, т.к. способны удерживать в 3-4 раза больше радионуклидов, чем лиственные.[9].

При лесных пожарах, в первую очередь сгорает лесная подстилка, а она аккумулирует до 60...80 % радионуклидов [10]. Разложение хвойного опада с последующим вымыванием его в нижележащие слои почвы, менее доступные для пожара, опять-таки идет в несколько раз медленнее, чем лиственного.

Среди различных структурных частей древесного яруса наибольшим загрязнением характеризуется кора деревьев и ассимилирующие органы (листья, хвоя), затем ветки мелкие, ветки крупные. Наименее загрязнена древесина. Наибольшей способностью концентрировать радионуклиды обладают мхи и торфяники.

В связи с увеличением дозы облучения, получаемой персоналом, участвующим в тушении лесных пожаров на РЗМ, существует необходимость использования и развития дистанционных (без присутствия людей) методов тушения лесных пожаров и защиты объектов, например с помощью авиации и робототехнических комплексов.

1.5. Загрязнение радионуклидами – изучение вопроса

Непосредственное загрязнение радиоактивными веществами территории Российской Федерации происходило не только в результате Чернобыльской аварии 1986 года. Подобные территории существуют в нескольких зонах многих областей, краёв и республик России.[14]

Загрязнение радионуклидами территорий происходило в период с 1949–1993 гг. в результате различных аварий или чрезвычайных ситуаций:

- 1) ядерных испытаний на полигоне в Семипалатинске в 1949-ом году;
- 2) технологических сбросов в открытые источники (водоёмы, озёра, реки) радиоактивных отходов, а также аварийных ситуаций с выбросом радионуклидов на химкомбинате «Маяк», в Челябинской области 1949–1956 гг., 1957 г. и 1967 г.; [10]
- 3) авария на Чернобыльской атомной электростанции 26 апреля 1986 года;
- 4) аварии с выбросом радионуклидов на Сибирском химическом комбинате (город Томск-7) 6 апреля 1993 года. Вопросы ведения лесных хозяйств на территории подверженной радиоактивному загрязнению регламентировались до 1986 года. «Рекомендациями по ведению сельского и лесного хозяйства при радиоактивном загрязнении внешней среды», которые были изданы в 1973 г. под грифом «Для служебного пользования». В этом документе рассматривались вопросы загрязнения окружающей среды, посредством ядерных испытаний, и впоследствии до 1986 г. он был засекречен и не был известен широкому кругу лиц, работавших в лесном хозяйстве. О возможных особенностях лесных пожаров на этой местности, в условиях радиоактивного загрязнения территории, в Рекомендациях не упоминалось. [35]

Научно-исследовательские работы до 1990 года проводившиеся после аварии на ЧАЭС скрывались, их программы, а также результаты научных исследований не были известны специалистам лесных хозяйств.

При разных видах лесных пожаров и различных уровнях радиоактивного загрязнения территории, процессы, которые происходят при горении лесных горючих материалов (ЛГМ), образующиеся в результате продукты горения, и их возможное перемещение в те годы вообще не были рассмотрены. Пирологические исследования, способные

ответить на вопрос: существуют ли отличия лесных пожаров на загрязненных радиоактивными веществами территориях от тех же пожаров на незагрязненной местности, попросту до периода начала 90-тых годов не проводились. Информация о радиоактивном загрязнении определённых частей лесного фитоценоза, а также общие закономерности природы лесных пожаров показывали то, что существует явная проблема лесных пожаров на загрязненных территориях, которую необходимо и нужно исследовать.[36]

В 1991 году ВНИИХлесхоз начались специальные радиационно-пирологические научные исследования силами лаборатории лесной пирологии, с привлечением дополнительных организаций. Лаборатория лесной пирологии приступила к непосредственным работам в загрязненной радиоактивными веществами территории в лесах Брянской области России, а также на Украине, в 30-километровой зоне ЧАЭС. Научным руководителем и ответственным лицом этих научных работ был назначен Сергей Иванович Душа-Гудым - заведующий лабораторией лесной пирологии.[38]

Приоритетными целями работ, установленными для первого года исследований, были: получить данные о содержании цезия-137 в различных группах ЛГМ, порубочных остатках, а также в продуктах их горения. В юго-западной части Брянской области, на территориях Злынковского и Клинцовского лесхозов, необходимо было создать сеть пробных площадей (ПП), которые должны представлять весь диапазон радиоактивного загрязнения территории России в результате аварии на ЧАЭС. Для пирологических исследований использовалась часть ПП, заложенных в 1988–1989 гг. для других испытаний; в 1992 г. силами лаборатории были заложены еще 6 пробных площадей, и к тому же была созданная сеть из 15 площадей, которая представляла леса с плотностью загрязнения почвы радионуклидами от 2–6 до 175 Ки/км². [37]

На территории Карачевского лесхоза было заложено 12 пробных площадей для расчёта определённых запасов ЛГМ в различных типах леса, аналогичных тем же типам лесов загрязнённых территорий. В Злынковском и Клинцовском лесхозах научные исследования проводились сотрудниками лаборатории лесной пирологии: С.И. Душа-Гудым, Б.А. Ушаков, В.М. Костеров, А.М. Малютин, А.Л. Ермаков, А.А. Василенко; в Карачевском мехлесхозе – Г.В. Сныткин, Ю.М. Попов. В 30-километровой зоне ЧАЭС работали: С.И. Душа-Гудым, Б.А. Ушаков, А.М. Малютин, А.А. Василенко, А.Л. Ермаков, Г.В. Снетки. [35]

В начальный период научных работ в Брянской области гамма-спектрометрические и радиохимические анализы отобранных проб ЛГМ и их продуктов сгорания проводились в г. Обнинске Калужской обл. в аккредитованных лабораториях Всесоюзного научно-исследовательского института сельскохозяйственной радиологии ВНИИСХР. Наибольшую помощь в первый период работ оказал Валерий Петрович Юланов, проводивший консультации с сотрудниками лаборатории, много лет изучающий вопросы радиационной экологии на Восточно-Уральском радиоактивном следе, а позднее и на остальных Чернобыльских радиоактивных следах. [38]

В 1991 году был проведен отбор первых образцов лесных горючих материалов, их сжигание и подготовка проб, посредством этого было выполнено 1400 гамма-спектрометрических анализов на содержание цезия-137 и около 100 радиохимических анализов на содержание стронция-90 в ЛГМ и их продуктах горения. Запасы ЛГМ были определены по итогам анализа 700 образцов (отбор, высушивание до необходимой, абсолютно сухой массы).

После первых же результатов проведенных исследований в 1991 г. в западных районах Брянской обл. в зонах с разным уровнем радиоактивного

загрязнения почвы (5–16, 16–40 и более 40 Ки/км² по цезию-137) выявили, что лесные пожары на территории загрязненной радионуклидами по ряду характеристик не могут быть отнесены в понятия классической лесной пирологии. [7]

Важные вопросы радиоактивных осадков и территорий леса стали открыто обсуждать в печати начиная с 70-х гг. XX в., речь шла о перемещении радиоактивных веществ, осаждающихся в лесных биогеоценозах из обширных выпадений. Вопросы взаимодействия леса и радиации И.С. Мелехов ввел в учебник «Лесоведение» (1980), отнесённые в подраздел «Аномалии воздушной среды и лес».[36]

Научные исследования 1991 г. показали, что лесные пожары в условиях радиоактивного загрязнения представляют особую опасность из-за продуктов горения лесных горючих материалов. По основам классической лесной пирологии, базовые опасные факторы лесных пожаров – это повышенное содержание углекислого газа, высокая температура воздуха в зоне горения, задымление прилегающей территории, а также ущерб от пожаров, который оценивался по потерям древесины и степени повреждения насаждений.

Результаты научных исследований показали, что опасность лесных пожаров в загрязненных радионуклидами лесах определяют в первую очередь иные факторы: твердые и газообразные продукты горения лесных горючих материалов, их количество и удельная радиоактивность, объемы дымовых выбросов и их удельное загрязнение радионуклидами. Установлено, что радиоактивные вещества, которые образуются при лесных пожарах в зонах отчуждения, а также продукты сгорания ЛГМ – зола, недожог и дымовые аэрозоли являются открытыми источниками ионизирующего излучения. Концентрация радионуклидов могла достигать, к

примеру, в золе и недожоге, сотни тысяч и миллионы беккерелей на 1 кг их массы, или в других единицах измерения – $n \cdot 10^{-6} \dots n \cdot 10^{-4}$ Ки/кг.

Результаты исследований по проблеме лесных пожаров в загрязненных радионуклидами лесах были квалифицированы диссертационным советом Д 053.31.03 при Московском государственном университете леса и президиумом ВАК России как создание нового научного направления в лесной пирологии – радиационной пирологии леса.[38]

1.6. Лесная и радиационная пирология

Радиационная пирология леса – научное направление в лесной пирологии о сущности радиоактивного лесного пожара, последствиях подобных чрезвычайных ситуациях, методах борьбы с ними и способах их профилактики, выявления и тушения. Стоит сказать, что это новое научное направление, сподвигнутое в результате аварии на Чернобыльской атомной электростанции и радиационными катастрофами предыдущих лет.

Научные исследования на территории, подверженной радиоактивному заражению, а вернее исследования радиоактивных лесных пожаров дают возможность получить ответы на важные вопросы. Проанализировать количественные характеристики совершенно новых чрезвычайных ситуаций в лесной пирологии, а также создать методы противоборства им и их решения.

Выявляется:

- природа радиоактивного лесного пожара, критерии по которым можно отнести лесной пожар к радиоактивному. Новые критерии оценок ЛГМ, продуктов горения и поражающих факторов такого вида пожаров;
- зависимость величины загрязнения атмосферного воздуха радионуклидами на уровне регионов с массовыми лесными пожарами на

загрязненных радионуклидами территориях. Схема воздействия интенсивных радиоактивных лесных пожаров на биогеоценоз.

Позволяют разработать:

- концептуальные положения методологии радиационно-пирологических моделей леса. Принципиальная схема и состав радиационно-пирологических моделей леса. Базы РПМ – основа для оценки лесопожарных ситуаций и принятия решений в противопожарной охране лесов, математического моделирования лесопожарных ситуаций;

- научные основы и концептуальные положения системы противопожарного устройства лесов, загрязненных радионуклидами. Концепция радиационно-пирологического мониторинга лесов – источника обеспечения служб охраны лесов радиационно-пирологической информацией, являющегося информационной основой системы предотвращения чрезвычайных лесопожарных ситуаций.

Радиационная обстановка на местности загрязненной радиоактивными веществами постоянно поддается изменениям. Для расширения полученных знаний, анализа происходящих изменений, необходимо, в первую очередь, продолжение многогранных научных исследований для регулирования проблемы радиоактивных лесных пожаров. Результаты подобных исследований могут служить обоснованием для анализа и принятия наиболее возможных решений, осуществление которых способствует улучшению экосистемы и жизни человека в контакте с этой средой.

Радиоактивный лесной пожар – представляет собой такой пожар, при котором горят загрязненные радиоактивными веществами лесные горючие материалы, и образующиеся из них продукты горения, такие как, зола, недожог, дымовые аэрозоли, газообразные продукты. Подобный лесной пожар опасен тем, что представляет собой открытый источник ионизирующего излучения.

К главным отличиям радиоактивных лесных пожаров можно причислить совершенно новые физико-химические параметры ЛГМ,

продукты их сгорания, а также поражающие факторы подобного пожара. Мощность уровня радиоактивного загрязнения лесными горючими материалами зависит от времени и продиктованы динамикой естественного радиоактивного распада загрязняющих веществ, также их динамикой и характером распределения по элементам биогеоценозов.

1.7. Радиационный мониторинг

Как известно, лесные биогеоценозы относятся к наиболее сложным саморегулирующимся экосистем. Для них характерна выразительная ландшафтно-географическая изменчивость, пространственная неоднородность, продолжительность жизни древостоев, отрицательная реакция на большинство антропогенных воздействий. [10]

Как таковое, расширение хозяйственной деятельности, хаотичное заимствование природных, в особенности лесных, ресурсов, загрязнение окружающей среды, как радиоактивными, так и другими выбросами может подтолкнуть к нарушению их благосостояния, а в наиболее запущенных ситуациях и до их частичного, а порой, и полного разрушения.

К задачам по анализу состояния биогеоценозов в целом, их отдельных компонентов, установления склонности к изменениям под влиянием антропогенных факторов, а также предугадывания реальных негативных последствий воздействия на них служит система мониторинга, одно из направлений которого называется радиационным мониторингом окружающей среды. Которое предусматривает, в особенности, измерение уровней радиационного загрязнения и мощности доз облучения определённых компонентов биогеоценоза от любых существующих источников воздействия.

При нормальных условиях радиационной обстановки главное значение будут иметь гигиенические аспекты радиомониторинга, т.е. наблюдение за уровнем радиационного загрязнения центральных звеньев

кормовой цепочки, которые и показывают накопление радиоактивных веществ, находящихся в продуктах леса и растениеводства.

Для радиомониторинга ставится приоритетная цель - накопление информации, требующейся для анализа решений по управлению и регулированию радиационного загрязнения продуктов путем подготовки и ввода систем агротехнических, агрохимических, зоотехнических и организационных мероприятий, в том числе, сохранение и увеличение продуктивности биогеоценозов.

Радиационный мониторинг должен включать:

а) систематические измерения мощностей доз γ - и β -излучения на территории;

б) периодический отбор образцов в специально выбранных местах наблюдений и контрольных пунктах, а также выявление концентрации радионуклидов в этих образцах, радиологического состава загрязнения и физико-химических форм радионуклидов;

в) расчет дозовых нагрузок на компоненты;

г) оценку текущего состояния радиационной обстановки;

д) прогноз возможных изменений радиационной обстановки;

е) подготовка информации необходимой для осуществления контроля радиационной обстановки.

Оценка радиационной обстановки дается путем сравнения результатов измерений и расчетов с системой специально разработанных критериев, которые определяют допустимый уровень радиационного воздействия на биогеоценоз.

С учетом конкретных задач и целевого назначения разрабатываются программы мониторинга. Они определяют выбор объектов наблюдений, вид, частоту и периодичность измерения, методы измерения, отбор образцов для дальнейшего лабораторного анализа, приемы статистической обработки результатов, принципы отбора, накопления, обработки информации и их

интерпретации. Несмотря на большую трудоемкость и большие материальные затраты, единственным источником объективной информации о радиационном состоянии являются непосредственные наблюдения и измерения.

2. Раздел «Математические методы, описывающие модель распространения лесных пожаров»

2.1. Общая математическая модель и математическое моделирование лесных пожаров

Анализ характеристик верховых и низовых лесных пожаров показывает их зависимость от конкретных условий проведения экспериментов и недостаточно высокую точность, обусловленную тем, что в реальных условиях невозможно контролировать метеорологическую обстановку и однородность слоя ЛГМ. Поэтому физическое моделирование лесных пожаров необходимо сочетать с математическими экспериментами. Объектом исследования в этом случае является не натура, а математическая модель лесного пожара, которая обычно представляет собой совокупность дифференциальных уравнений в частных производных с соответствующими начальными и граничными условиями. Вместо дифференциальных могут использоваться интегральные или функциональные уравнения. Вывод системы уравнений, граничных и начальных условий и последующее базирование данных можно учесть влияние сезонных изменений ЛГМ в заданных районах на скорость распространения лесных пожаров и их энергетику[1].

Общая математическая модель лесных природных пожаров – своеобразный эталон точности физико-математического описания разных типовых лесных пожаров, который позволяет оценивать полноту и точность более простых и удобных для практических целей моделей. С её помощью можно получить критерии подобия и понять влияние различных физико-химических факторов на характеристики и энергетику лесных пожаров. Используя современные численные методы и представленную выше модель или её частные случаи, удастся определить поля скорости, температур, концентраций компонентов, плотности, тепловых потоков и дать прогноз развития лесного пожара в заданном районе с учетом сезонных изменений

свойств ЛГМ. Поскольку из-за требований экологической безопасности крупномасштабные эксперименты в натурных условиях недопустимы, математическое моделирование лесных пожаров с использованием представленной выше модели является единственным способом изучения природы, предельных условий распространения, структуры фронта пожара и его энергетики.

2.2. Классификация математических моделей распространения лесных пожаров

Объектом моделирования на фундаментальном уровне является горение. Такие модели основываются на законах тепломассопереноса и газовой динамики, физико-химических характеристиках горючих материалов (теплотворная способность, элементарный состав, зольность, плотность, влагосодержание и др.), характеристиках состояния среды (температура, относительная влажность воздуха, направление и скорость ветра, показатели турбулентности атмосферы и др.). Моделирование на этом уровне необходимо в качестве основы для создания моделей тактического уровня.

Объектом тактического моделирования является пожар в целом. Такая модель должна прогнозировать контур пожара и площадь, охваченную огнем, а также рассчитывать ожидаемый периметр пожара. Важнейшие характеристики пожара в данном случае: его вид и интенсивность, скорость продвижения кромки, высота пламени и др. Тактическое моделирование необходимо для разработки плана ликвидации пожара. Основные потребители результатов расчетов по таким моделям – руководители служб тушения предприятий лесного хозяйства и подразделений авиационной охраны лесов.

Объект стратегического моделирования – вспышки пожаров, то есть одновременное массовое их возникновение. Модель вспышки позволяет прогнозировать охват территории и время прохождения надвигающегося

циклона, а также распределение по территории пожаров, которые могут возобновляться. Потребителями прогнозов по этим моделям будут руководители масштабов области, страны.

В каждой пространственной модели лесного пожара в дополнение к уравнениям распространения пожара используется метод отображения геометрической информации, которая описывает геометрическую структуру местности, на которой распространяется пожар, и форму пожара. Под геометрической структурой местности будем понимать геометрические формы, размеры и расположение однородных ее участков, а также рельеф.

Типичными формами представления геометрической информации о местности являются:

- нерегулярная сеть точек;
- регулярная сеть точек;
- множество полигонов;
- изолинии.

Нерегулярная сеть точек представляет собой множество произвольно расположенных точечных объектов, атрибутами которых являются значения характеристик местности в данной точке. Обработка данных в таком представлении во многих случаях довольно сложна.

Регулярная сеть задаётся равномерно расположенными в пространстве точками достаточной густоты. Особенно ценно, когда они получены не интерполяцией из нерегулярных, а путём проведения измерений по регулярной сети. От них легко перейти к любой другой форме представления.

При представлении геометрической информации множеством полигонов каждый однородный участок местности моделируется полигоном, граница которого задается либо ломаной, либо плавной кривой линией.

Хотелось бы отметить, что способ представления геометрической информации о местности с помощью полигонов, границы которых задаются ломаными линиями, является наиболее удобным по следующим причинам:

1) таксационное описание лесничества содержит информацию по каждому выделу, который можно представить в виде полигона;

2) современные программные средства работы с картографическими объектами позволяют автоматически представить полигон в виде ломаной линии путем задания координат ее вершин. Способ представления изолиниями применяется, в основном для моделирования рельефа. Его недостатком является то, что такая модель рельефа не содержит никакой информации о поведении поля между изолиниями.

Недостатком этого способа представления геометрической информации является также то, что по одним и тем же исходным данным (обычно это точки нерегулярной сети) интерполяция и последующее проведение линий, являющихся изолиниями, могут быть реализованы не единственным способом.

Представить местность в виде сети точек позволяет ячеечная технология. Ячеечная технология – это наиболее используемый в моделях распространения пожара метод [2]. При этом каждая из ячеек имеет набор характеристик (таких, как уклон местности, тип топлива и других).

Кроме моделирования геометрической структуры местности ячеечная технология используется для представления геометрической формы пожара. В этом случае решетка из ячеек используется как для создания слоев входных данных, так и в качестве шаблона для визуализации процесса распространения пожара. Для каждой ячейки в решетке можно задать правила распространения огня. На основе этих правил, исходя из текущего состояния ячейки, определяется ее будущее состояние, а также скорость распространения пожара по решетке. Если ячейка определена как «горящая», то пожар из этой ячейки на следующей итерации может распространяться на любую из соседних ячеек. Правила, согласно которым определяется скорость распространения пожара, обычно основаны на физических процессах. Поэтому ячеечная технология может применяться для широкого набора условий.

Преимущество использования ячеечной технологии для моделирования распространения пожаров состоит в простоте ее компонентов, используемых для моделирования поведения пожара.

Однако существует два основных недостатка, связанных с использованием ячеечной технологии при моделировании геометрической формы пожара. Первый недостаток состоит в том, что пожар в реальности не распространяется по ячейкам. В связи с регулярной сеткой ячеек и ограничениями в направлении скорости распространения, прогнозируемые размер и форма пожара могут отличаться от реальности [3]. Вторым недостатком проявляется в случае, когда соседние ячейки не однородны, то есть содержат ЛГМ различной природы. При большом количестве ячеек и большом разнообразии типов лесных горючих материалов точность модели существенно снижается [3]. Попыткой избежать этих недостатков стала технология распространения эллиптических волн.

2.3. Концепция распространения эллиптических волн

Концепция распространения эллиптических волн была впервые предложена Христианом Гюйгенсом в 1678 году для объяснения движения световых волн [3]. В 1975 году, Ричардс применил эту концепцию к описанию распространения пожара [4]. Он аналитически вывел дифференциальное уравнение распространения пожара от точечного источника. Его теория применима при моделировании пожара, когда определена точка возгорания или периметр в виде набора регулярных точек, которые можно рассматривать как локальные источники. Предполагается, что из этих точек пожар распространяется эллиптически. При этом размер и форма каждого эллипса определяются локальными условиями. В каждый момент модельного времени форма пожара строится на основе объединения всех элементарных эллипсов. Местность чаще представляется в виде множества полигонов, чем в виде решетки.

Технология распространения эллиптических волн помогает избежать некоторых проблем, возникающих при использовании ячеечной технологии: уменьшить неточности при моделировании размера и формы пожара [3], ускорить процесс вычислений [4].

Однако технология эллиптических волн имеет некоторые недостатки. Одним из недостатков является сложность ее применения в результате того, что требуется некоторая искусственная регулировка. Она должна обеспечить такие условия, при которых локальные пожары от элементарных источников не перекрываются, а источники воспламенения на периметре остаются равноудаленными друг от друга. В качестве недостатка можно также выделить то, что технология эллиптических волн использует параметры, вычисленные с использованием набора тестовых пожаров. Поэтому при ее использовании необходимо допущение о том, что топливо, погода и топография подобны тем, при которых вычислены параметры.

Одна из проблем, затрудняющая использование физических моделей пожаров самостоятельно, связана с тем, что для применения таких моделей требуется большое количество разнородных исходных данных, характеризующих область местности, на которой развивается пожар, а также метеоусловия. Факел пламени распространяется в трехмерном пространстве. Таким образом, для повышения точности модели необходимо рассматривать физико-химические процессы, развивающиеся в объеме. Зона пожара, в которой протекают эти процессы, многофазна, то есть состоит из набора относительно однородных пространственных элементов (газово-воздушная фаза, ствол дерева, крона дерева). Это затрудняет ее представление в виде непрерывной среды. Исходные данные, характеризующие форму, размеры и расположение пространственных элементов зоны пожара, слабо структурированы. Физическая модель не позволяет формализовать эти данные. Что касается данных, характеризующих метеоусловия, то они не точны.

Для создания эффективных методов пожаротушения, а также для определения потенциального ущерба, который может принести пожар, важно уметь прогнозировать глобальные характеристики пожара, связанные с его геометрической формой, такие, как площадь, периметр, конфигурация кромки. Эту цель преследовали авторы уже самых ранних работ по моделированию пожаров.

Геометрическая форма пожара задается с помощью описания его контура. Контур пожара задается либо аналитически, либо с помощью численных методов.

Теоретические основы оперативного прогнозирования контуров лесных пожаров с помощью аналитических выражений заложены в аналитической теории контуров лесных пожаров [5], которая, однако, еще не поставлена на достаточно строгую математическую основу.

Аналитическая теория контуров лесных пожаров основывается на исходящем из опыта специалистов-лесопирологов и работников авиалесоохраны заключении о том, что наружная граница кромки пожара в каждый момент времени представляет собой одну или несколько непрерывных линий. Аналитическое описание этих линий и есть главная задача аналитической теории контуров.

Существующие модели движения контуров, как правило, основываются на ряде упрощающих предположений. Основные гипотезы:

- гипотеза нормальной скорости;
- гипотеза Маркштейна;
- гипотеза точечного источника. [5]

Гипотеза нормальной скорости состоит в том, что каждая точка контура перемещается в пространстве независимо от соседних точек в направлении внешней нормали к контуру.

При этом скорость ее движения (нормальная скорость) зависит от свойств горючего, скорости ветра, наклона местности, от углов, образованных нормалью к линии контура и направлением ветра. Недостаток

гипотезы состоит в том, что она хорошо работает только при описании выпуклых контуров. На вогнутых участках контура предположение о независимости перемещения каждой точки контура может привести к образованию изломов и петель.

В результате отказа от предположения о независимом перемещении каждой точки контура горения гипотеза Маркштейна [5] лишена основного недостатка, присущего предыдущей гипотезе. Маркштейн на основе анализа экспериментальных данных выяснил, что скорость распространения горения зависит от кривизны фронта пламени. Локальная скорость распространения фронта пламени возрастает в точках, где фронт горения вогнут в сторону движения огня, и уменьшается в точках, соответствующих выпуклым участкам фронта.

Согласно гипотезе точечного источника считается, что каждая точка кромки пожара является элементарным источником (очагом) распространения огня. Горение из каждого такого источника распространяется во всех направлениях, где имеется горючее. Скорость в определенном направлении зависит от угла, образованного данным направлением с направлением ветра и склона. Положение внешней границы кромки определяется огибающей ко всем элементарным направлениям.

В [5] рассматривается задание нормальных скоростей движения контуров с учетом ветра и уклона местности. Эти факторы учитываются отдельно с помощью специальных множителей, которые называются индикатрисами нормальной скорости. При этом величина нормальной скорости представляется в виде:

$$v_n(x,y,t,\alpha,\gamma,w,s)=v_0(x,y,t,w,s)*\chi_{nw}(\alpha,w)*\chi_{ns}(\gamma,s),$$

где $v_0(x,y,t,w,s)$ - скорость движения фронта пламени в направлении ветра и вверх по склону, $\chi_{nw}(\alpha,w)$ - индикатриса нормальной скорости для ветра, $\chi_{ns}(\gamma,s)$ - индикатриса нормальной скорости для склона, α -угол между нормалью к контуру и направлением ветра, s - вектор градиента (наиболее крутого подъема) местности, γ - угол, определяемый соотношением

$$\gamma = \arccos \frac{sv_n}{|s||v_n|}, \quad |s| - \text{величина уклона местности, } w - \text{вектор скорости ветра, } |w| - \text{величина скорости ветра.}$$

До настоящего времени не разработано методов для аналитического или численного расчета индикатрис. В [5] предлагается аппроксимировать их аналитическими выражениями, исходя из экспериментальных данных. При этом оценивать вид индикатрис по форме экспериментальных пожаров можно только при относительно малых размерах пожаров. Большие по площади пожары имеют сложную форму, и оценка индикатрис для них требует разработки специальных методов идентификации.

Аналитический расчет движения контуров пожара применим только в простейших случаях: при движении огня по пространственно однородному слою горючего, без препятствий и разрывов. При реальном пожаре эти условия, как правило, не выполняются.

Учесть реальные обстоятельства аналитическим путем невозможно, поэтому неизбежным становится применение численных методов.

При разработке численных методов построения контуров пожаров исходят из тех же гипотез о движении кромки пожара, которые используют при выводе аналитических выражений.

2.4. Способы описания контуров пожара

Существует два основных подхода к описанию контуров пожара численными методами:

- описание ломаной линией;
- описание плавной кривой линией.

Выбор того или иного подхода зависит от используемого способа дискретизации лесной территории. При аппроксимации лесной территории сеточной структурой контуры, как правило, описываются ступенчатой линией. При описании лесной территории совокупностью замкнутых фигур

(полигонов) контур описывается плавной или ломаной линией, а алгоритмы его расчета являются численной аппроксимацией уравнения движения контура.

В любом случае контур пожара определяется набором узлов, принадлежащих или не принадлежащих регулярной сетке, которые могут соединяться ступенчатой, ломаной или плавной кривой линией. В каждый момент времени строится новый набор узлов. Это делают различными путями: от каждого узла по нормали к линии контура откладывают скорость (если контур задается плавной кривой линией), вокруг каждого узла строят эллипс с использованием волновой теории Гюйгенса и др.

Сеточные модели могут быть **детерминированными** или **стохастическими**.

К одной из детерминированных сеточных моделей относится алгоритм Дэйкстра [5]. Он исходит из гипотезы о точечных источниках. Лесная территория согласно данному алгоритму аппроксимируется квадратной решеткой. Каждый узел сетки в определенный момент времени может находиться в одном из состояний: не горел, горит, уже сгорел и впредь не может загореться. Процесс распространения пожара состоит в передаче горения от горящих узлов ко всем соседним с ними не горевшим. Основу алгоритма составляет предположение о том, что в первую очередь загорится узел, время перехода до которого из всех горящих узлов будет минимальным. Считается, что промежутки времени, необходимые для прохождения пламени между всеми соседними узлами, известны.

Алгоритм состоит в следующем. Выбирается начальный узел. Остальным узлам присваиваются числовые значения (метки), равные количеству времени, необходимому для достижения пламенем данного изначального узла. Каждая метка может быть временной или постоянной. Постоянные метки присваиваются узлам, которые достигаются из начального за минимальное время, а временные – узлам, время достижения которых превышает нижнюю грань минимального. При помощи итеративного

процесса временно помеченные узлы преобразуются в постоянно помеченные. Процесс заканчивается тогда, когда все узлы оказываются помеченными постоянными метками.

Алгоритм Дэйкстра имеет следующий основной недостаток. Время прохождения огня между двумя узлами рассчитывается с учетом расстояния между этими узлами, которое аппроксимируется ломаной линией. Таким образом, происходит отставание сеточного решения от точного, и накапливается ошибка метода.

Среди стохастических сеточных моделей наиболее показательна модель распространения пожара Воробьева О.Ю. [6]. Пожар здесь рассматривается как процесс случайного распространения на плоской квадратной решетке. Считается, что горение, возникнув в некотором узле, передается во все соседние узлы решетки в течение одного такта времени с определенными вероятностями. Каждая реализация процесса приводит к контуру случайной формы. Применение множественного метода Монте-Карло позволяет определить так называемую среднемерную область, занятую пожаром, и его средний контур. Подбор вероятностей перехода огня из каждого узла к соседним дает возможность определять средние контуры пожара в каждый момент модельного времени. Модель Воробьева исходит из гипотезы о точечных источниках, но лишена недостатка, присущего алгоритму Дэйкстра.

Применение методов среднемерного моделирования дает ряд преимуществ [6]:

- адекватность вероятностно-множественных моделей реальному пожару – явлению стихийному, геометрия которого случайна;
- отсутствие в моделях ограничений на геометрическую форму и связность контуров пожаров;
- удовлетворительная для практики погрешность среднемерного прогноза геометрической формы, площади и периметра пожара;

- простота построения соответствующих вычислительных алгоритмов и программ для ЭВМ;

- возможность эффективного использования исходных данных о пожарах в существующих формах (например, в виде аэрокосмической информации о текущем состоянии лесного пожара и окружающей среды);

- модель универсальна и имеются перспективы ее применения не только для описания низовых пожаров, но и для верховых.

Однако методы среднемерного моделирования не лишены и недостатков. Прогноз распространения пожара строится на основе фактических экспериментальных данных о геометрии пожара в определенные моменты времени в конкретных природных условиях.

Поэтому получаемая модель жестко привязана к тем природным условиям, при которых были получены эти данные, и при применении ее в других условиях будет работать некорректно. Причем, даже если моделирование будет проводиться на определенной местности, на основе экспериментальных данных, полученных ранее для той же местности, оно все равно не будет адекватно отражать действительность, так как экспериментальные данные наверняка были получены при других метеоусловиях (силе, скорости ветра, влажности воздуха).

2.5. Физическая и математическая постановка задачи

Источник выделения радионуклидов, при лесном пожаре, представляет собой источник тепла и массы, расположенный в некоторой области пространства. Его температура определяется функциональной зависимостью от времени и координат.

Предполагается, что: 1) течение носит развитый турбулентный характер, и молекулярным переносом пренебрегаем, 2) плотность газовой фазы не зависит от давления из-за малости скорости течения по сравнению со скоростью звука, 3) среда находится в локально-термодинамическом

равновесии, 4) известна скорость ветра над пологом леса в невозмущенных условиях, 5) газодисперсная смесь бинарная и состоит из частиц конденсированной фазы, в том числе и радиоактивных аэрозолей, а также газовой фазы - компонентов кислорода, газообразных горючих и инертных компонентов. Центр очага лесного пожара расположен внутри рассматриваемой области. Ось x_3 направлена вверх, x_1 (совпадает с направлением ветра), x_2 - параллельно земной поверхности вправо.

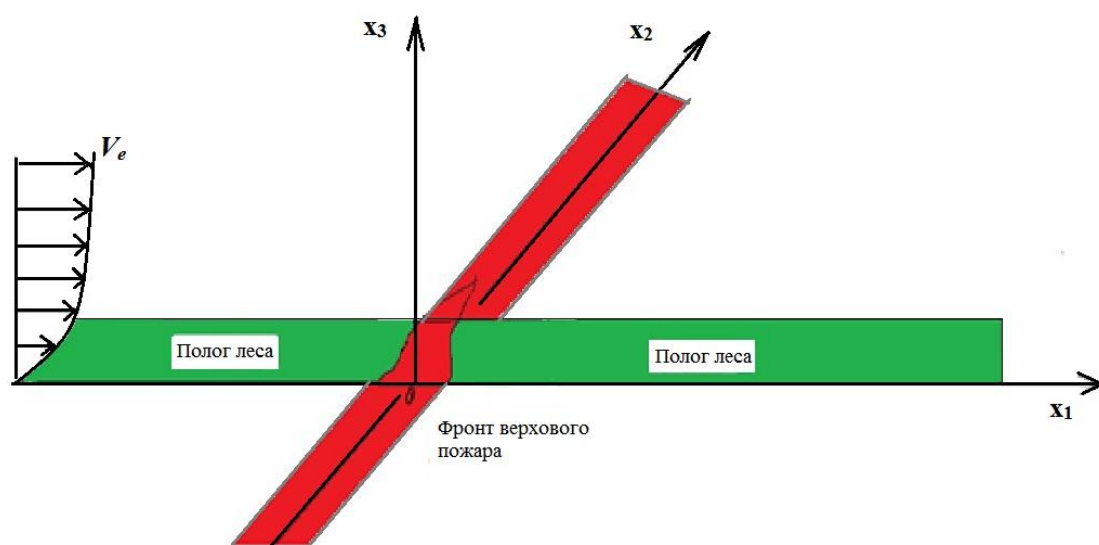


Рис.4 - Очаг лесного пожара

2.6. Результаты проведенного исследования

Считается, что протяженность верхового лесного пожара в направлении оси x_2 значительно превышает его ширину. В связи с этим данную задачу можно рассмотреть в двумерной постановке, то есть в системе координат x_1x_3 . Таким образом, сформулированная выше задача сводится к решению следующей системы уравнений:

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

$$\rho \frac{dv_i}{dt} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{v'_i v'_j}) - \rho s c_d v_i |\vec{v}| - \rho g_i - Q v_i; \quad (2)$$

$$\rho c_p \frac{dT}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho c_p \overline{v'_j T'}) + q_5 R_5 - \alpha_v (T - T_s) + k_g (c U_R - 4\sigma T^4) \quad (3)$$

$$\rho \frac{dc_\alpha}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{v'_j c'_\alpha}) + R_{5\alpha} - Q c_\alpha, \quad \alpha=1,3; \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_j} \right) - k(c U_R - 4\sigma T_s^4) = 0; \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^4 \rho_i c_{pi} \varphi_i \frac{\partial T_s}{\partial t} = q_3 R_3 - q_2 R_2 + k_s (c U_R - 4\sigma T_s^4) + \alpha_v (T - T_s); \quad (6)$$

$$\rho_1 \frac{\partial \varphi_1}{\partial t} = -R_1, \quad \rho_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial t} = -R_2, \quad \rho_3 \frac{\partial \varphi_3}{\partial t} = \alpha_c R_1 - \frac{M_c}{M_1} R_3, \quad \rho_4 \frac{\partial \varphi_4}{\partial t} = 0; \quad (7)$$

$$\sum_{\alpha=1}^4 c_\alpha = 1, \quad p_e = \rho R T \sum_{\alpha=1}^4 \frac{c_\alpha}{M_\alpha}, \quad \vec{v} = (v_1, v_3), \quad \vec{g} = (0, g). \quad (8)$$

$$Q = (1 - \alpha_c) R_1 + R_2 + \frac{M_c}{M_1} R_3, \quad (9)$$

$$R_{51} = -R_3 - \frac{M_1}{2M_2} R_5, \quad R_{52} = \nu(1 - \alpha_c) R_1 - R_5, \quad R_{54} = 0,$$

$$R_1 = k_1 \rho_1 \varphi_1 \exp\left(-\frac{E_1}{RT_s}\right), \quad R_2 = k_2 \rho_2 \varphi_2 T_s^{-0.5} \exp\left(-\frac{E_2}{RT_s}\right),$$

$$R_3 = k_3 \rho \varphi_3 s_\sigma c_1 \exp\left(-\frac{E_3}{RT_s}\right), \quad R_5 = k_5 M_2 \left(\frac{c_1 M}{M_1}\right)^{0.25} \frac{c_2 M}{M_2} T^{-2.25} \exp\left(-\frac{E_5}{RT}\right).$$

Начальные и граничные условия:

$$t=0: v_1=0, v_3=0, T=T_e, c_\alpha=c_{\alpha e}; \quad (10)$$

$$x_1=-x_{1e}: v_1=V_e, v_3=0, T=T_e, c_\alpha=c_{\alpha e}; \quad (11)$$

$$x_1=x_{1e}: \frac{\partial v_1}{\partial x_1}=0, \frac{\partial v_3}{\partial x_1}=0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_1}=0, \frac{\partial T}{\partial x_1}=0; \quad (12)$$

$$x_3=0: \frac{\partial v_1}{\partial x_3}=0, \frac{\partial v_3}{\partial x_3}=0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_3}=0, \frac{\partial T}{\partial x_3}=0; \quad (13)$$

$$x_3=x_{3e}: \frac{\partial v_1}{\partial x_3}=0, \frac{\partial v_3}{\partial x_3}=0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_3}=0, \frac{\partial T}{\partial x_3}=0; \quad (14)$$

В очаге зажигания задается температура как функция времени и отключается к моменту зажигания полога леса.

$$T = \begin{cases} T_e + (T_0 - T_e) \frac{t}{t_0} \exp \left\{ - (x_1^2 + x_2^2) / \Delta^2 \right\}, t < t_0 \\ T_e + (T_0 - T_e) \exp \left\{ - (x_1^2 + x_2^2) / \Delta^2 \right\}, t > t_0, \end{cases} \quad (15)$$

$$c_3 = \begin{cases} 0, T \neq T_\Gamma \\ c_{30}, T = T_\Gamma \end{cases}.$$

Здесь $R_1 - R_5$, $R_{5\alpha}$ - массовые скорости пиролиза лесных горючих материалов, испарения влаги, горения конденсированных и летучих продуктов пиролиза, образования сажи и пепла и образования α - компонентов газодисперсной фазы; t_0 - время зажигания, c_{pi} , ρ_i , φ_i - удельные теплоемкости, истинные плотности и объемные доли i - ой фазы (1 - сухое органическое вещество, 2-вода в жидко-капельном состоянии, 3 - конденсированные продукты пиролиза, 4 - минеральная часть, 5 - газовая фаза); T , T_s - температура газовой и конденсированной фаз; c_α - массовые концентрации ($\alpha=1$ - кислород, 2 - CO, 3 - твердые частицы, содержащие радиоактивное загрязнение, 4 - инертные компоненты газовой фазы); p - давление; U_R - плотность энергии излучения; σ - постоянная Стефана-Больцмана; k - коэффициент ослабления излучения; k_g , k_s - коэффициенты поглощения для газодисперсной и конденсированной фаз; α_v - коэффициент обмена фаз, q_i , E_i , k_i - тепловые эффекты, энергии активации и предэкспоненты реакций пиролиза, испарения, горения кокса и летучих продуктов пиролиза; s - удельная поверхность элемента лесных горючих материалов; M_α , M_c , M - молекулярные веса индивидуальных компонентов газовой фазы, углерода и воздушной смеси; s , c_d - удельная поверхность фитомассы и эмпирический коэффициент сопротивления полого леса; c - скорость света; v_i - проекции скорости на оси x_i ; V_e - скорость ветра над пологом леса; α_c , v - коксовое число и массовая доля горючих газов в массе летучих продуктов пиролиза; $\dot{m}$ - массовая скорость образования газодисперсной фазы; w_* - характерная скорость выдува из очага лесного

пожара; α_4, α_6 - эмпирические константы; g - ускорение свободного падения. Индексы "0" и "e" относятся к значениям функций в очаге горения и на большом расстоянии от зоны пожара соответственно. Верхний индекс " ' " относится к пульсационной составляющей данной величины. Термодинамические, теплофизические и структурные характеристики соответствуют ЛГМ соснового леса [18] и численно равны: $E_1/R = 9400\text{K}$, $k_1 = 3.36 \cdot 10^4 \text{ c}^{-1}$, $q_1 = 0$, $E_2/R = 6000\text{K}$, $k_2 = 6 \cdot 10^5 \text{ c}^{-1}$, $q_2 = 3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$, $E_3/R = 10^4 \text{ K}$, $k_3 = 10^3 \text{ c}^{-1}$, $q_3 = 1.2 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг}$, $E_5/R = 11500 \text{ K}$, $k_5 = 3 \cdot 10^{13}$, $q_5 = 10^7 \text{ Дж/кг}$, $c_{p1} = 2000$, $c_{p2} = 4180$, $c_{p3} = 900$, $c_{p4} = 1000$, $c_{p5} = 1000 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$, $s = 1000 \text{ м}^{-1}$, $sc_d = 0.1$, $\alpha c = 0.06$, $\rho_4 \varphi_4 = 0.08 \text{ кг/м}^3$, $\nu = 0.7$, $\rho_1 = 500$, $\rho_2 = 1000$, $\rho_3 = 200$, $\rho_e = 1.2 \text{ кг/м}^3$, $c_{2e} = 0$, $\varphi_{3e} = 0$, $pe = 10 \text{ н/м}^2$, $Te = 300 \text{ K}$, $c_{1e} = 0.23$, $c_{30} = 0.09$, $\alpha_4 = 0.66$, $\alpha_6 = 10^{-4}$.

Турбулентные потоки тепла массы и количества движения записываются через градиенты среднего течения в соответствии с формулами, приведенными в [18].

В уравнении (4) полная производная для компонентов газовой фазы при $\alpha = 1, 2, 3, 4$ имеет вид:

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + v_1 \frac{\partial}{\partial x_1} + v_3 \frac{\partial}{\partial x_3}$$

а для компонентов дисперсной фазы при $\alpha = 5$ [6,7]:

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + v_1 \frac{\partial}{\partial x_1} + (v_3 - v_{3\alpha}^{(s)}) \frac{\partial}{\partial x_3},$$

здесь $v_{3\alpha} = 18g\mu / \rho_\alpha^{(s)} d_\alpha^2$ - Стоксова скорость оседания дисперсных частиц, μ - молекулярная динамическая вязкость газовой фазы, g - ускорение свободного падения, $\rho_\alpha^{(s)}$ и d_α^2 - плотность и диаметр дисперсных частиц [23,24].

В программе Matlab получаем наглядные графики распространения продуктов горения, посредством лесного пожара, на прилегающей территории.

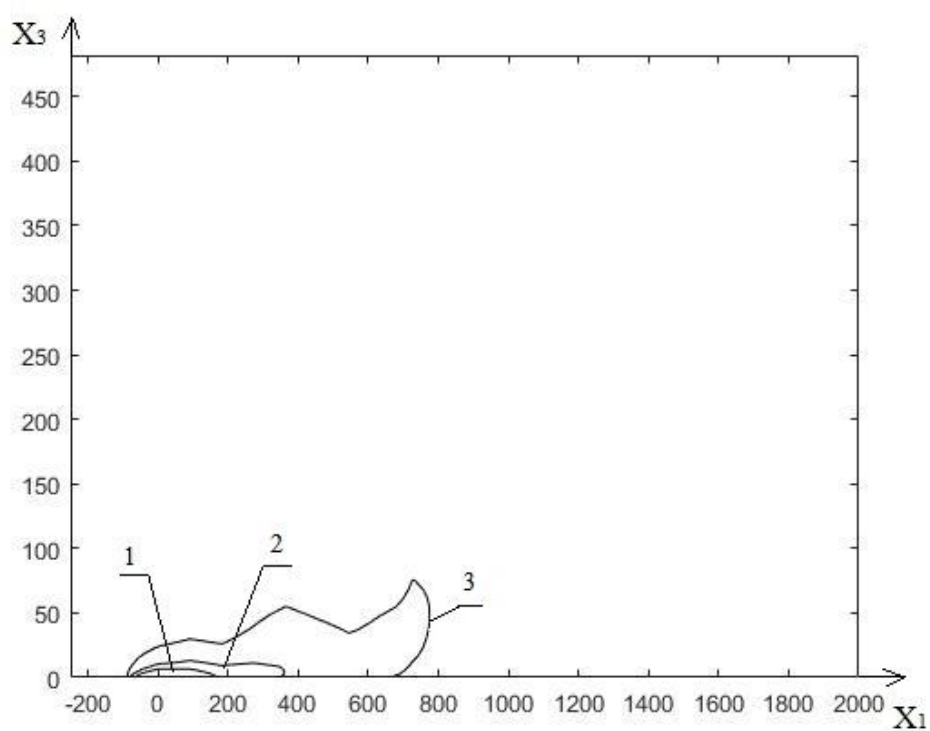


Рис. 5 - График распространения продуктов горения, при скорости ветра $U = 5$ м/с и времени $t=169$ с; 1 - $c_\alpha=0.01$; 2 - $c_\alpha=0.005$; 3 - $c_\alpha=0.001$;

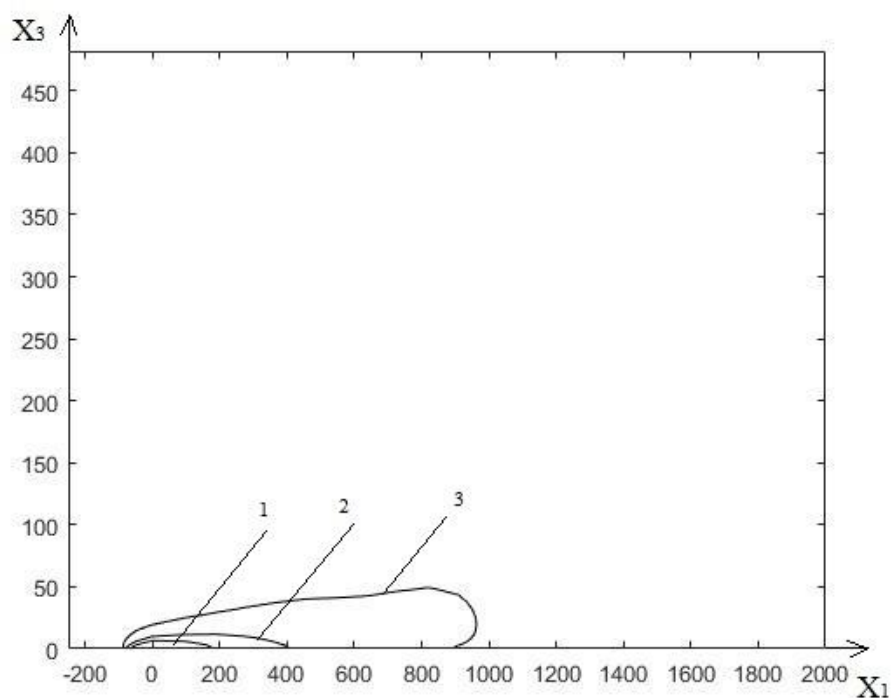


Рис. 6 - График распространения продуктов горения, при скорости ветра $U = 7$ м/с и времени $t=169$ с; 1 - $c_\alpha=0.01$; 2 - $c_\alpha=0.005$; 3 - $c_\alpha=0.001$;

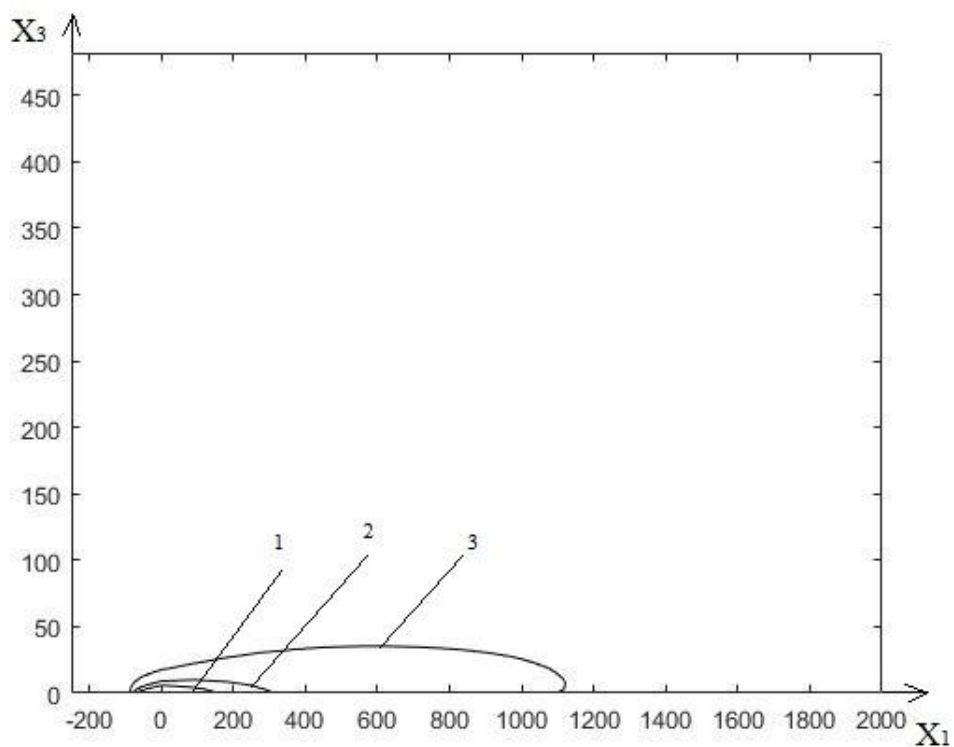


Рис. 7 - График распространения продуктов горения, при скорости ветра $U = 10$ м/с и времени $t=169$ с; 1 - $c_\alpha = 0.01$; 2 - $c_\alpha = 0.005$; 3 - $c_\alpha = 0.001$;

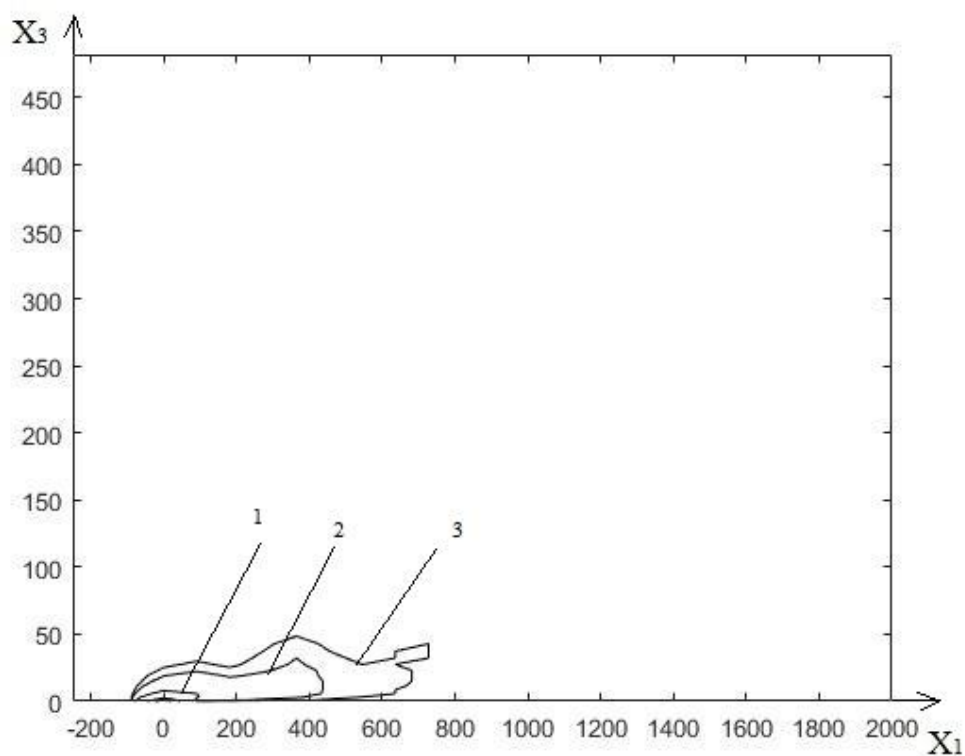


Рис. 8 - График распределения изотерм безразмерной температуры, при скорости ветра $U = 5$ м/с и времени $t=169$ с; 1 – 1.05; 2 – 1.1; 3 – 1.5;

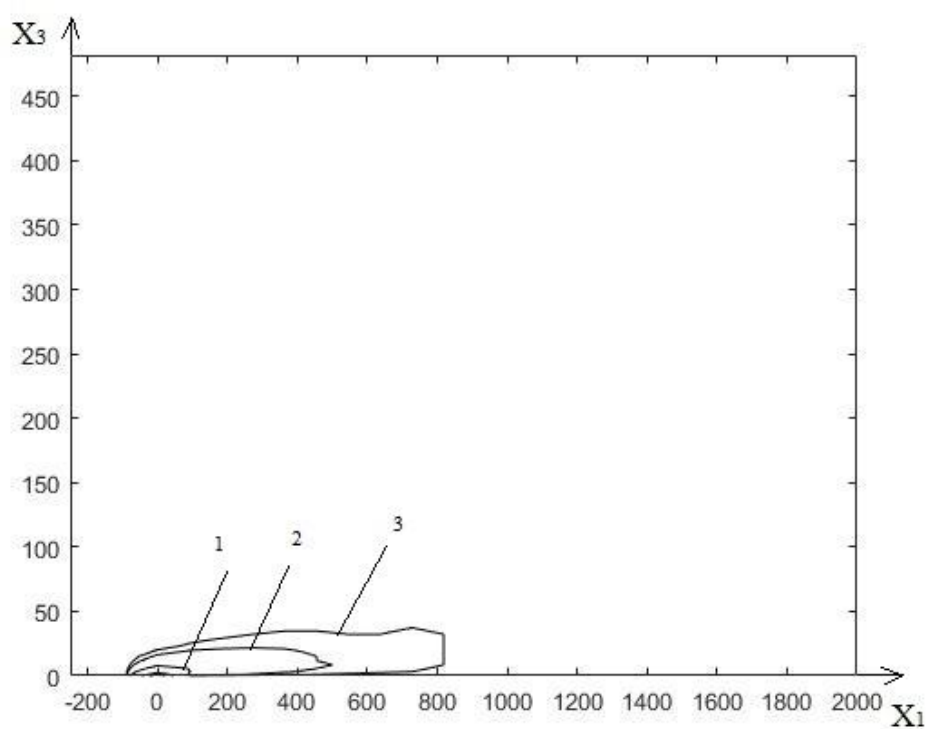


Рис. 9 - График распределения изотерм безразмерной температуры, при скорости ветра $U = 7$ м/с и времени $t=169$ с; 1 – 1.05; 2 – 1.1; 3 – 1.5;

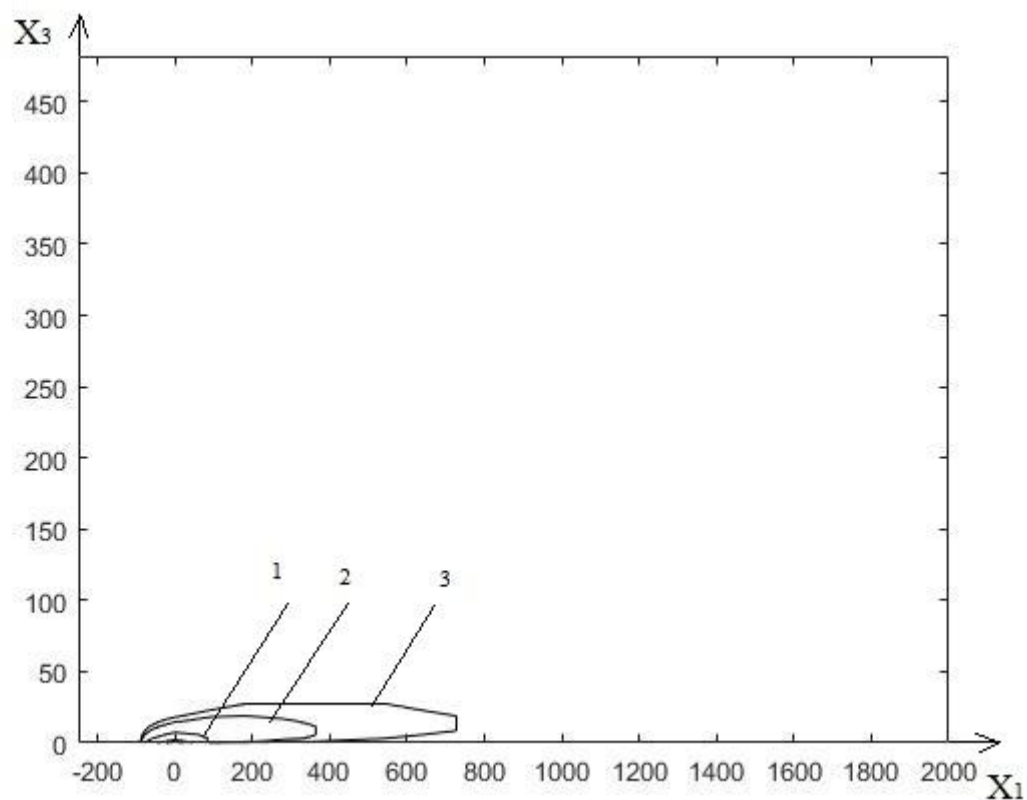


Рис. 10 - График распределения изотерм безразмерной температуры, при скорости ветра $U = 10$ м/с и времени $t=169$ с; 1 – 1.05; 2 – 1.1; 3 – 1.5

Модели распространения радиоактивных веществ будут меняться вследствие изменения скорости ветра над пологом леса, что видно по графикам. По истечении определённого времени, происходит осаждение радионуклидов на территории. Программой производится расчёт уровня радиоактивного загрязнения в зависимости от расстояния до места пожара.

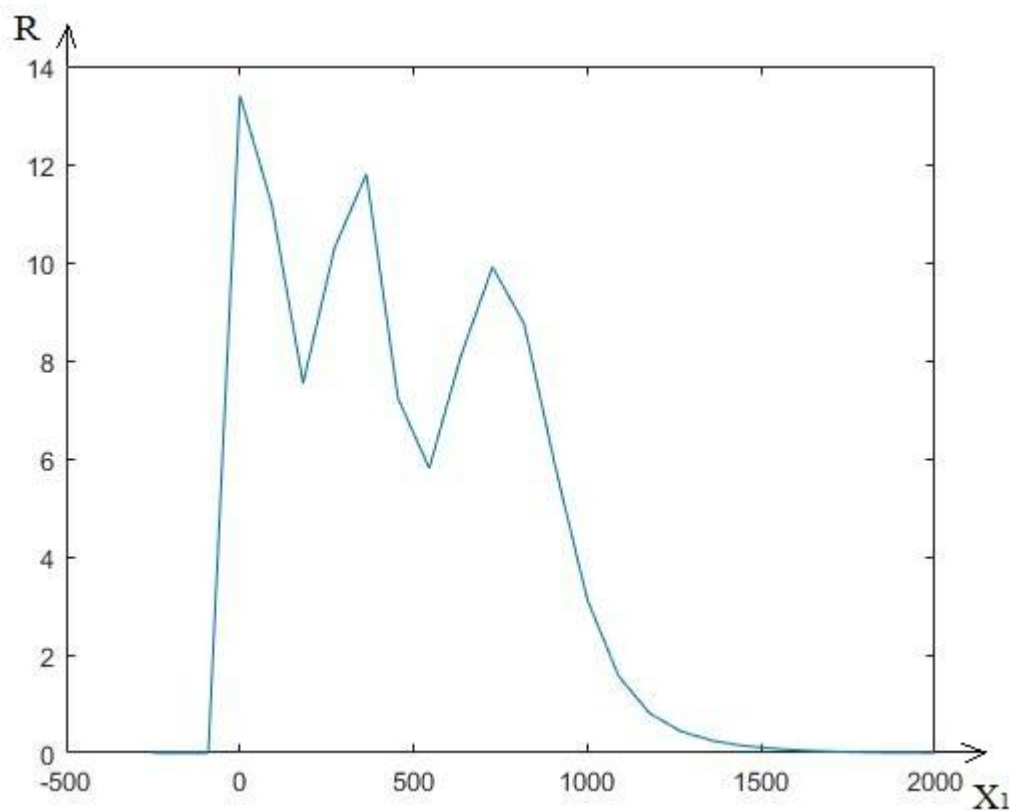


Рис. 11 - График зависимости уровня радиоактивного загрязнения от расстояния до места пожара, при скорости ветра $U = 5$ м/с и времени $t=169$ с

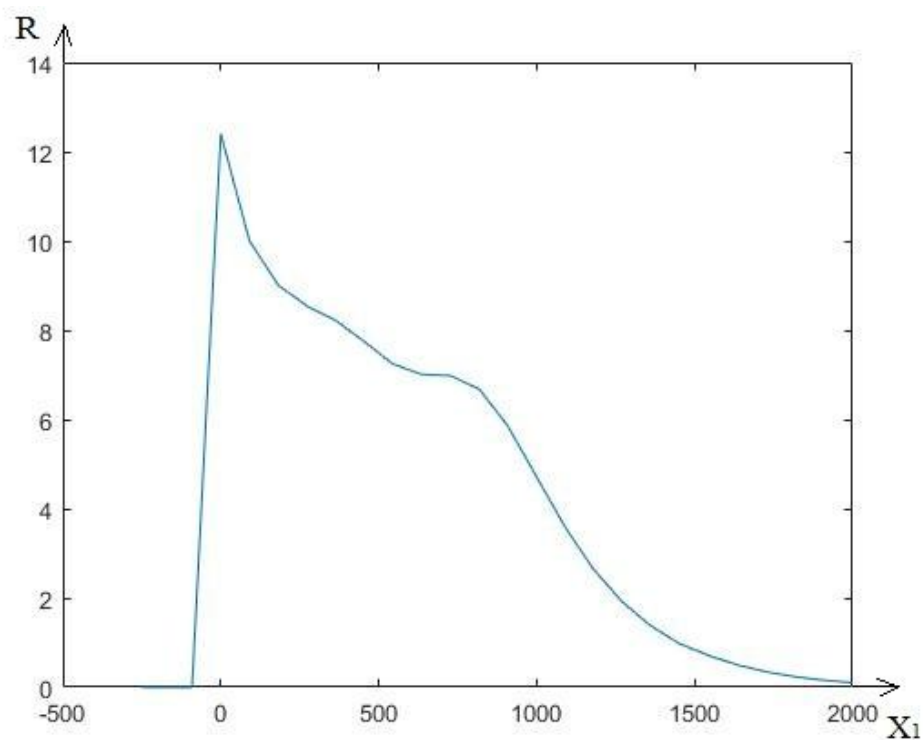


Рис. 12 - График зависимости уровня радиоактивного загрязнения от расстояния до места пожара, при скорости ветра $U = 7$ м/с и времени $t=169$ с

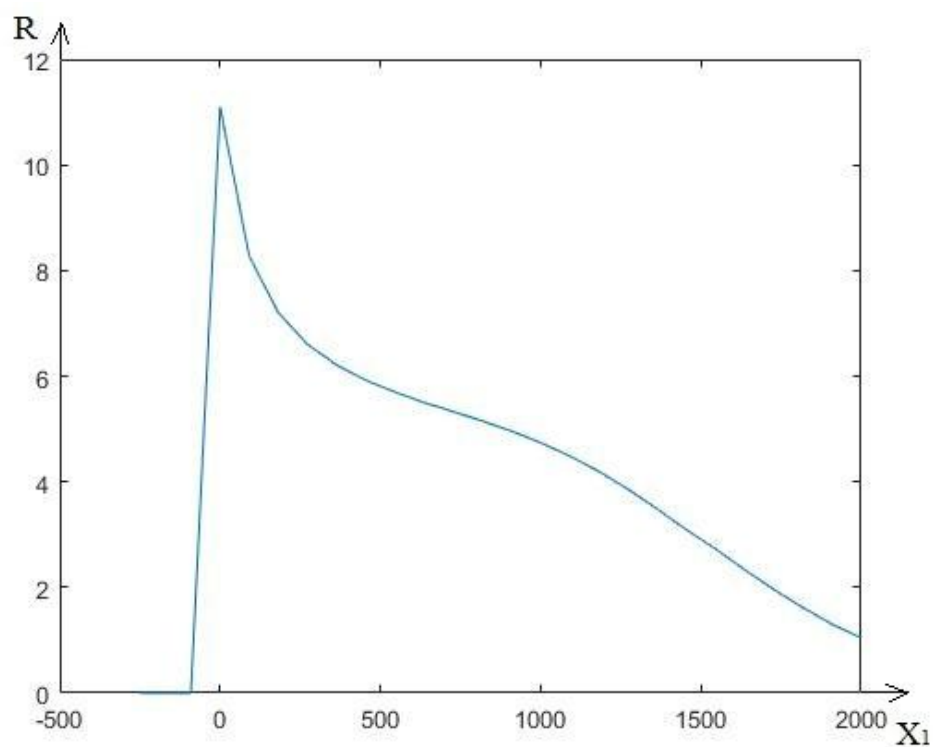


Рис. 13 - График зависимости уровня радиоактивного загрязнения от расстояния до места пожара, при скорости ветра $U = 10$ м/с и времени $t=169$ с

$$R = \gamma \int_0^h \rho c_3 dx_3,$$

Где

γ - уровень радиоактивного загрязнения единицы массы продуктов горения, Ки/кг;

h - высота полога леса, м

R – уровень радиоактивного загрязнения от расстояния до места пожара, Ки/км²

В результате происходит реализация практического требования, которое предъявляется к большинству современных моделей распространения радиоактивных веществ, прежде всего, связанное с важностью оценки накопленной дозы облучения на основе пространственно-временного распределения активности.

Таким образом, в соответствии с [18] среда считается двухскоростной, что позволяет учесть седиментацию - оседание частиц под действием силы тяжести. В системе (1)-(9) величины τ , J_α , q_T характеризуют обмен импульсом, массой α - компонента и энергией, как с приземным слоем атмосферы, так и с нижним ярусом леса и определяются соответствующими граничными условиями. Таким образом, совокупность уравнений (1) -(14) являются балансовыми соотношениями массы, энергии и количества движения, представляющие собой постановку сопряженной задачи, решение которой позволяет определить характеристики сложного взаимосвязанного процесса распространения лесного пожара.

Для системы уравнений (1) - (9) с начальными и граничными условиями (10)-(14) для численного интегрирования дискретный аналог получен с помощью метода контрольного объема [29]. Сеточные уравнения, возникающие в процессе дискретизации, разрешались с помощью метода *SIP*. Для согласования полей скорости и давления использовался алгоритм *SIMPLE* [29].

В результате численного интегрирования получены поля массовых концентраций компонент газовой фазы, температур, объемных долей компонентов твердой фазы.

3. Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Суть работы заключается в исследовании модели распространения радиоактивных веществ в результате лесного пожара, подверженного радиоактивному заражению. Исследование в своем роде уникально, на практике позволяет проводить прогнозы потенциально опасных территорий, территорий требующих эвакуации населения или изолирование экосистем, с целью обеспечить безопасность населения этих территорий и систем биогеоценоза. Даёт возможность увидеть полную картину модели распространения радиоактивных веществ в лесном пожаре, их концентрацию на территории, позволяя провести локализацию чрезвычайной ситуации быстрее и эффективнее, сохраняя жизни и здоровье, как в первую очередь, ликвидаторов последствий, так и людей в прилегающих зонах.

Исходя из этого, можно выделить потенциальных потребителей результатов исследования, это региональные подразделения МЧС России, нештатные аварийно-спасательные формирования и другие подразделения, связанные с ликвидацией ЧС. На территории Томской области потенциальными потребителями являются главное управление МЧС России по Томской области, пожарные части МЧС России, по России – управление МЧС России по Брянской области.

Цель исследования – создание рабочей модели, способной показывать потенциально поражённую зону радиоактивного пожара в лесу, и рассчитать экономические затраты подобной разработки.

В ходе исследования необходимо решить следующие задачи:

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

3.1.2 Анализ конкурентных технических решений

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

Таблица 3.1 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _{к3}	Б _{к1}	Б _{к2}	К _{к3}	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Удобство эксплуатации	0,07	4	4	3	0,28	0,28	0,14
Автоматический расчет уравнений программой	0,08	5	3	2	0,32	0,24	0,24
Простота эксплуатации	0,18	4	2	3	0,72	0,36	0,52
Качество интеллектуального интерфейса	0,1	3	3	4	0,16	0,16	0,2

Визуальное представление результатов	0,17	2	4	4	0,18	0,3	0,3
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность продукта	0,09	5	3	3	0,45	0,24	0,24
Точность	0,14	4	3	2	0,7	0,42	0,56
Финансирование разработки	0,07	4	2	3	0,35	0,21	0,28
Цена лицензии	0,1	3	2	4	0,2	0,15	0,25
Итого	1	34	26	28	3,36	2,36	2,73

где K_1 – программа Visual Studio; K_2 – программа Mathcad, K_3 – программа Matlab;

Таким образом, конкурентоспособность разработки составила 3,36, в то время как двух других аналогов (Visual Studio и Mathcad) 2,36 и 2,73 соответственно.

Результаты показывают, что данная научно-исследовательская разработка является конкурентоспособной и имеет преимущества по таким показателям, как простота эксплуатации, точность, финансирование разработки, автоматизация расчётов программы.

3.1.3 SWOT-анализ

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

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

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

В рамках третьего этапа лежит составление итоговой матрицы SWOT-

анализа. Результаты учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках исследования.

Таблица 3.2 - SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С₁. Наличие опытного руководителя.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл₁. Отсутствие квалифицированных
--	--	--

Продолжение таблицы 3.2

	С₂. Более низкая стоимость, по сравнению с другими технологиями. С₃. Использование современного оборудования С₄. Представление полученной информации наглядно (графики,. формулы, таблицы). С₅. Актуальность программы	кадров для работы с программой. Сл₂. Более низкая стоимость, по сравнению с другими технологиями. Сл₃. Использование современного оборудования Сл₄. Представление полученной информации наглядно (графики,. формулы, таблицы).
--	--	--

Возможности: В₁. Повышение стоимости конкурентных разработок В₂. Появление дополнительного спроса на новый продукт В₃. Повышение уровня предотвращения загрязнения экосистем В₄. Повышение уровня оперативного реагирования спец. служб	- В результате низкой стоимости продукт могут позволить себе многие организации; - В результате использования современных технологий повысится скорость локализации экологического загрязнения; - При вышеперечисленных возможностях мы добьемся наглядного	- При отсутствии навыков владения программой, результаты будут смазаны или в корне неверны, вследствие чего модель распространения будет отличаться от действительной ситуации.
---	--	--

Продолжение таблицы 3.2

В₅. Повышение уровня локализации пожаров	распространения пожара и более быстрой его локализации	
Угрозы: У₁. Отсутствие навыков персонала пользоваться программой. У₂. Появление	- Спрос программы не будет теряться из за финансовой выгоды моделирования, в сравнении с экспериментальными	- Проведение обучения сотрудников организаций по работе с программой. - Расширить области

конкурентов.	методами	применения программы.
У ₃ . Появление новых технологий.	прогнозирования; т.к. подобные методы опасны для экологии и несут колоссальные материальные затраты.	- Засертифицировать программу.
У ₄ . Отсутствие спроса на программу.		
У ₅ . Введение дополнительных государственных требований и сертификации программы.	- В силу малых затрат проекта представляется возможность вложения дополнительных денежных средств в развитие других услуг, таких как сертификация.	

3.2 Планирование научно-исследовательских работ

3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ.

Таблица 3.3 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение темы ВКР	Научный руководитель, студент
	2	Календарное планирование ВКР	Научный руководитель, студент

Выбор направления исследования	3	Подбор материалов по теме ВКР	Студент
Теоретические исследования	4	Изучение литературы по теме ВКР	Студент
	5	Написание теоретической части ВКР	Студент
	6	Подведение промежуточных итогов	Научный руководитель, студент
	7	Изучение компьютерной программы для практической части ВКР	Научный руководитель, студент
Экспериментальные исследования	8	Моделирование распространения пожара в программном продукте «MatLab»	Студент
	9	Проведение расчетов и обоснований по теме ВКР	Студент
Оценка полученных результатов	10	Анализ полученных результатов	Студент
	11	Подведение итогов	Научный руководитель, студент
	12	Оформление итогового варианта ВКР	Студент

3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (3.2.1)$$

где: $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\text{min}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется

продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{oji}}{Ч_i}, \quad (3.2.2)$$

где: T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

t_{oji} – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

4. $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

3.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

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

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \times k_{\text{кал}}, \quad (3.2.3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (3.2.4)$$

где: $T_{\text{кал}} = 365$ – количество календарных дней в году;

5. $T_{\text{вых}} = 104$ – количество выходных дней в году;

6. $T_{\text{пр}} = 14$ – количество праздничных дней в году.

$$7. k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48.$$

8. Все рассчитанные значения вносим в таблицу (таблица 3.4).

Таблица 3.4 Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	t_{oji} , чел-дни			
Составление и утверждение темы ВКР	5	8	6,2	Научный руководитель, студент	3,1	5
Календарное планирование ВКР	7	10	8,2	Научный руководитель, студент	4,1	6
Подбор материалов по теме ВКР	7	15	10,2	Студент	10,2	15
Изучение литературы по теме ВКР	10	20	14	Студент	14	21
Написание теоретической части ВКР	7	20	12	Студент	12	18
Подведение промежуточных итогов	5	8	6,2	Научный руководитель, студент	3,1	5
Изучение компьютерной программы для практической части ВКР	7	20	12	Научный руководитель, студент	6	9
Моделирование распространения пожара в программном продукте	7	20	12	Научный руководитель студент	6	9
Проведение расчетов и	3	10	5,8	Студент	5,8	9

обоснований по теме ВКР						
Анализ полученных результатов	3	7	4,6	Студент	4,6	7
Подведение итогов	3	7	4,6	Научный руководитель, студент	2,4	3
Оформление итогового варианта ВКР	7	10	8,2	Студент	8,2	12

После заполнения таблицы 3.4 строим календарный план-график (табл. 3.5). При этом работы на графике выделим различной штриховкой в зависимости от исполнителей.

Таблица 3.5 Календарный план-график

№ рабо т	Вид работ	Исполните ли	T _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февр		март			апрел ь			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение темы ВКР	Рук. студент	5														
2	Календарное планировани е ВКР	Рук, студент	6														
3	Подбор материалов по теме ВКР	Студент	15														
4	Изучение литературы по теме ВКР	Студент	21														
5	Написание теоретическо й части ВКР	Студент	18														
6	Подведение промежуточн ых итогов	Рук, студент	5														

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Для нашего расчета возьмем 15%.

Таблица 3.6 - Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество		Цена за ед., руб.		Затраты на материалы, (З _м), руб.	
		Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
Бумага	лист	100	160	2	2	230	368
Краска для принтерных картриджей	шт.	1	1	1300	1300	1495	1495
Ручка	шт.	1	1	20	20	23	23
Тетрадь	шт.	1	1	40	40	46	46
Итого:						3726	

3.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Стоимость оборудования, используемого при выполнении данной научно-исследовательской работы, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Годовая норма амортизации выражается в процентном соотношении к первичной (восстановительной) стоимости имущества и рассчитывается по формуле:

$$K = (1 : n) * 100\%, \quad (3.3.2)$$

где K – годовая норма амортизации;

n – срок эксплуатации в годах.

При линейном методе начисления амортизации формула расчета представляет:

$$A = C \cdot K / 12, \quad (3.3.3)$$

где A – размер ежемесячных амортизационных отчислений;

C – первичная стоимость имущества;

K – норма амортизации;

Срок эксплуатации оборудования примем 4 года.

Таблица 3.7 Расчет амортизационных отчислений

№ п/ п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования		Цена единицы оборудования, руб.		Размер ежемесячных амортизационных отчислений руб.	
		Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
1.	ПК	1	1	60000	50000	1250	1042
Итого:						2292	

3.3.3 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Основная заработная плата работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (3.3.4)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{осн}$).

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (3.3.5)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (3.3.6)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дни (табл. 3.8).

Таблица 3.8 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	118	118
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	199	199

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p, \quad (3.3.7)$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{тс}}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $З_{тс}$);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Таблица 3.9 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	$З_{тс}$, руб.	k_p	$З_m$, руб.	$З_{дн}$, руб.	$T_{p,раб. дн.}$	$З_{осн,руб.}$
Руководитель	36800	1,3	71760	3750,27	25	93756,75
Студент	17000	1,3	33150	1732,46	80	138596,8
Итого:						232353,55

3.3.4 Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата включает заработную плату за не отработанное рабочее время, но гарантированную действующим законодательством.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по формуле 8:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн}, \quad (3.3.8)$$

Расчеты сделаны при $k_{доп}$ равен 0,12.

Таблица 3.10- Затраты на дополнительную заработную плату

Исполнители	Основная зарплата(руб.)	Коэффициент дополнительной заработной платы ($k_{доп}$)	Дополнительная зарплата(руб.)
Руководитель	93756,75	0,12	11250,81
Студент	138596,8	0,12	16631,62
Итого:			27882,43

3.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (3.3.9)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.) На 2017 г. в соответствии с Федеральным законом от 03.07.2016 №243-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30% (пенсионный фонд 22%, фонд соц. страхования – 2.9%, федеральный фонд медицинского страхования – 5.1%).

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в табличной форме (табл. 3.11)

Таблица 3.11 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	93756,75	11250,81
Студент	138596,8	16631,62
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды - 0.3		
Итого – 78070,79		

3.3.6 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей 1 – 5}) * k_{нр} \quad (3.3.10)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. $k_{нр}=16\%$

Таким образом, накладные расходы равны:

$$З_{накл} = (3726 + 2292 + 232353,55 + 27882,43 + 78070,79) * 0,16 = 55091,96 \text{ руб.}$$

3.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 3.12 - Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Доля затрат, %
Материальные затраты НТИ	3726	0,9
Затраты на амортизацию оборудования	2292	0,6
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	232353,55	58,2
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	27882,43	7
Отчисления во внебюджетные фонды	78070,79	19,5
Накладные расходы	55091,96	13,8
Бюджет затрат НТИ	399416,73	100%

3.4 Определение эффективности исследования

В ходе исследования была выполнена цель – проектирование и создание конкурентоспособной разработки, заключающиеся в модели распространения радиоактивных веществ, в загрязнённом радиацией, лесном пожаре.

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

Был проведен анализ конкурентных технических решений, где получен коэффициент исследования конкурентных показателей. Коэффициент находится выше конкурирующих программ (Visual Studio и Mathcad), с чего можно сделать вывод, что исследование базирующиеся на методе моделирования в данной программе – Matlab, является наиболее эффективным.

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

Выявленная эффективность исследования, которая имеет больше экологический характер, т.к. последствия ЧС выливаются на

жизнедеятельность экосистем и людей, в прилегающих территориях. И если оперативно определить масштабы проблемы, то выполнение работ по ликвидации и локализации ЧС затратят в разы меньшее количество времени и материальных ресурсов, уменьшая экологические последствия на окружающую среду и уменьшая время пребывания ликвидаторов на опасной территории.

Результаты математического моделирования лесных пожаров могут быть использованы при разработке профилактических мероприятий по предотвращению распространения лесных пожаров, ускоряя работу средств быстрого реагирования и систем раннего мониторинга

4. Раздел «Социальная ответственность»

Введение

На сегодняшний день одной из актуальных проблем являются лесные пожары, и особенно опасные из них пожары в лесах загрязнённых радионуклидами.

Подобные пожары сопровождаются нанесением ущерба окружающей среде, материальными потерями, а иногда и человеческими жертвами. Данные пожары являются наиболее сложными и представляют опасность, как для населения близлежащих участков, так и для экосистемы в целом. Наиболее опасному воздействию подвергаются ликвидаторы подобных ЧС – люди, принимающие участие, как в тушении самих очагов возгорания, так и “обеззараживании” поражённых территорий.

В данном разделе выпускной квалификационной работы будут рассмотрены вредные и опасные факторы при ликвидации пожаров, так и в непосредственной близости к ним, действующие на пожарного или группу пожарных, которые будут проводить работы по ликвидации этой ЧС. А так же воздействие радиации на окружающую среду, экологическая безопасность и правовые, организационные вопросы обеспечения безопасности.

4.1 Производственная безопасность

Таблица 4.1 - Опасные и вредные факторы при тушении пожаров в лесном массиве.

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Полевые работы: 1. Тушение; 2. Охлаждение соседних резервуаров в группе. 3. Захоронение участков леса	1. Загазованность воздушной среды; 2. Огнетушащие вещества; 3. Превышение уровней шума и вибрации; 4. Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе. 5. Воздействие ионизирующего излучения	1. Пламя и искры; 2. Токсические продукты горения и термического разложения; 3. Радиоактивная пыль; 4. Повышенная температура окружающей среды; 5. Механические опасности. 6. Высокий уровень радиации 7. Пониженная концентрация кислорода	➤ ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные факторы». ➤ ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность». ➤ ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». ➤ ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». ➤ СП 2.6.1–758–99. Нормы радиационной безопасности, НРБ–99. ➤ Приказ Минприроды России от 08.07.2014 N 313 (ред. от 16.02.2017) "Об утверждении Правил тушения лесных пожаров"

4.1.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов

К вредным производственным факторам относятся:

- Загазованность воздушной среды;
- Радиоактивность среды;
- Огнетушащие вещества;
- Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе;
- Воздействие ионизирующего излучения

К опасным производственным факторам относятся:

- Пламя и искры;
- Высокий уровень радиации;
- Токсические продукты горения и термического разложения;
- Радиоактивная пыль;
- Повышенная температура окружающей среды;
- Пониженная концентрация кислорода;
- Механические опасности;

Загазованность воздушной среды

Чаще всего люди на пожарах гибнут не от огня и высокой температуры, а из-за понижения концентрации кислорода в воздухе. В обычных условиях человек дышит атмосферным воздухом с содержанием кислорода 20,9%. В условиях пожара при сгорании веществ и материалов уровень кислорода в воздухе уменьшается. Содержание кислорода в начальной стадии пожара снижается до 16 %, в то время как уже при 17 % происходят ухудшение двигательных функций, нарушение мускульной координации, затруднение мышления и притупление внимания. Концентрация кислорода должна быть не менее 15%. В качестве средств защиты личного состава применяют изолирующие противогазы (КИП-8 и КИП-7).

Радиоактивность среды

При тушении лесных пожаров, возникающих на территориях, загрязненных радионуклидами, приоритетными задачами являются сохранение жизни и здоровья людей, выполняющих работы по тушению, и предотвращение распространения радионуклидов на сопредельные территории.

Особенности тушения лесных пожаров разделяются по зонам радиоактивного загрязнения.

В зоне с плотностью загрязнения почвы цезием-137 от 1 до 5 Ки/км² (37 - 185 кБк/м²) и стронцием-90 - от 0,15 до 1 Ки/км² (5,55 - 37 кБк/м²):

- а) тушение лесных пожаров проводится, преимущественно аналогичными способами как на незагрязненных территориях, с принятием дополнительных мер по защите работников, осуществляющих работы по тушению, от вредного воздействия пыли и продуктов горения лесных горючих материалов;
- б) тушение горячей кромки лесных пожаров проводится наземными и (или) авиационными средствами при помощи воды и водных растворов химических огнетушащих веществ, а также созданием перед кромкой лесного пожара заградительных полос путем слива огнезащитных растворов с использованием наземных и (или) авиационных средств.

В зоне с плотностью загрязнения почвы цезием-137 от 5 до 15 Ки/км² (185 - 555 кБк/м²):

- а) остановка и тушение лесных пожаров проводятся без выполнения работ на кромке лесного пожара путем создания заградительных и опорных химических полос при помощи наземных механизмов, а также с использованием вертолетов с водосливными устройствами и самолетов-танкеров;
- б) дотушивание лесных пожаров проводится с использованием пожарных автоцистерн с установленными пожарными лафетными стволами, а также с использованием пожарных мотопомп.

В зонах с плотностью загрязнения почвы цезием-137 от 15 до 40 Ки/км² (555 - 1480 кБк/м²) и более 40 Ки/км² (1480 кБк/м²):

- а) остановка и тушение лесного пожара проводятся в соответствии со специально разработанными для условий радиоактивного загрязнения регламентирующими документами, в которых учтены требования радиационной безопасности при тушении радиоактивного лесного пожара;
- б) остановка и тушение лесного пожара проводятся вертолетами с водосливными устройствами и самолетами-танкерами;

- с) окончательная локализация и дотушивание лесных пожаров проводятся наземными силами и средствами пожаротушения, при этом используются автоцистерны с установленными пожарными лафетными стволами и пожарные вездеходы на базе специальной (военной) техники, а для дотушивания пожаров - пожарные мотопомпы.

Огнетушащие вещества

Наряду с огнетушащей способностью важнейшей характеристикой огнетушащих газов и аэрозолей считается токсичность (степень химической вредности), или в более широком представлении - токсическая опасность, зависящая в условиях пожаротушения от физико-химических свойств и биологической активности применяемых веществ, их количества, времени контакта с пламенем или нагретыми поверхностями, продолжительности воздействия на биообъект и других факторов. Само воздействие огнетушащих веществ на человека в этих условиях следует рассматривать, прежде всего, как экстремальное, как характерный для аварийной ситуации внезапный, интенсивный и кратковременный химический удар.

Превышение уровней шума и вибрации

Шум, вибрация и ультразвук представляют собой колебания материальных частиц газа, жидкости или твердого тела. Производственные процессы часто сопровождаются значительным шумом, вибрацией и сотрясениями, которые отрицательно влияют на здоровье и могут вызвать профессиональные заболевания. Всякое возрастание шума над порогом слышимости увеличивает мускульное напряжение, значит, повышает расход мышечной энергии. Под влиянием шума притупляется острота зрения, изменяются ритмы дыхания и сердечной деятельности, наступает понижение трудоспособности, ослабленность внимания. Кроме того, шум вызывает повышенные - раздражимость и нервозность. Нормирование шума. Осуществляются в соответствии с ГОСТ 12.1.003-83.

Систематическое воздействие общих вибраций, характеризуются высоким уровнем виброскорости, может приводить к виброболезни, которая

характеризуется нарушением физиологических функций организма, связанными с поражением ЦНС.

Они вызывают: головные боли, головокружение, расстройство сна, снижение работоспособности. Нарушение сердечной деятельности, сердечнососудистой системы. Нормирование вибраций осуществляется в соответствии с ГОСТ 12.1.012-90.

Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе

Оптимальные микроклиматические условия это такие параметры микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают нормальное тепловое состояние организма без напряжения и нарушения механизмов терморегуляции.

Наиболее частыми причинами отклонения параметров микроклимата от нормативных является поступление избыточного тепла в воздух производственного помещения, или водяного пара от работающего оборудования.

Защита от прямого воздействия теплового излучения осуществляется экранированием - установкой термического сопротивления на пути теплового потока. Экраны весьма разнообразны, по принципу действия бывают поглощающими и отражающими лучистое тепло. Они могут быть стационарными и передвижными. Экраны защищают человека не только от тепловых лучей, но и предохраняют от воздействия искр, раскаленных и горячих брызг, выплеск ей жидкостей и выбросов шлаков.

Для уменьшения влажности в производственных помещениях следует избегать технологических процессов с открытыми поверхностями, испарения жидкости. Технологическое оборудование должно быть герметизированное, а для удаления паров - оборудованное вытяжками. Как средство удаления влаги из воздуха помещения используется вентиляция. В помещениях, где действуют оптимальные нормы микроклимата, следует устанавливать аппараты для кондиционирования воздуха. Облегчению теплоотдачи от тела

человека способствует повышению скорости движения воздуха, омывающего тело. Осуществляется это с помощью вентиляционных систем.

При необходимости выполнения работ в зоне повышенной температуры воздуха или в горячих реактивных зонах оборудования пользуются средствами индивидуальной защиты от инфракрасных излучений - термозащитной одеждой, изолирующими аппаратами органов дыхания, специальными перчатками, касками и др.

Пламя и искры

Горение всех жидких, газообразных и большинства твердых горючих веществ, которые, разлагаясь или испаряясь, выделяют газообразные продукты, сопровождается образованием пламени.

Температура пламени при горении на воздухе древесины составляет - 850-1400°C, нефтепродуктов в резервуаре - 1100-1300°C. Все тепло в процессе горения выделяется из пламени. Часть этого тепла расходуется на нагревание продуктов горения и становится источником для поддержания дальнейшего горения. Вторая часть его уносится в пространство в виде тепловых лучей, которые нагревают окружающие предметы, а некоторые из них - даже поджигают.

Открытый огонь очень опасен, т.к. воздействие пламени на тело человека вызывает ожоги. Еще большую опасность представляет тепловое излучение огня, которое может вызвать ожоги тела, глаз и др. При горении технологических установок интенсивность излучения тепла настолько велика, что человек без специальных средств защиты подойти к ним ближе, чем на 10 м, не может. Температурный порог жизнеспособности тканей человека составляет 70°C. В качестве средств защиты от пламени и искр необходимо использовать огнестойкую одежду.

Токсические продукты горения и термического разложения

В зависимости от того, каким количеством кислорода окисляется горючее вещество, различают два вида горения: полное и неполное. При наличии достаточного количества кислорода происходит полное горение. При

этом основным продуктом горения является углекислый газ, неспособный к дальнейшему горению. Если же кислорода не хватает, происходит неполное сгорание, основным продуктом которого является окись углерода, или так называемый угарный газ. Окись углерода способна гореть и в соединении с воздухом образовывать взрывчатые смеси. Кроме того, она обладает отравляющими свойствами. Большую опасность для жизни людей представляют дымовые газы. Так, диоксид углерода CO_2 в концентрации 3-4,5% становится опасным для жизни при вдыхании в течение нескольких минут. Основным механизмом токсического воздействия CO_2 на человека является блокирование гемоглобина крови, при этом нарушается поступление кислорода из легких в ткани, что приводит к кислородному голоданию. Токсичные продукты горения: CO , CO_2 , NH_3 , Br_2 , Cl_2 , H_2 , S , HCl и т.д. Их токсичное действие увеличивается при понижении концентрации O_2 в атмосфере.

Прежде всего, выделяется большое количество оксида углерода, углекислого газа, оксидов азота, которые насыщают окружающее пространство, в котором происходит горение, и создают опасные для жизни человека концентрации. Для углекислого газа не более 0.11 кг/м^3 , через 4 часа – падение давления и смерть. Для оксида углерода концентрация в воздухе не более $1.16 \times 10^{-3} \text{ кг/м}^3$, вдыхание в составе воздушной смеси в течение 5-10 минут - смертельно. В качестве средств защиты личного состава применяют изолирующие противогазы (КИП-7 и КИП -8).

Повышенная температура окружающей среды

В результате аварийного разрыва трубопровода, происходит возгорание нефтегазопродуктов и образование огненного шара, который зажигает близлежащий растительный покров. Тепловая энергия, выделяемая в ходе реакции горения лесного массива и огненного шара, способствует повышению температуры окружающей среды.

Повышенная температура окружающей среды приводит к нарушению теплового режима тела человека, вызывает перегрев, ухудшение самочувствия

из-за интенсивного выведения необходимых организму солей, нарушения ритма дыхания, деятельности сердца и сосудов. При воздействии температуры свыше 100°C человек теряет сознание и гибнет через несколько минут. Опасны для человека ожоги кожи. Несмотря на большие успехи медицины в их лечении, у пострадавшего, получившего ожоги второй степени на 30% поверхности тела, мало шансов остаться в живых. Исследованиями установлено, что во влажной атмосфере, типичной для пожара, вторую степень ожога вызывает температура значительно ниже указанной. Таким образом, температура окружающей среды $60-70^{\circ}\text{C}$ опасна для жизни человека. В качестве средств защиты личного состава применяют изолирующие противогазы и термостойкие и теплоотражательные костюмы.

Механические опасности

Разрушение конструкций и установок происходит вследствие потери ими несущей способности под воздействием высоких температур и взрывов. При этом люди могут получить значительные механические травмы, оказаться под обломками завалившихся конструкций.

4.2 Оценка тяжести и напряженности трудового процесса пожарных

На основании изучения элементов трудовой деятельности, выполняемых личным составом в течение смены при различных видах работ, определены уровни факторов тяжести труда. Средние уровни внешней механической работы или физической динамической нагрузки среди пожарных и водителей не превышают допустимых значений. Показатели физической динамической нагрузки определены суммарным переносом грузов за смену.

Чаще всего переносимыми грузами являются: пожарный рукав, вес которого в зависимости от диаметра колеблется в пределах 5-7 кг, вес влажного рукава составляет 12-21 кг, комплект находящийся в одной машине состоит из 8 рукавов; стволы (вес 2 кг); пожарная колонка (18 кг); люки гидрантов (24 кг); водосборник (4 кг); лафетный ствол (22 кг); различные виды

пожарных лестниц (вес от 25 до 45 кг); пожарный инвентарь, топор (2,5 кг/лом (5 кг), лопаты (1,5 кг), веревки (2 кг).

Перечисленное оборудование переносится вручную при следующих видах работ: боевое развертывание при тушении пожара, на учениях и занятиях, при отработке нормативов, при проверке гидрантов. Количество выполняемых операций в каждую смену различно. Расстояние, на которое переносится груз, варьирует от 1 до 200 м.

Величина статической нагрузки у пожарных определяется удержанием ствола при тушении пожаров, удержанием рукавов при уборке гаража, удержанием различных видов грузов (пожарных средств и инвентаря). Характер рабочей позы при ведении хронометражных исследований определялся визуально. Рабочая поза - стоя у пожарных отмечается при тушении пожаров, отработке нормативов, проведении пожарно-тактических занятий и учений, отработке оперативных планов и карточек, разводе караул. Нахождение в позе - стоя у пожарных колеблется в пределах 29,0-50,0 %. Рабочая поза - сидя отмечается во время теоретических занятий, следования к очагу возгорания, при дежурстве в качестве дневального и составляет 10,0-22,0 %. Пожарные могут находиться в неудобной рабочей позе в момент тушения пожара (например, при тушении пожара в подвале), а также при отработке нормативов и выполнении хозяйственных работ.

Перемещения в пространстве, обусловленные трудовым процессом в течение смены, связаны с основными видами работ, вспомогательными и подготовительно-заключительными. Перемещения по вертикали отмечаются при передвижении по лестничным пролетам, как в помещениях пожарных частей, так и в жилых зданиях во время выездов по тревоге, а так же по пожарным лестницам.

Общая оценка по степени физической тяжести за смену, соответствует допустимому второму классу условий труда, что определяется как средняя физическая нагрузка.

Оценка напряженности труда также основана на анализе структуры и содержании трудовой деятельности личного состава, которые изучены путём хронометражных наблюдений в динамике рабочей смены. Труд пожарных связан со значительным эмоциональным напряжением, для них характерна работа в рамках инструкций. Особенностью их боевой деятельности являются, дефицит времени и неопределённость ситуации (отсутствие полной информации о пожаре). Также работа пожарных связана со значительным риском для их жизни (взрывы, обвалы, высокая температура, вредные химические вещества), т.е. наличием большого числа стресс-факторов. У них высока степень ответственности за безопасность других лиц (как пострадавших, так и коллег по работе). В боевых условиях пожарные должны оперативно реагировать на изменения обстановки, поддерживать интенсивность и концентрацию внимания, держать в поле зрения состояние многочисленных конструкций, технологических агрегатов и установок. Работа может проводиться в ограниченных объёмах помещений, что затрудняет действия и нарушает привычные способы передвижения, рабочие позы (продвижение ползком, работа лёжа). В соответствии с показателями напряжённости трудового процесса труд пожарных и водителей относится к классу 3.2 (вредный напряжённый труд второй степени).

Таким образом, на основании проведенных исследований и в соответствии с Руководством Р. 2.2.755-99 "Гигиенические критерии оценки и классификации условий по показателям вредности и опасности, тяжести и напряжённости трудового процесса" установлено, что условия труда личного состава Государственной противопожарной службы МЧС России относятся к экстремальному (четвёртому) классу.

4.3 Организация режимов труда и отдыха

Оптимальный режим труда и отдыха — важнейшее условие поддержания высокой работоспособности человека. Под режимом труда

понимают порядок чередования и продолжительность периодов труда и отдыха.

Работники в соответствии с законодательством РФ имеют право на:

- ежедневный (междусменный) отдых;
- перерывы для отдыха в течение рабочего дня (смены), в том числе время для приема пищи;
- отдых в нерабочие праздничные дни;
- ежегодный основной оплачиваемый отпуск и дополнительные отпуска.

При суммированном учете рабочего времени выходные дни (еженедельный непрерывный отдых) предоставляются в различные дни недели согласно графикам несения службы и специальной подготовки.

Работникам предоставляются:

- ежегодный основной оплачиваемый отпуск – 30 календарных дней независимо от стажа работы;
- ежегодные дополнительные оплачиваемые отпуска;
 - а) за каждые 30 часов работы или упражнений в кислородно-дыхательных аппаратах в течение всего рабочего года по 1 календарному дню, но не более 7 дней;
 - б) за многосменный режим работы – до 4 календарных дней;
 - с) на проезд к месту отдыха (лечения) и обратно по фактически затраченному времени, но не более 6 календарных дней;
 - д) при непрерывной работе за каждые 2 года – 2 календарных дня, но не более 5 дней.

Меры по увеличению устойчивости ликвидаторов к данной ЧС

При тушении пожаров на объектах с наличием радиоактивных веществ необходимо:

- включить в состав оперативного штаба главных специалистов объекта и службы дозиметрического контроля;

- установить вид и уровень радиации, границы опасной зоны и время работы личного состава на различных участках зоны;
- при необходимости обеспечить личный состав специальными медицинскими препаратами;
- организовать дозиметрический контроль, пункт дезактивации, санитарной обработки и медицинской помощи личному составу;
- применять распыленные струи воды для уменьшения зоны распространения радиоактивных аэрозолей;
- выполнять работы с привлечением минимально необходимого количества личного состава, обеспечив его изолирующими противогазами с масками, средствами индивидуального и группового дозиметрического контроля, защитной одеждой;
- вывести из зоны радиоактивного заражения и немедленно направить на медицинское обследование личный состав, подвергшийся однократному облучению в зоне выше 5 предельно допустимых доз (ПДД);
- расставить у входа в зону радиоактивного заражения пост безопасности, возглавляемый лицом среднего или младшего начальствующего состава;
- после пожара организовать санитарную обработку личного состава, работавшего в опасной зоне, и выходной дозиметрический контроль;
- провести дезактивацию и дозиметрический контроль противогазов, одежды, обуви, снаряжения, пожарной техники.

4.4 Экологическая безопасность

Экологическая безопасность (ЭБ) — допустимый уровень негативного воздействия природных и антропогенных факторов экологической опасности на окружающую среду и человека.

Пожары оказывают существенное влияние на окружающую среду, загрязняя ее продуктами горения, пиролиза, несгоревшими горючими веществами, огнетушащими средствами. Но если причиняемые пожарами

материальный ущерб и социальные потери (погибшие и пострадавшие люди), как правило, известны сразу после пожара, то экологический ущерб имеет не только текущие, но и отдаленные последствия для человечества и экосистемы.

Рассмотрим некоторые процессы:

1) Загрязнение воды.

При тушении пожара, вода, соприкасаясь с раскаленными веществами, в том числе радиоактивными, превращается в пар. И пар, и вода насыщаются отравляющими веществами. Пар попадает в атмосферу и дополнительно участвует в круговороте веществ между сушей и океаном, выпадая в виде кислотных дождей и снега. Вода атмосферных осадков с места пожаров в конечном итоге попадает в озера, моря, проникает в почву и долгое время сохраняется во всех экологических цепочках, впоследствии доходящих и до человека.

2) Сгорание воздуха при пожаре.

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; 1 кг соломы - 4,6 м³; 1 кг каменного угля - 8 м³ воздуха. 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%.

3) Воздействие ионизирующего излучения.

Радиационное воздействие на человека заключается в нарушении жизненных функций различных органов (кроветворения, нервной системы, желудочно-кишечного тракта) и развития лучевой болезни.

Воздействие ионизирующего излучения на отдельные ткани и органы человека не одинаково. Его можно значительно ослабить, поскольку одни органы более чувствительны к этому воздействию, другие - менее.

Орган (ткань, часть тела), облучение которого в условиях неравно-мерного облучения организма может причинить наибольший ущерб здоровью данного человека или его потомства, называют критическим. В порядке убывания радиочувствительности критические органы относят к 1, 2 или 3-й группам. Для них установлены разные значения основных дозовых пределов.

При сравнительно равномерном облучении организма ущерб здоровью определяют по уровню облучения всего тела, что соответствует первой группе критических органов. К ней относят также половые органы и костный мозг. Во вторую группу критических органов входят: мышцы, щитовидная железа, жировая ткань, печень, почки, селезенка, желудочно-кишечный тракт, легкие, хрусталики глаз. Третью группу критических органов составляют кожный покров, костная ткань, кисти рук, предплечья, голени и стопы.

Радиоактивное загрязнение местности вызывается воздействием альфа-, бета- и гамма-ионизирующих излучений и обуславливается выделением непрореагировавших элементов и продуктов деления ядерной реакции (радиоактивный шлак, пыль, осколки ядерного продукта), а также образованием различных радиоактивных материалов..

При большой продолжительности радиоактивного выброса, когда направление ветра может многократно меняться, возникает вероятность радиоактивного загрязнения местности практически во все стороны от источника пожара.

В отличие от многих других процессов горения при пожарах нельзя предотвратить или снизить уровень поступающих в окружающую среду опасных веществ. Согласно статистике, в нашей стране ежегодно сгорает около 10 тыс. тонн токсичных веществ, которые выбрасываются в атмосферу.

Пожарные подвергаются, так называемому накапливаемому отравлению, небольшие дозы отравляющих веществ, в том числе радиоактивных (изотопы цезия, калия, кобальта, стронция, америция и т.д.), регулярно получаемые ими во время ликвидации пожаров, в конечном итоге приводят к тому, что пожарные приобретают профессиональные заболевания легких, желудочно-кишечного тракта, онкологические заболевания.

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

4.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

1. Классификацию опасных и вредных факторов, содержащих особенности разработки стандартов ССБТ на требования и нормы по видам опасных и вредных производственных факторов устанавливает ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные факторы».
2. Общие требования пожарной безопасности к объектам защиты различного назначения на всех стадиях их жизненного цикла (конструирование, проектирование, изготовление, хранение, транспортирование, установка, монтаж и т.д.) устанавливает ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность».
3. Общие санитарно-гигиенические требования к показателям микроклимата и допустимому содержанию вредных веществ в воздухе рабочей зоны, требования к допустимому содержанию вредных веществ в воздухе рабочей зоны распространяются на рабочие места независимо от их расположения (в производственных помещениях, в горных выработках, на открытых площадках, транспортных средствах и т.п.) устанавливает ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
4. Классификацию шума, характеристики и допустимые уровни шума на рабочих местах, общие требования к защите от шума на рабочих местах,

шумовые характеристики машин, механизмов, средств транспорта и другого оборудования измерения шума устанавливает ГОСТ 12.1.003-83 «Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности».

5. Общие требования к обеспечению вибрационной безопасности труда устанавливает ГОСТ 12.1.012-90 «Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования безопасности».
6. Основные требования по организации безопасного проведения огневых работ на взрывоопасных и взрывопожароопасных объектах (производства, цехи, отделения, установки, склады и т.п.), подконтрольных Госгортехнадзору России, предприятий, организаций всех организационно-правовых форм и форм собственности независимо от их ведомственной принадлежности устанавливает РД 09-364-00: «Типовая инструкция по организации безопасного проведения огневых работ на взрывоопасных взрывопожароопасных объектах».
7. Приказ Минприроды России от 08.07.2014 N 313 (ред. от 16.02.2017) "Об утверждении Правил тушения лесных пожаров"
8. Обеспечение работников средствами индивидуальной защиты должно соответствовать нормам и требованиям СанПиН 2.6.1.2523-09 "Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)", утвержденных постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 7 июля 2009 г. N 47.
9. Основные санитарные правила и нормативы обеспечения радиационной безопасности устанавливают требования по защите людей от вредного радиационного воздействия при всех условиях облучения от источников ионизирующего излучения, на которые распространяется действие СанПиН 2.6.1.2523-09 "Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)".

10. Санитарные правила и нормативы СП 2.6.1.2612-10 "Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)"

Заключение

В результате проведенной работы в соответствии с заданием, проведены численные расчеты и получены распределения уровней дополнительного радиоактивного загрязнения в зависимости от скорости ветра. Разработана математическая модель прогноза распространения повторного радиоактивного загрязнения в результате лесного пожара в лесах, подверженных радиоактивному заражению в результате аварийных ситуаций. Полученная в данной работе математическая модель может быть использована на практике для определения динамики развития верхового лесного пожара. То есть определения, как контуров лесных пожаров, так и повторного радиоактивного загрязнения распространяющегося в процессе пожаров в лесах подверженных радиоактивному заражению.

Список используемых источников

1. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы/Ю.Л. Воробьев, В.А. Акимов, Ю.И. Соколов; Под общ. ред. Ю.Л. Воробьева; МЧС России.-М.:ДЭКС-ПРЕСС,2004.-312.
2. Лавров С.Б. Глобальные проблемы современности: часть 2. – СПб., 1995
3. Авария на Чернобыльской АЭС и ее последствия: Информация, подготовленная для совещания экспертов МАГАТЭ. — Часть 1. Обобщенный материал. — Август, 1986.
4. Чернобыль: радиоактивное загрязнение природных сред /Под ред. Ю. А. Израэля. — Ленинград: Гидрометеиздат, 1990.
5. Тихомиров Ф. А., Щеглов А. И. Радиоэкологические последствия кыштымской и чернобыльской радиационных аварий в лесных экосистемах. // Экология регионов атомных станций. — Вып.1., — М., 1994, с. 71—88
6. Абдурагимов И.М., Однолько А.А.. Пожары на радиационно-загрязненных территориях // Природа. – 1993. – № 1. – С. 28-30.
7. Бакин И.С. и др. Пожары в 30-км зоне ЧАЭС как фактор радиационной опасности // Чернобыль-94: Сб. тез.. – Зеленый Мыс, 1994. – С. 98. Rowson R.P. The reactive sputtering of oxides and nitrides // Pure & appl. chemistry, 1994. – Vol 66, №2 – P.1311–1318.
8. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1981 – 277 с.
9. Van Wagner C.E., Pickett T.L. Equations and FORTRAN program for the Canadian Forest Fire Weather Index System // Canadian Forest Service. Forestry Technical Report CFT Ottawa ON. – 1985. – 33 p.
10. Fiorucci P. Nation-wide forest fire risk assessment. Performance analysis and validation of two different dynamic fire weather systems in Italy / P.Fiorucci, F. Gaetani, R. Minciardi, A.Scipioni // Sevilla-Espana Wildfire 2007, Session №4. – 2007.

11. Lawson, B.D. Diurnal variation in the Fine Fuel Moisture Code: Tables and computer source code B.D. Lawson, O.B. Armitage, W.D. Hoskins / Canada-British Columbia Partnership Agreement on Forest Resource Development: FRDA II. FRDA Report 245. Canadian Forest Service, Pacific Forestry Center. Victoria, British Columbia. – 1996.
12. Дубровский И.М. Справочник по физике / И.М. Дубровский, Б.В. Егоров, К.П.Рябошайка. – К.: Наук. думка, 1986. – 559 с.
13. Воробьев О.Ю., Валендик Э.Н. Вероятностное множественное моделирование распространения лесных пожаров. – Новосибирск.: Наука, 1978. – 160 с.
14. Конев Э.В. Физические основы горения растительных материалов при лесных пожарах и палах. Дисс.Тех. Наук. /ВНИИХЛХ.- Ивanteeвка, 1992-270 с.
15. Валендик Э.Н. Борьба с крупными лесными пожарами. – Новосибирск: Наука, сиб. отд, 1990.- 193 с.
16. Гроздов Г.М., Москвильин Е.А. Исследования процессов переноса радионуклидов при пожарах в зонах радиоактивного загрязнения. Материалы 12-й Всероссийской научно-практической конференции: Научно-техническое обеспечение противопожарных и ава-рийно-спасательных работ. - М.: ВНИИПО МВД РФ.-1993.с.140.
17. Москвильин Е.А. Экспериментальные исследования пожаров в зоне радиоактивного загрязнения. // Лесные и степные пожары: Возникновение, распространение, тушение и экологические последствия: Материалы международной конференции. – Иркутск: ВСИ МВД России, 2001. – С. 81-84.
18. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. - Новосибирск: Наука, 1992, -408 с.
19. Гришин А.М. Моделирование и прогноз некоторых природных и техногенных катастроф // Proceedings of International Conference RDAMM–2001, 2001, Vol. 6, Pt 2, Special Issue, P.134-139.

20. Modelling the migration and accumulation of radionuclides in forest ecosystems // Report of the Forest Working Group of the Biosphere Modelling and Assessment (BIOMASS) Programme, Vienna, Austria 2002.
21. Адамчиков А. А. Математическое моделирование процессов переноса радионуклидов во время лесных пожаров на радиоактивно загрязненных территориях / А. А. Адамчиков, А. М. Дворник // Проблемы лесоведения и лесоводства: сборник научных трудов / Институт леса НАН Беларуси. - Гомель, 2006.
22. Paatero J., Vesterbacka K., Makkonen U., Kyllönen K., Hellen H., Hatakka J., Anttila P. Resuspension of radionuclides into the atmosphere due to forest fires // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2009, 282,2 , P.473-476.
23. Гришин А.М., Перминов В.А. Математическое моделирование состояния лесных фитоценозов в условиях природных и антропогенных катастроф // Математическое моделирование. - М.: Изд.-во МГУ, 1993.-С.167-185.
24. Гришин А.М., Перминов В.А. Математическая модель и математическое моделирование распространения аэрозолей при лесных пожарах. В сб. : "Вычислительные технологии", Т.3, N 8, 1994, Изд-во ИВТ СО РАН, Новосибирск. - С. 72-86.
25. Гришин А.М., Перминов В.А. Математическая модель переноса радионуклидов в атмосферу в результате действия ветра и лесных пожаров // Международное совещание-семинар по механике реагирующих сред и экологии, Томск, 1994.-С. 57-59.
26. Grishin A.M., Merzlyakov A.L. Perminov V.A. Mathematical modeling of radionuclide migration by the action of wind and forest fires // Proceedings of the International Conference "Forest fires: Initiation, spread and ecological consequences, Tomsk, 1995. P.49.
27. Гришин А.М., Катаева Л.Ю., Перминов В.А. Математическое моделирование повторного радиоактивного заражения в результате лесных пожаров // Материалы международной конференции: "Лесные

- пожары: возникновение, распространение и экологические последствия", Томск, 1995. С.44-45.
28. Ходаков В.Е., Жарикова М.В. Лесные пожары: методы исследования. – Херсон: Гринь Д.С., 2011. – 470 с.
 29. Патанкар С.В. Численные метода решения задач теплообмена и динамики жидкости. -М.: Энергоатомиздат, 1984.-152с.
 30. Душа-Гудым С.И. Лесные пожары. На территориях, загрязненных радионуклидами. Обз. инф. (Охрана и защита леса, механизация, лесные пользования, ISSN 0136-4596, вып 6. - М.: ВНИЦлесресур.-1993. 53 с.
 31. Руководство по ведению лесного хозяйства на территории РФ, подвергшейся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС на период 1992-1995 годы. -М.:ФСЛХ.-1992. - 65с.
 32. Конев Э.В. Физические основы горения растительных материалов при лесных пожарах и палах. Дисс. Тех. Наук. /ВНИИХЛХ.- Ивантеевка, 1992 -270 с.
 33. Валендик Э.Н. Борьба с крупными лесными пожарами. – Новосибирск: Наука, сиб. отд, 1990.- 193 с.
 34. Гроздов Г.М., Москвилин Е.А. Исследования процессов переноса радионуклидов при пожарах в зонах радиоактивного загрязнения. Материалы 12-й Всероссийской научно-практической конференции: Научно-техническое обеспечение противопожарных и аварийно-спасательных работ. - М.: ВНИИПО МВД РФ.-1993.с.140.
 35. Москвилин Е.А. Экспериментальные исследования пожаров в зоне радиоактивного загрязнения. // Лесные и степные пожары: Возникновение, распространение, тушение и экологические последствия: Материалы международной конференции. – Иркутск: ВСИ МВД России, 2001. – С. 81-84.
 36. И.С. Мелехов О теоретических основах лесной пирологии. – Архангельск: АЛТИ,1944. – 19 с.

37. Николаюк В.Н. Противопожарная охрана лесов, загрязненных радионуклидами // Лесохозяйственная информация. Н.-т. информ. сборник. № 9. – М.: ВНИИЦлесресурс, 1993. – С. 30–36.
38. Душа-Гудым С.И. Лесные пожары на территориях, загрязненных радионуклидами. – М.: ВНИИЦлесресурс, 1993. – 52 с.
39. Ефименко, В. М. Е-911 Лесная пирология: практическое пособие для студентов специальности 1-75 01 01 «Лесное хозяйство» / В.М. Ефименко; М-во обр. РБ, Гомельский государственный университет им Ф. Скорины. Гомель:ГГУ им. Ф. Скорины, 2009 – 90 с.
40. ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные факторы».
41. ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность».
42. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
43. Санитарные правила СанПиН 2.6.1.2523-09 "Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)"
44. Приказ Минприроды России от 08.07.2014 N 313 (ред. от 16.02.2017) "Об утверждении Правил тушения лесных пожаров"
45. СП 2.6.1.2612-10 "Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)"