

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки: «Техносферная безопасность»
Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Численный расчет максимальных размеров зон зажигания под воздействием светового излучения

УДК 622.691.4.07:630'43

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1E11	Маланова Ксения Сергеевна		

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
Старший преподаватель	Хаперская Алена Васильевна	Кандидат экономических наук		

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
Профессор	Романенко Сергей Владимирович	Доктор химических наук		

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

Институт неразрушающего контроля
 Направление подготовки (специальность): «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
3-1E11	Малановой Ксении Сергеевне

Тема работы:

Численный расчет максимальных размеров зон зажигания под воздействием светового излучения	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	2869/с от 14.04.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>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></p>	<p>Рабочее место расположено на открытом воздухе. Трасса трубопровода проходит в лесной зоне. При разрыве магистрального трубопровода могут иметь место вредные и опасные проявления факторов производственной среды для человека. Выброс газа – пропан.</p>
<p>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</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Построение математической модели аварийных ситуаций связанных с разрывом трубопроводов и возникновением пожаров под действием излучения с образованием огненных шаров. 2. Разработка методики численных расчетов. 3. Проведение численных расчетов и получение результатов.

результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	4. Анализ результатов расчетов.
--	---------------------------------

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	График распределение температур $\bar{T}(2), \bar{T}_s(1)$ в пологе леса. График распределение температур $\bar{T}(1), \bar{T}_s(2)$ в точке зажигания с течением времени. График концентрации кислорода $\bar{C}_1(1)$ и летучих продуктов пиролиза $\bar{C}_2(2)$ в пологе леса. График концентрации кислорода $\bar{C}_1(1)$ и летучих продуктов пиролиза $\bar{C}_2(2)$ в точке зажигания с течением времени. График распределение объемной доли $\bar{\varphi}_1(1)$ и $\bar{\varphi}_2(2)$ в пологе леса. График распределение объемной доли $\bar{\varphi}_1(1)$ и $\bar{\varphi}_2(2)$ в точке зажигания с течением времени. График зависимости радиусов(размеров) зон зажигания лесного массива r от m - массы выделившегося горючего для различных влагосодержаний лесных горючих материалов.
---	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Хаперская Алена Васильевна
Социальная ответственность	Романцов Игорь Иванович

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
3-1E11	Маланова Ксения Сергеевна		

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 Федеральное государственное автономное образовательное
 учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля
 Направление подготовки: «Техносферная безопасность»
 Уровень образования: Бакалавр
 Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности
 Период выполнения (осенний/весенний семестр 2015/2016 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)
01.03.2016	Введение	
03.03.2016	1. Обзор литературы	
12.03.2016	2. Объект и методы исследования 2.1. Математическое моделирование аварийных ситуаций	
20.03.2016	3. Физико-математическая модель зажигания лесных массивов лучистой энергией в квазиодномерной постановке 3.1. Физическая постановка задачи	
30.03.2016	3.2. Математическая постановка задачи	
05.04.2016	3.3. Численный метод решения	
15.04.2016	3.4. Алгоритм решения	
27.04.2016	3.5. Результаты решения задачи.	
	4. Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	
	5. Раздел «Социальная ответственность»	
10.05.2016	Заключение	

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
Профессор	Романенко Сергей Владимирович	Доктор химических наук		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНИНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-1E11	Маланова Ксения Сергеевна

Институт	ИНК	Кафедра	ЭБЖ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Техносферная безопасность

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Человеческие ресурсы – 2 человека
Нормы и нормативы расходования ресурсов	
2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Определение планирования научно-исследовательских работ	Перечень этапов, работ и распределение исполнителей
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование этапов работы, определение календарного графика и трудоемкости работы, расчет бюджета

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей
2. Временные показатели проведения научного исследования
3. График проведения НИ
4. Материальные затраты
5. Расчет основной заработной платы
6. Отчисления во внебюджетные фонды
7. Бюджет НИ

Дата выдачи задания по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Хаперская Алена Васильевна	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1E11	Маланова Ксения Сергеевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-1Е11	Маланова Ксения Сергеевна

Институт	ИНК	Кафедра	ЭБЖ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	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. Трасса трубопровода проходит в лесной зоне.

При разрыве магистрального трубопровода могут иметь место вредные и опасные проявления факторов производственной среды для человека.

Оказывается негативное воздействие на природу (атмосферу, гидросферу, литосферу).

Возможно возникновение чрезвычайных ситуаций техногенного, стихийного, экологического и социального характера

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность

1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
- действие фактора на организм человека;
- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
- предлагаемые средства защиты;
- (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).

1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- механические опасности (источники, средства защиты);
- термические опасности (источники, средства защиты);
- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);
- пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Вредные факторы:

- Загазованность воздушной среды;
- Огнетушащие вещества;
- Превышение уровней шума и вибрации;
- Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе.

Опасные факторы:

- Пламя и искры;
- Токсические продукты горения и термического разложения;
- Повышенная температура окружающей среды;
- Механические опасности.

2. Экологическая безопасность:

- защита селитебной зоны
- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);
- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);
- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);
- разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране

Аварии на трубопроводах сопровождаются:

- *загрязнение поверхностных водных источников и подземных вод;*
- *загрязнение и сгорание атмосферного воздуха;*
- *повреждение почвенно – растительного покрова.*

окружающей среды.	
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>Чрезвычайные ситуации на магистральном трубопроводе могут возникнуть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 60% случаев – гидроудары, перепады давления и вибрации; • 25% - коррозионные процессы; • 15% - природные явления и форс-мажорные обстоятельства.
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>1)СНиП 2.05.06-85* «Магистральные трубопроводы. Нормы проектирования». 2)СНиП III-42-80* «Магистральные трубопроводы. Правила производства и приёмки работ». 3)ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные факторы». 4)ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность». 5)ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». 6)ГОСТ 12.1.003-83 «Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности». 7)ГОСТ 12.1.012-90«Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования безопасности». 8)РД 09-364-00 «Типовая инструкция по организации безопасного проведения огневых работ на взрывоопасных взрывопожароопасных объектах». 9)РД 39-132- 94: «Правила по эксплуатации, ревизии, ремонту и отбраковке нефтепромысловых трубопроводов».</p>

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
3-1Е11	Маланова Ксения Сергеевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 90с., 11рис., 22табл., 24источника.

Ключевые слова: трубопровод, магистральный трубопровод, математическое моделирование, тепловое излучение, горючие жидкости, огненный шар.

Объектом исследования является: лесной пожар при аварийных ситуациях, разрыв трубопровода, выброс горючих веществ.

Цель работы: определение максимальных размеров зон зажигания растительного покрова под воздействием светового излучения в зависимости от метеорологических условий, состояния и свойств лесных горючих материалов в пологе леса.

В процессе исследования проводились: определение размеров зон зажигания растительного покрова при аварийных ситуациях на трубопроводах при помощи программы «Fire»; построение графиков размеров зон зажигания при помощи программы «MatLab».

В результате исследования: В результате численного интегрирования получены поля массовых концентраций компонентов газовой фазы, объемных долей компонентов твердой фазы, температур. Получены значения радиуса и максимальные размеры зон зажигания лесного покрова под действием теплового излучения огненного шара, которое зависит от влагосодержания и массы разлитого горючего вещества.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: данная программа позволяет определить размеры зон зажигания растительного покрова и возможность в более короткие сроки ликвидировать аварию на трубопроводах.

Степень внедрения: газовые предприятия.

Область применения: определение размеров зон зажигания растительного покрова в результате аварии на трубопроводах.

Экономическая эффективность/значимость работы: данная работа позволит в более короткие сроки предотвратить(ликвидировать) аварии на объектах магистральных трубопроводов, а также уменьшит риск возникновения экологического загрязнения.

В будущем планируется: создание более удобного интерфейса, 3D восприятие ситуации.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.1.004–91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.

СТО Газпром 2-3.5-454-2010 Правила эксплуатации магистральных газопроводов. Стандарт организации.

СНиП 2.05.06-85* Магистральные трубопроводы. Строительные нормы и правила.

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Трубопровод - инженерное сооружение, предназначенное для транспортировки газообразных и жидких веществ, пылевидных и разжиженных масс, и в том числе твёрдого топлива и других твёрдых веществ в виде раствора под воздействием разницы давлений в поперечных сечениях трубы.

Магистральные трубопроводы - трубопроводы и отводы от них диаметром до 1420 мм включительно с избыточным давлением среды свыше 1,2 МПа до 10 Мпа, предназначенные для транспортирования углеводородов от участка производства к участку потребления.

Тепловое излучение - электромагнитное излучение, испускаемое веществом и возникающее за счет энергии теплового движения атомов и молекул (т.е. внутренней энергии).

Горючие жидкости (ГЖ) - жидкость, способная воспламеняться при воздействии *источника зажигания* и самостоятельно гореть после его удаления, т. е. характеризующаяся наличием *температуры воспламенения*.

Оглавление

Введение	12
1. Обзор литературы	13
2. Объект и методы исследования	23
2.1. Математическое моделирование аварийных ситуаций	23
3. Математическое моделирование возникновения пожаров под действием излучения	30
3.1. Физическая постановка задачи	30
3.2. Математическая постановка задачи	34
3.3. Численный метод решения	37
3.4. Алгоритм решения	44
3.5. Результаты решения задачи	44
4. Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	50
5. Раздел «Социальная ответственность»	73
Заключение	87
Список использованных источников	88

Введение

На сегодняшний день одной из актуальных проблем является использование магистральных трубопроводов и аварийные ситуации на данных объектах. Аварии, возникающие на объектах магистральных трубопроводов, сопровождаются нанесением ущерба окружающей среде, материальными потерями, а иногда и человеческими жертвами. Представляет интерес определение размеров возможных зон зажигания при аварийных ситуациях на трубопроводах, расположенных вблизи лесных массивов, которые сопровождаются возникновением огненных шаров. Результаты математического моделирования подобных явлений могут быть использованы при разработке профилактических мероприятий, а также при ликвидации их последствий.

С помощью расчетов в программе «Fire» по известным данным (количество разлившейся горючей жидкости, влагосодержание и др.) мы можем определить масштабы аварии и, следовательно, в более короткие сроки локализовать их.

Целью исследования является определение максимальных размеров зон зажигания растительного покрова под воздействием светового излучения в зависимости от метеорологических условий, состояния и свойств лесных горючих материалов в пологе леса.

Задачи исследования:

5. Построение математической модели аварийных ситуаций связанных с разрывом трубопроводов и возникновением пожаров под действием излучения с образованием огненных шаров.
6. Разработка методики численных расчетов.
7. Проведение численных расчетов и получение результатов.
8. Анализ результатов расчетов.

1 Обзор литературы

Трубопровод — инженерное сооружение, предназначенное для транспортировки газообразных и жидких веществ, пылевидных и разжиженных масс, а также твёрдого топлива и других твёрдых веществ в виде раствора под влиянием разницы давлений в поперечных сечениях трубы[1].

Магистральные трубопроводы — трубопроводы, которые предназначены для транспортировки углеводородов от места добычи к месту потребления[1]. Магистральные трубопроводы транспортируют:

1. нефть и нефтепродукты из мест их добычи, производства или хранения до мест потребления.
2. сжиженный углеводородный газ, нестабильный бензин и конденсат нефтяного газа и иные сжиженные углеводороды из мест их добычи(производства) до мест потребления;
3. товарную продукцию в пределах компрессорных и нефтеперекачивающих станций, станций подземного хранения газа, дожимных компрессорных станций;
4. воду в системах отопления и прочих системах водоснабжения;
5. импульсный, топливный и пусковой газ для компрессорных станций, станций подземного хранения газа, газораспределительных станций и узлов замера расхода газ, а также для пунктов редуцирования газа.

Для магистральных трубопроводов создаются санитарные разрывы, определяющимися наименьшими расстояниями от магистральных трубопроводов до смежных зданий, строений и сооружений[2].

Подходящие наименьшие дистанции от магистральных нефтепроводов до городов, населенных пунктов устанавливаются:

- диаметр до 300мм - от 50метров до 75метров;
- диаметр 300мм - 600мм - от 50метров до 100метров;
- диаметр 600мм - 1000мм - от 75метров до 150метров;

- диаметр 1000мм - 1400мм - от 100метров до 200метров.

Подходящие наименьшие дистанции от магистральных нефтепроводов до гидротехнических сооружений устанавливаются в размере 300метров, а до водозаборов - 3000метров[2].

Подходящие наименьшие дистанции от магистральных нефтепроводов, служащих для транспортировки нефти с большими коррозирующими свойствами, от продуктопроводов, транспортирующих высокотоксичные, раздражающие жидкости и газы, определяются на основе расчетов в любом определенном случае при обязательном повышении размеров не менее чем в 3 раза.

Подходящие наименьшие дистанции от наземных магистральных газопроводов, не содержащих сероводород, до городов и др.населенных пунктов, тепличных комбинатов, коллективных садов и дачных поселков, отдельных малоэтажных зданий, отдельных общественных зданий с массовым скоплением людей, сельскохозяйственных полей и пастбищ, и в том числе полевых станов устанавливаются:

Трубопроводы I класса:

- диаметр до 300мм - от 75метров до 100метров;
- диаметр 300мм - 600мм - от 125метров до 150метров;
- диаметр 600мм - 800 мм - от 150метров до 200метров;
- диаметр 800мм - 1000 мм - от 200метров до 250метров;
- диаметр 1000мм - 1200 мм - от 250метров до 300метров;
- диаметр более 1200мм - от 300метров до 350метров;

Трубопроводы II класса:

- диаметр до 300мм - 75метров;
- диаметр более 300мм - от 100метров до 125метров.

Подходящие наименьшие дистанции от наземных магистральных газопроводов, не содержащих сероводород, до магистральных оросительных

каналов, водоемов и водозаборных сооружений, рек устанавливаются 25метров[2].

Подходящие наименьшие дистанции от магистральных трубопроводов, предназначенных для транспортировки сжиженных углеводородных газов, до городов, населенных пунктов, дачных поселков и сельскохозяйственных угодий (санитарные полосы отчуждения) устанавливаются:

- диаметр до 150мм - от 100метров до 150метров;
- диаметр 150мм - 300мм - от 175метров до 250метров;
- диаметр 300мм - 500мм - от 350метров до 500метров;
- диаметр 500мм - 1000мм - от 800метров до 1000метров.

Подходящие наименьшие дистанции при наземной прокладке магистральных трубопроводов, предназначенных для транспортировки сжиженных углеводородных газов, увеличиваются в 2 раза для I класса и в 1,5 раза для II класса[2].

В регионах Крайнего Севера при диаметре надземных газопроводов магистральных трубопроводов, предназначенных для транспортировки сжиженных углеводородных газов, больше 1000мм рекомендуемое наименьшее расстояние устанавливается не меньше 700метров.

Подходящие наименьшие дистанции магистральных газопроводов, транспортирующих природный газ с значительными коррозирующими свойствами, определяются на основе расчетов в любом определенном случае, а кроме того согласно опыту эксплуатации, но не меньше 2км.

На долю магистральных трубопроводов приходится большое количество о крупных аварий. Трассы магистральных трубопроводов часто проходят по густонаселенным районам с развитой инфраструктурой, транспортной и сельскохозяйственной. Линейная часть трубопроводов считается потенциально опасным объектом (ФЗ №116) [3] способным оказывать значительное негативное воздействие на окружающую среду (до нескольких сот метров). В связи с этим важное значение приобретает научная задача по зонированию территории в месте проложения трассы и прогнозу параметров

опасных зон для людей и местности. Как правило, крупная техногенная катастрофа на объектах магистральных трубопроводах сопровождается возникновением огненных шаров, под воздействием которых возможно загорание близлежащего растительного покрова. В связи с этим представляет интерес прогнозирование возникновения и развития пожаров в окрестности места произошедшей аварийной ситуации. Ввиду того, что натурные изучения при решении поставленных задач неосуществимы, актуальными являются методы математического моделирования. В математической модели применяются интегральные параметры (максимальный размер огненного шара, время жизни и высота подъема горящего облака) как функции массы вовлеченного топлива, полученные из эмпирических зависимостей путем обработки результатов экспериментов и экспресс-анализа аварийных ситуаций. Сведения, приобретенные вследствие изучений, могут быть использованы для и проведения профилактических мероприятий и прогнозирования последствий.

В РФ общая протяженность подземных нефте-, водо- и газопроводов составляет около 17 млн.км., при этом из-за стабильных интенсивных волновых (колебаний давления, гидроударов) и вибрационных процессов, участки этих коммуникаций требуется регулярно производить ремонт и целиком заменять [4].

Крайне важны проблемы охраны от ржавчины для нефтяной, нефтегазодобывающей, перерабатывающей и транспортирующей сфер. Из-за металлоемкости резервуаров сохранения нефтепродуктов и других сооружений, присутствие тут агрессивных сред и строгих обстоятельств эксплуатации металлоконструкций. Потери, порождаемые гидроударами и ржавчиной, составляли для Минтопэнерго прежнего Советский Союз несколько сотен миллиардов долларов и приблизительно 50 тысяч тонн черных металлов в год. Присутствие единой динамики аварийности,

согласно анализам специалистов, факторами разрыва трубопроводов считаются:

- 60% – перепады давления, гидроудары и вибрации;
- 25% - ржавчина;
- 15% - природные явления и форс-мажор.

В протяжении всего срока эксплуатации трубопроводы подвергаются динамическим перегрузкам (пульсации давления и связанные с ними вибрации). Они появляются при работе нагнетательных установок, срабатываний запорной трубопроводной арматуры, спроста появляются при неправильных поступках обслуживающего персонала, аварийных отключениях электропитания, ошибочных срабатываниях технологических защит и т.д.

Поражающими (опасными) факторами аварийного разрушения магистрального трубопровода, является тепловое излучение при возникновении пожаров – вспышек (горение стехиометрических газопаровоздушных смесей), пожаров пролива горючих жидкостей (ГЖ), факельном горении истекающих из оборудования газов и паров, огненных шарах[5].

Все без исключения пожары выбрасывают тепловое излучение. При моделировании теплового излучения от пожаров, связанных с легковоспламеняющимися жидкостями и газами, пламя, как правило, представлено в виде простой геометрической формы (конус, цилиндр наклонной, и т.д.), которая испускает излучение с поверхности. Следующее уравнение используется для расчета интенсивности теплового излучения в любой конкретном «целевом» месте, за пределами пламени[6].

$$q_i = q_s F \tau \tag{1.1}$$

где q_i - лучистый тепловой поток, падающий на цель за счет лучистого тепла, излучаемого огненным шаром;

q_s - средний поток лучистого тепла, излучаемый с "поверхности" огненного шара;

F - коэффициент видимости от цели до огненного шара;

τ –пропускание атмосферы.

Серьезность травмы и степени повреждения, которые могут появиться в результате теплового излучения от пожара, зависит от интенсивности падающего излучения, q_i , и длительности воздействия. Так как огненные шары существуют только пару секунд, длительность воздействия обычно устанавливается равным длительности огненного шара.

Методы прогнозирования последствий теплового излучения огненных шаров, как правило, включают в себя элементы или модели, чтобы определить или рассчитать следующие факторы:

- поверхностная мощность излучения огненного шара;
- пропускание атмосферы;
- геометрический вид;
- длительность огненного шара.

Входные параметры для этих моделей будут рассчитываться по подмоделям или основываться на предположениях. Например, следующие параметры являются обязательными для ввода в большинстве геометрических угловых коэффициентов модели.

- Форма огненного шара (предположение);
- Размер огненного шара (расчёт);
- Масса топлива, вовлеченная в огненный шар (требуется размер огненного шара);
- Расположение огненного шара по отношению к цели (предположение);
- Ориентация цели относительно огненного шара (предположение).

Огненный шар в основном рассматривают в виде сферы. Видео и другие наблюдения случайных и экспериментальных огненных шаров показывают,

что большинство огненных шаров могут быть разумно описаны как сфера в огромной доли их длительности.

Диаметр огненного шара.

Статические модели обычно предполагают, что огненный шар достигает своего максимального диаметра мгновенно и утверждают, что этот размер существует в течение всего срока огненного шара. Почти все статические модели огненного шара рассчитывают диаметр с помощью уравнения следующего вида, которое учитывает максимальный диаметр огненного шара с массой топлива, вовлеченное в огненный шар[6].

$$D = kM^n \quad (1.2)$$

где D – максимальный диаметр огненного шара;

M – участвующая масса топлива;

k и n – константы.

В опубликованных моделях, константы колеблются от 2.97 до 6.48. Наиболее распространенным значением показатель степени n принимают как $1/3$, хотя некоторые модели используют значения чуть ниже. Широко используется следующий вид уравнения, который был разработан Робертс [1981/82].

$$D = 5.8M^{1/3} \quad (1.3)$$

Время действия огненного шара.

Уравнение продолжительности огненного шара обычно имеет следующую форму, которая относится к длительности или продолжительности существования огненного шара с массой топлива, вовлеченной в огненный шар.

$$t_d = kM^n \quad (1.4)$$

где t_d – продолжительность огненного шара

В опубликованных моделях, значения констант k и n колеблются в диапазоне от 0,23 до 2.61, и от 0.0966 к 0.333, соответственно. В ТНО [1983] версия данного уравнения заключается в следующем.

$$t_d = 0.85M^{0.26} \quad (1.5)$$

Охрана труда и здоровья Соединенного Королевства разработала следующие два уравнения продолжительности огненного шара. Эти уравнения широко используются. Изменение экспоненты от $1/3$ до $1/6$, отражает изменение в поведении огненного шара как увеличение массы топлива.

$$t_d = 0.45M^{1/3} \quad \text{если } M < 37.000 \text{ кг} \quad (1.6)$$

$$t_d = 2.60M^{1/6} \quad \text{если } M \geq 37.000 \text{ кг} \quad (1.7)$$

Коэффициент видимости.

Коэффициент видимости основан на геометрической взаимосвязи между сферическим огненным шаром и плоской целью, расположенной за пределами огненного шара. В некоторые статические модели, вектора, перпендикулярно поверхности цели прямо указывает на центр сферического огненного шара, как показано на рис. 1.1. (Эта ориентация результатов в максимально возможных значений для представления фактора.) Следующее уравнение используется для расчета угловых коэффициентов излучения для этой ориентации[6].

$$F = \frac{h^2}{R^2} \quad (1.8)$$

где h – радиус огненного шара;

R - расстояние от цели до центра огненного шара.

В других статических моделях, цель предполагает иметь вертикальную ориентацию. Таким образом, вектор нормали к поверхности цели будет находиться в горизонтальном положении. Если огненный шар является

касательной к рангу и цель находится на одном уровне, вектор нормали будет касательной к огненному шару, как показано на рисунке 1.1. Следующее уравнение используется для расчета угловых коэффициентов излучения для этой ориентации.

$$F = \frac{h^2 \sqrt{R^2 - h^2}}{R^3} \quad (1.9)$$

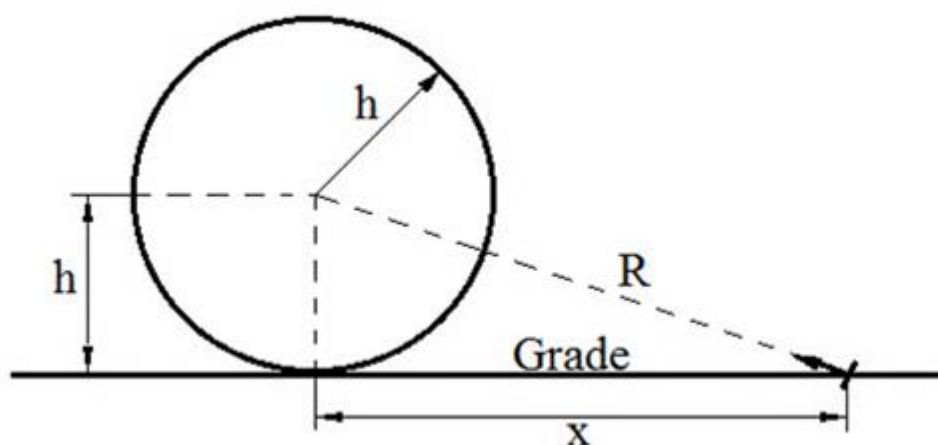


Рисунок 1.1 – пример распределения огненного шара

Эволюция огненного шара (ОШ) способна осуществляться согласно двум сценариям. По первому сценарию зажигание топлива частично перемешанного с воздухом совершается в первоначальном периоде аварийного выброса, при этом богатая смесь горит в диффузионном режиме. По другому сценарию зажигание осуществляется с опозданием, при этом значимая доля топлива перемешивается с воздухом, продукты горения и вовлекаемого воздуха интенсивно расширяются и объем горящего облака существенно больше начального объема горючего газа[5].

Припомним, за огненный шар мы приняли облако, в котором осуществляются химические реакции, которые поддерживают большую температуру в огненном шаре всё время (до полного выгорания топлива).

Приобретенные посредством обработки результатов исследований и описывающие интегральные параметры (наибольший размер огненного

шара, период существования и высоту подъема горящего облака, мощность излучения с единицы поверхности) как функции массы вовлеченного топлива дают возможность осуществить экспресс-анализ аварийной ситуации и дать оценку ее предельно возможные последствия. При этом, применяется значительный уровень схематизации, приводящая к существенному упрощению наблюдаемых явлений и сведению их многообразия к многим стандартным сценариям. В то же время существует малое количество экспериментальных сведений о внутренней концентрационно - тепловой и радиационной структуре ОШ. Объяснение тому то, что крупномасштабные эксперименты крайне опасны и дорого стоят, а процесс горения в ОШ существенно не стационарен и имеет короткую протяженность по времени. Возможно отметить, то что вплоть до данного периода имеется серьезное несоответствие между сложностью процессов и его многообразием, происходящих во время горения ОШ, и имеющимся уровнем их понимания и описания.

2 Объект и методы исследования

2.1 Математическое моделирование аварийной ситуации.

Установление списка пожароопасных аварийных ситуаций и параметров для каждого технологического процесса выполняется на основе анализа пожарной опасности каждого из технологических процессов, предусматривающего выбор ситуаций, при осуществлении которых появляется опасность для людей, пребывающих в области поражения опасными факторами пожара, взрыва и другими проявлениями опасных факторов пожара.

Более возможными событиями, которые могут служить причинами пожароопасных ситуаций на объектах, являются данные события:

- выход параметров технологических процессов за критические значения, который вызван нарушением технологического регламента;
- разгерметизация технологического оборудования, вызванная механическим, температурным и агрессивным химическим воздействиями;
- механическое повреждение оборудования в следствии ошибок работника, падения предметов, некачественного проведения ремонтных и регламентных работ и т. п.[7].

На основе анализа пожарной опасности объекта, при необходимости, ведется определение комплекса дополнительных мероприятий, изменяющих параметры технологического процесса до уровня, который обеспечивает возможный пожарный риск.

С целью раскрытия пожароопасных обстановок выполняется разделение технологических систем, при их присутствии на объекте, на участки. Предписанное разделение выполняется, отталкиваясь от возможности раздельной герметизации этих участков при возникновении аварии. Рассматриваются данные ситуации на основном и вспомогательном

технологическом оборудовании. Помимо данного, учитывается также вероятность возникновения пожара в зданиях, сооружениях и строениях разного назначения, находящихся на территории объекта.

В списке пожароопасных обстановок согласно к любому участку, технологической установке, зданию объекта акцентируются группы пожароопасных ситуаций, которым соответствуют похожие модели процессов возникновения и развития. При рассмотрении пожароопасных ситуаций, связанных с разгерметизацией технологического оборудования, исследуются утечки при разных диаметрах истечения (в том числе максимальные - при полном разрушении оборудования или подводящих/отводящих трубопроводов). Рассмотрим один из вариантов аварии под действием теплового излучения с образованием огненных шаров[8].

Под действием тепловых потоков, увеличивающих температуру резервуара, например, от открытого огня пролива соседнего резервуара, или другого источника тепла, достаточного для зажигания смеси, происходит разогрев сжиженных углеводородных газов (СУГ) в резервуаре с повышением давления. Причем воздействие источника тепла на зону, находящуюся выше уровня СУГ в резервуаре, более опасно, т.к. теплоемкость жидкой фазы больше теплоемкости газообразной фазы. Оболочка может разрушиться под действием давления газа, которое будет меньше расчетного (каскадное развитие аварии или «эффект домино» по зарубежной терминологии). Каскадное развитие аварии – это неблагоприятный сценарий развития аварийной ситуации, при котором (вследствие несовершенства системы защиты и (или) неверных действий персонала) возможен выход поражающих факторов аварий за пределы аварийного блока, оборудования или объекта и вовлечение опасного вещества, находящегося в расположенном рядом неаварийном оборудовании, в последующую стадию. «Эффект домино» характеризуется смещением диапазона вероятных сценариев аварий в

сторону более негативных условий и явлений, непосредственно: ОШ, загазованность или дрейф с последующим взрывом облака большой массы топливно-воздушной смеси, дрейф облака токсичного вещества значительной массы.

Перспективным считается применение методов математического моделирования, основанных на современных достижениях в описании турбулентных течений, радиационного теплопереноса и турбулентного горения. В итоге математического моделирования теоретические модели могут предоставить надежные данные, позволяющие понять все протекающие процессы и их особенности[5].

В основной массе экспериментальных моделей особое внимание акцентируется на изучении интегральных характеристик огненного шара – максимальный диаметр горящего облака – D_s , максимальное время горения – t_s . Зависимость упомянутых данных от массы топлива M_0 в огненном шаре представляется в виде степенных функций:

$$D_s = a_1 M_0^{b_1}, \quad t_s = a_2 M_0^{b_2} \quad (2.1)$$

Сравнительное исследование моделей ОШ, созданных разными авторами, демонстрирует, что независимо от сорта горючего, диапазона массы топлива и условий проведения экспериментов, абсолютно каждая зависимость максимального диаметра от массы топлива обладают одним и тем же показателем b_1 , близкий к 1/3. Разъясняется данное этим, что углеводородные газы имеют близкие теплоты сгорания, температуры горения и, значит, степени расширения при горении. Подобным способом, объем ОШ определяется в главном абсолютным числом выделяющегося тепла, соразмерного массе топлива. Диаметр ОШ пропорционален кубическому корню объема. Период горения, полученное разными авторами, согласуется существенно хуже. Имеются практические рекомендации, в соответствии с

которыми для ОШ малого масштаба (M_o менее 10 кг) показатель степенной функции b_2 равен $1/6$, а для крупного масштаба – $1/3$.

Следует рассмотреть основные подходы моделирования огненных шаров. Система кинетики хим. взаимодействий при турбулентном горении углеводородных газов в объеме ОШ остается вплоть до окончания не выясненным. В основной массе экспериментальных и теоретических моделей горения газовых консистенций расценивается повышение скорости турбулентного горения согласно сопоставленной с нормальной скоростью ламинарного пламени, которая считается стандартной характеристикой горючих газовых смесей – S_B^0 .

Анализ базовых результатов изучения воздействия разных физико-химических факторов на стандартную скорость распространения огня нужен с целью построения физических и математических моделей горения ОШ. Ключевыми факторами считаются, первоначальный подогрев смеси и концентрации горючего и окислителя.

Согласно воздействию физико-химических условий на стандартную температуру горения следует два значимых заключения, разъясняющих высококачественную картину горения углеводородных газов в структуре ОШ:

- большая часть углеводородных воздушных смесей обладают почти похожими кинетическими характеристиками химического превращения, а, таким образом, равную температуру и скорость распространения огня. По этой причине в согласовании с формулой (2.1) развитие ОШ находится в зависимости только лишь от массы аварийного выброса горючего, и в наименьшей степени от его состава;
- на скорость объемного горения горючего в ОШ и динамику перемены его геометрических размеров главное воздействие проявляет концентрация горючего и его температура.

В согласовании с суждением западных экспертов в химической и нефтеперерабатывающей индустрии огненные шары появляются только вследствие абсолютного уничтожения резервуаров, имеющие СУГ, пропаны, пропилен либо мономерный винилхлорид. Формированию ОШ предшествует промежуток выброса и рассеивание парового облака, а сам огненный шар зарождается в период контакта парового облака с источником зажигания. Главной причиной быстрого протекания процесса зажигания больших объемов топлива академик Зельдович Я.Б. в математической теории горения именуется конвективное зажигание. Но только лишь в работах Гостинцева Ю.В. и акад. Фортова В.Е. данное утверждение приобрело экспериментальное и теоретическое подтверждение [10]. Вследствие данных исследований определен автомодельный закон распространения и фрактальная структура поверхности расширяющегося турбулентно-сферического огня. Авторами опытным путем найден и теоретически аргументирован эффект жизни максимального автомодельного режима быстрого распространения свободного турбулентного сферического огня в заранее перемешанной газовой смеси. Определено, то что динамика перемены подобного режима обусловлена поочередным развитием в период действия процессов неожиданной неустойчивости, искажения и фрактализации его поверхности, автотурбулизации зоны горения и ускоренного её расширения.

Скорость генерации турбулентной энергии в химически реагирующей изотропной среде определяются ламинарными чертами горения, а формирование крупномасштабной турбулентности – тейлоровской неустойчивостью пределы раздела продуктов горения и начальной смеси, форсировано продвигающейся в сторону наиболее плотной среды согласно автомодельному закону.

С рассмотрения крупномасштабных исследований согласно распределению от центра независимых сферических пламен в больших (до 2 тыс. м³) размерах помешанных газовых смесей, ограниченных резиновой либо

полиэтиленовой оболочкой, определено, что познаваемая скорость огня способна достигать некоторых сотен метров в сек.

В случае до пускания, что ОШ зажигается тоже от точечных источников (пламя горелки, электрическая искра), в таком случае продвижение огня с подобного локального источника в следствии конвективного теплообмена в ядре ОШ способен завершится в течении долей и единиц сек. Где и когда зажигается паровоздушное облако после его образования считается беспорядочными величинами. Допустимо, данным разъясняется разбрасывание периода горения ОШ, рекомендованных формулами горения (2.1).

С использованием математического моделирования ОШ в литературе предлагается большое число подходов и моделей – теоретических, экспериментальных, полуэмпирических. При установлении адекватности разрабатываемых моделей итоги расчетов сравниваются с экспериментальными формулами (2.1).

В теоретических моделях горения газов в ОШ, непростой внутренней состав ОШ исследуется с привлечением моделей и методов, созданных в гидродинамике конвективных течений и теории радиационного переноса. В соответствии с данным подходом, темп горения лимитируется процессом турбулентного смешения компонентов горючей смеси, в то время когда химическая реакция является безгранично быстрой[11].

Скорость турбулентного горения описывалась моделью дробления турбулентных вихрей, в соответствии которой скорость потребления горючего лимитируется процессами турбулентного смешения компонентов, в то время как сама химическая реакция является безгранично быстрой. Реакция подразумевается одностадийной и необратимой, скорости образования и потребления компонентов сопряжены со скоростью горения W массовыми стехиометрическими коэффициентами.

В последнее время формируется аспект, основанный на использовании методов теории тепломассообмена, с целью возведения инженерных моделей горения газовых смесей. Осматривая фронт горения как межфазную поверхность между горючим и окислителем, применяется теория пограничного слоя с целью возведения расчетных моделей диффузионного горения водорода. Излучение продуктов горения углеводородных газов аппроксимируется законом Стефана-Больцмана с результирующим коэффициентом излучения. Законность данного расклада доказана множественными опытными сведениями в большом диапазоне изменения характеристик стандартных процессов переноса массы и энергии.

В взаимосвязи с описанным, создание вычислительных моделей горения в основании базовых экспериментальных данных согласно воздействию физико-химических факторов на скорость распространения огня, способов теории теплообмена, интегральных характеристик теплового излучения газовых смесей предполагает общетеоретическую заинтересованность и прикладное значение.

3 Физико-математическая модель зажигания лесных массивов лучистой энергией в квазиодномерной постановке

3.1 Физическая постановка задачи

Допустим источником лучистой энергии является огненный шар, возникший в следствии разрыва трубопровода T либо разгерметизации емкости с горючим, располагается на высоте H от земной поверхности (см. рис.3.1). Т.к. его незначительны согласно сопоставлению с радиусом Земли, будем считать точечным источником излучения, R - расстояние от центра источника до текущей точки поверхности лесного массива, h - высота лесного массива, O - эпицентр, r_* - радиус зоны зажигания. На верхнюю границу $z = h$ лесного массива действует интенсивный лучистый поток $q_R(r, t)$, ослабляющийся по мере удаления от эпицентра O . Максимум интенсивности источника достигается при $t = t_o$, далее она затухает до нуля согласно данным о $q_R(r, t)$, которая может быть аппроксимирована следующим образом

$$q_R(r, t) = \frac{t_p P_m \sin L}{4 \pi R^2} \begin{cases} t / t_m, & t < t_m \\ \exp(-k_0(t / t_m - 1)), & t \geq t_m \end{cases} \quad (3.1)$$
$$t_m = 0.3m_0^{0.303}, P_m = 450 * 10^3 \text{ Дж} / \text{с}.$$

где R - расстояние от центра источника излучения до полога леса, м;

t_m - максимальное время тепловыделения источника излучения, с;

t_p - коэффициент пропускания атмосферы;

P_m - наибольшая величина светового импульса в момент времени t_m ,

Дж/с;

L - угол между направлением вектора плотности потока излучения и верхней границей растительного покрова;

k_0 - аппроксимационный коэффициент ($k_0=0.75$).

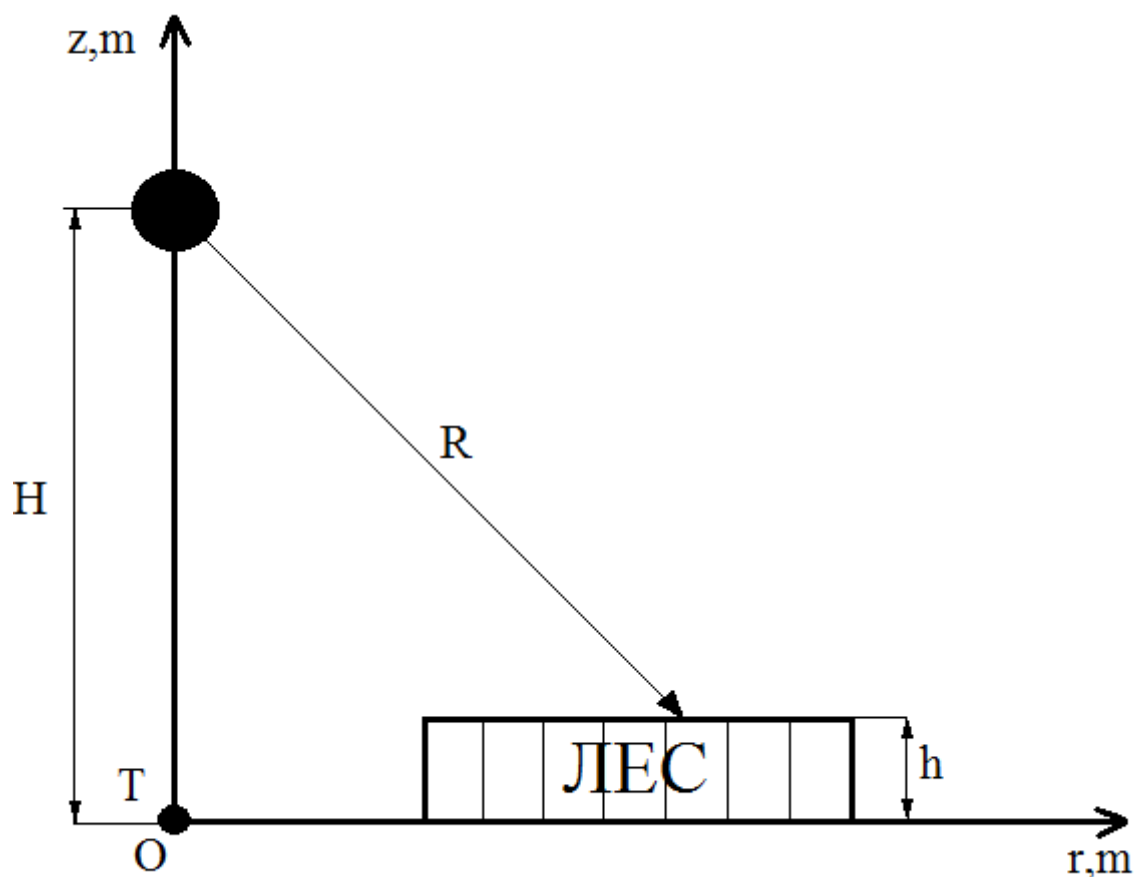


Рисунок 3.1 - схема процесса зажигания лесного массива

Поступление лучистой энергии в растительный покров ($z_0 \leq z \leq h$) порождает нагревание ЛГМ, испарение влаги и последующее термическое разложение твердого материала с выделением летучих продуктов пиролиза. Потом последние сгорают в атмосфере взаимодействуя с кислородом воздуха. Из-за присутствия силы тяжести, нагретые объемы воздуха начинают всплывать вверх, поэтому процессы объемного зажигания лесной растительности становятся, в едином случае, сопряжены с гидродинамикой течения. По причине этого, то что на периферии от эпицентра взрыва интенсивность лучистого потока в полог леса мала, в таком случае не происходит зажигания. Значит, за период действия источника излучения создается область изначального зажигания лесного массива радиусом r^* . В безупречном случае она обладает формой круга. Дальнейшее её формирование определяется взаимодействием восходящих потоков с полем ветра, так как они выносят в приземный слой атмосферы и реализовывают

разброс согласно находящейся вокруг местности твердых горящих элементов, а кроме того метеорологическими и географическими критериями в установленном районе.

Для настоящего исследования считаем, что скорость ветра в атмосфере относительно низка и энергия в главном переносится благодаря излучению. Физическая и математическая модели тепло- и массопереноса при лесных пожарах тщательно изучены в прошлых разделах и к примеру в работах [12].

В данной работе будут показаны главные представления об объекте изучения и физические допущения, требуемые для понимания математической модели. Считается, то что:

- 1) течение симметрично относительно вертикальной оси z , обладающей началом в центре рассматриваемой области (рис. 3.1) и направленной вертикальном положении навверх;
- 2) течение носит развитый турбулентный характер и молекулярным переносом пренебрегаем согласно сопоставлению с турбулентным;
- 3) полог леса - недеформируемая среда;
- 4) плотность газовой фазы не находится в зависимости с давлением из-за малой скорости течения по сравнению со скоростью звука.

Допустим, что полог леса можно моделировать однородной двухтемпературной многофазной пористой реагирующей средой [5]. Выделяется температура конденсированной (твердой) T_s и газовой T фаз. К твердой фазе относится сухое органическое вещество, влага, конденсированные продукты пиролиза, а так же минеральная часть ЛГМ. В газовой фазе выделим самые важные для описания реакции горения компоненты: массовые концентрации c_α ($\alpha=1$ – кислород, 2 - горючие продукты пиролиза ЛГМ, 3 – остальные инертные компоненты, включая пары воды). Твердая фаза, представляющая горючий материал (тонкие ветки и хвоя в размере до бмм), вода в жидко-капельном состоянии и конденсированные продукты пиролиза, не имеет своей скорости и ее объемной долей, в сравнении с газовой фазой, можно пренебречь в

соответствующих уравнениях, т.к. в единице объема леса находится меньше 0.5кг[5]. С точки зрения гидродинамики, данная пористая среда, оказывает сопротивление с силой $\vec{F} = \rho s c_d |\vec{v}| \vec{v}$ каждому перемещению воздушных масс [13]. Считается, то что среда располагается в локально-термодинамическом равновесии. Турбулентный конвективный перенос, обусловленный действием силы тяжести, описывается с применением уравнений Рейнольдса [14].

В том числе учитываются физико-химические процессы, протекающие в пологе леса, скорости химических реакций R_i ($i=1, 2, 3, 5$) в функции температуры и иных параметров являются известными. Определяющим механизмом переноса энергии в этом случае считается излучение. В пологе леса поглощает, отражает и переизлучает в основном твердая фаза. Для описания переноса в такой специфической сплошной среде будем применять диффузионное приближение [15]. Данное считается оправданным, т.к. протяженность свободного пробега излучения в пологе $l_R \ll l_o$, $l_o \sim 10-15$ м, $l_R \sim 1$ м (l_o - характерный масштаб высоты).

Лучистый тепловой поток от огненного шара, q_r , падающий на полог леса, существенно превосходит перенос энергии в горизонтальном течении. Поэтому данную задачу возможно рассматривать в квазиодномерном приближении, при этом учитывая изменения основных функций по z (вертикальной координате) для r (различных расстояний) от эпицентра взрыва. До момента зажигания, выполняются следующие неравенства:

$$q_{kx1} \ll q_r, q_{Rx1} \ll q_r, q_{kx2} \ll q_r, q_{Rx2} \ll q_r, \quad (3.2)$$

где q_{kx2} , q_{kx1} , q_{Rx1} , q_{Rx2} - плотности проекции конвективных q_k и радиационных q_R тепловых потоков на горизонтальные оси x_1 и x_2 в лесном фитоценозе. Считаем, что влиянием скорости ветра на зажигание ЛГМ можно пренебречь, т.к. энергия в основном переносится благодаря

излучению. Из рассмотренных выше оценок следует, что данную задачу можно рассматривать в квазиодномерной постановке[15].

3.2 Математическая постановка задачи

Для простоты предположим, что горизонтальная составляющая скорости ветра в пологе леса практически не влияет на процесс зажигания. Данное предположение допустимо, т.к. лучистый тепловой поток существенно превосходит конвективный. Согласно данному фактору полагаем, что процесс квазиодномерный, подразумевая, что все без исключения параметры зависят от времени t и вертикальной координаты z . С учетом сделанных предположений и законов сохранения для многофазной многокомпонентной реагирующей среда математически задача сводится к решению последующих уравнений [14].

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = \dot{m}; \quad (3.3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho w) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w^2) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z}(-\rho \overline{w'^2}) - \rho s c_d w^2 - \rho g; \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho c_p T) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w c_p T) = \frac{\partial}{\partial z}(-\rho c_p \overline{w'T'}) + k_g(cU_R - 4\sigma T^4) + q_5 R_5 + \\ + \alpha_v(T_s - T); \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho c_\alpha) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w c_\alpha) = \frac{\partial}{\partial z}(-\rho \overline{w'c'_\alpha}) - R_{5\alpha}, \alpha = 1, 2; \quad (3.6)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial z} \right) - kcU_R + 4k_g \sigma T^4 + 4k_s \sigma T_s^4 = 0; \quad (3.7)$$

$$\sum_{i=1}^4 \rho_i c_{pi} \phi_i \frac{\partial T_s}{\partial t} = q_3 R_3 - q_2 R_2 + k_s(cU_R - 4\sigma T_s^4) + \alpha_v(T - T_s); \quad (3.8)$$

$$\rho_1 \frac{\partial \varphi_1}{\partial t} = -R_1, \rho_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial t} = -R_2, \rho_3 \frac{\partial \varphi_3}{\partial t} = \alpha_c R_1 - \frac{M_c}{M_1} R_3, \rho_4 \frac{\partial \varphi_4}{\partial t} = 0; \quad (3.9)$$

$$\sum_{\alpha=1}^3 c_\alpha = 1, p_e = \rho RT \sum_{\alpha=1}^3 \frac{c_\alpha}{M_\alpha},$$

$$\dot{m} = (1 - \alpha_c)R_1 + R_2 + \frac{M_c}{M_1}R_3, R_{51} = -R_3 - \frac{M_1}{2M_2}R_5, R_{52} = \nu(1 - \alpha_c)R_1 - R_5. \quad (3.10)$$

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

$$R_3 = k_3 \rho \varphi_3 s_\sigma c_1 \exp\left(-\frac{E_3}{RT_S}\right),$$

$$R_5 = M_2 k_5 \left(\frac{c_1 M}{M_1}\right)^{0.25} \left(\frac{c_2 M}{M_2}\right) T^{-2.25} \exp\left(-\frac{E_5}{RT}\right).$$

Начальные и граничные условия для системы уравнений (3.3) - (3.10) имеют следующий вид:

$$t = 0: w = 0, T = T_e, c_\alpha = c_{\alpha e}, T_s = T_e, \varphi_i = \varphi_{ie}; \quad (3.11)$$

$$z = z_0: \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \frac{\partial T}{\partial z} = 0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial z} = 0, -\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial z} = \frac{\varepsilon}{2(2 - \varepsilon)} (4\sigma T_s^4 - cU_R); \quad (3.12)$$

$$z = h: \frac{\partial v}{\partial z} = 0, \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \frac{\partial T}{\partial z} = 0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial z} = 0, \frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial z} + \frac{c}{2} U_R = 2q_R(r, t). \quad (3.13)$$

здесь r и z - координаты, z - отсчитывается от напочвенного покрова, а r от оси симметрии; $R_1 - R_5$, $R_{5\alpha}$ - массовые скорости пиролиза лесных горючих материалов, испарение влаги, горение конденсированных и летучих продуктов пиролиза, образование сажи и пепла, образование α - компонентов газодисперсной фазы; c_{pi} , ρ_i , φ_i - удельные теплоемкости, истинные плотности, 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 твердой фаз; c_α - массовые концентрации ($\alpha=1$ - кислород, 2 - CO, 3 - инертные компоненты газовой фазы); p - давление; U_R - плотность энергии излучения; σ - постоянная Стефана-Больцмана; k - коэффициент ослабления излучения; k_g , k_s - коэф-ты 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_σ - удельная поверхность элемента ЛГМ; M_α , M_c , M - молекулярный вес компонентов газовой фазы, углерода и воздушной смеси; s , c_d - удельная поверхность фитомассы, эмпирический коэффициент полога леса; c - скорость света; w - проекция скорости на ось z ; α_c , ν - коксовое число и массовая доля горючих газов в массе летучих продуктов пиролиза; \dot{m} - массовая скорость образования газодисперсной фазы. Индексы "o" и "e" причисляются к значениям функций в очаге горения и на значительном расстоянии от места пожара в соответствии. Верхний индекс-штрих " ' " относится к пульсационной составляющей данной величины. Система уравнений (13)-(20) описывает процессы переноса в местности лесного массива, включающий пространство между верхней и нижней границей полога леса. Термодинамические, теплофизические и структурные характеристики соответствуют лесным горючим материалам соснового леса [16] и численно равны $E_1/R = 9400\text{K}$, $k_1 = 3.36 \cdot 10^4 \text{ c}^{-1}$, $q_1 = 0$, $E_2/R = 6000\text{K}$, $k_2 = 6 \cdot 10^5 \text{ c}^{-1}$, $q_2 = 3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$, $E_3/R = 10^4 \text{ K}$, $k_3 = 10^3 \text{ c}^{-1}$, $q_3 = 1.2 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг}$, $E_5/R = 11500 \text{ K}$, $k_5 = 3 \cdot 10^{13}$, $q_5 = 10^7 \text{ Дж/кг}$, $c_{p1} = 2000$, $c_{p2} = 4180$, $c_{p3} = 900$, $c_{p4} = 1000$, $c_p = 1000 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$, $s_\sigma = 1000 \text{ м}^{-1}$, $SCd = 0.1$, $\alpha_c = 0.06$, $\rho_4 \varphi_4 = 0.08 \text{ кг/м}^3$, $\nu = 0.7$, $\rho_1 = 500$, $\rho_2 = 1000$, $\rho_3 = 200$, $\rho_e = 1.2 \text{ кг/м}^3$, $c_{2e} = 0$, $\varphi_{3e} = 0$, $p_e = 10 \text{ н/м}^2$, $T_e = 300 \text{ K}$, $c_{1e} = 0.23$.

Начальные значения объемных долей фаз считались по формулам согласно (3.14):

$$\varphi_{1e} = \frac{d(1-\nu_0)}{\rho_1}, \varphi_{2e} = \frac{dW}{\rho_2}, \varphi_{3e} = 0, \quad (3.14)$$

где W - влагосодержание лесных горючих материалов, а d и ν_0 - запас и зольность ЛГМ ($W = 0.666$, $d = 0.5 \text{ кг/м}^3$ - для полога леса и $W = 0.1$, $d = 20 \text{ кг/м}^3$ - для напочвенного покрова, $\nu_0 = 0.04$).

Система уравнений (3.3)-(3.10) содержит члены, связанные с турбулентной конвекцией и необходимы в замыкании. Компоненты тензора турбулентных

напряжений $-\overline{\rho w'^2}$, и в том числе турбулентные потоки тепла и массы $-\overline{\rho w' c_p T'}$, $-\overline{\rho w' c'_\alpha}$ записываются через градиенты среднего течения согласно (3.15, 3.16):

$$-\overline{\rho w' c_p T'} = \lambda_t \frac{\partial T}{\partial z}, \quad -\overline{\rho w' c'_\alpha} = D_t \frac{\partial c_\alpha}{\partial z}, \quad -\overline{\rho w'^2} = \mu_t \frac{\partial w}{\partial z} \quad (3.15)$$

$$\lambda_t = \mu_t c_p / Pr_t, \quad \rho D_t = \mu_t / Sc_t$$

$$\mu_t = c_\mu \rho K^2 / \varepsilon. \quad (3.16)$$

здесь K - кинетическая энергия турбулентности, w и w' - компоненты средней скорости и пульсационной составляющей скорости в проекции на ось z ; μ_t , λ_t , D_t - коэффициенты турбулентной динамической вязкости, турбулентной теплопроводности и диффузии; Pr_t , Sc_t - турбулентные числа Прандтля и Шмидта. Согласно (3.16) $\mu_t = c_\mu \rho K^2 / \varepsilon$, где ε - скорость диссипации турбулентной кинетической энергии, c_μ - постоянная. В связи с тем, что определение коэффициента турбулентной динамической вязкости связано с трудностями обусловленными, к примеру, произвольным выбором начальных и граничных условий для уравнения кинетической энергии турбулентности, интересует приближенный способ замыкания, созданный на гипотезе пути смешения Прандтля, что фактически отмечает равновесное приближение для уравнения кинетической энергии турбулентности. Элементы для данного случая рассказаны в работе [17].

3.3 Численный метод решения

Дифференциальное уравнение, которое описывает процесс теплообмена и массообмена гидродинамики подчиняются обобщенному закону сохранения [18]. Если обозначить всякую искомую функцию Φ , то обобщенное дифференциальное уравнение принимает в тензорной форме вид

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\Phi) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho v\Phi) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma_\Phi \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right) + S \quad (3.17)$$

где t, x - временная и пространственные координаты, ρ - плотность, v - компоненты вектора скорости, Γ_Φ - коэффициент переноса (например, Γ_Φ — коэффициент турбулентной вязкости, теплопроводности, диффузии и т.д.), S — источниковый член. Так же в S возможен входить приток (сток) тепла за счет химических реакций в уравнении энергии или увеличении(уменьшении) концентраций компонентов в результате химических реакций в уравнении диффузии. Конкретный вид Γ_Φ и S зависит от смысла переменной Φ . Начальные и граничные условия для уравнения (3.17) записываются следующим образом:

$$\Phi|_{t=0} = \Phi_e, \alpha_1 \frac{\partial \Phi}{\partial x} |_{x=x_e} + \alpha_2 \Phi |_{x=x_e} = \alpha_3 \quad (3.18)$$

здесь α_i - функция аргументов t и x - значение аргумента на соответствующей границе расчетной области.

В рассматриваемой математической модели учитываются химические реакции, так же дополнительно применяются обычные дифференциальные уравнения первого порядка или уравнения химической кинетики, которые в общем виде записывается следующим образом:

$$\frac{\partial}{\partial t} = -K(t)\Phi + F(t), K(t) \geq 0, F(t) \geq 0, \Phi|_{t=0} = \Phi_e \quad (3.19)$$

Построение дискретного аналога для уравнения вида (3.17) с соответствующими краевыми условиями типа (3.18) проведем на основе метода контрольного объема, подробно изложенного в [19]. Настоящее расположение граней контрольного объема e и w не должно сказываться на окончательную форму записи, допустим, что грань e размещена посередине между узловыми точками P и E , а грань w — посередине между W и P [19].

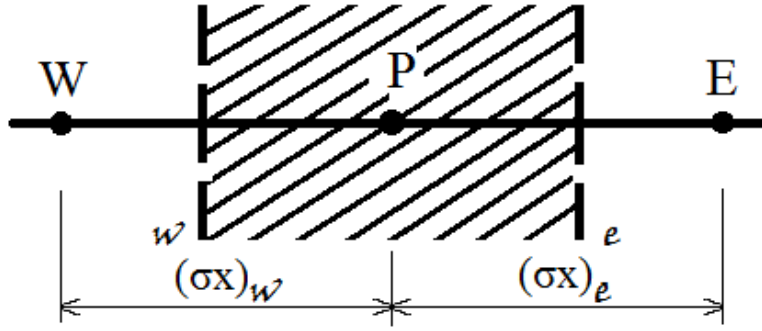


Рисунок 3.2 - типичный шаблон узловых точек для одномерной задачи (заштрихованная область — контрольный объем)

Следуя [20], где подробно изложен способ получения дискретного аналога с помощью метода контрольного объема, запишем в окончательном виде для одномерного случая для уравнения (3.17) дискретный аналог запишется в следующем виде:

$$a_P \Phi_P = a_E \Phi_E + a_W \Phi_W + b \quad (3.20)$$

$$a_E = D_e A(|P_e|) + [|-F_e, 0|]$$

$$a_W = D_w A(|P_w|) + [|F_w, 0|]$$

$$a_P = a_E + a_W + a_P^0 - S_P \Delta x$$

$$b = S_C \Delta x + a_P^0 \Phi_P^0, S = S_P \Phi + S_C, a_P^0 = \frac{\rho_P^0 \Delta x}{\Delta t}$$

Массовые расходы F_e и F_w определены уравнениями:

$$F_e = (\rho v)_e, F_w = (\rho v)_w, \quad (3.21)$$

соответствующие проводимости:

$$D_e = \frac{\Gamma_e}{(\delta x)_e}, D_w = \frac{\Gamma_w}{(\delta x)_w}, \quad (3.22)$$

а числа Пекле:

$$P_e = F_e / D_e, P_w = F_w / D_w. \quad (3.23)$$

Выражение типа $[A, B]$ означает, что выбирается максимальный элемент из двух. Для функции $A(|P|)$ рекомендуется схема со степенным законом [21]

$$A(|P|) = \left[\left[0, (1 - 0, |P|)^5 \right] \right] \quad (3.24)$$

Применяя шахматную сетку (рис.3.3) дискретные аналоги для компонента скорости уравнения количества движения немного отличаются от дискретных аналогов уравнений для других Φ , рассчитываемых в узлах основной сетки. Но данное отличие принадлежит к несущественным деталям. Оно связано с применением для аппроксимации уравнений количества движения контрольных объемов на шахматной сетке. Для любой зависимой переменной, возможно применить свою сетку. При исчислении компонентов скорости необходимо в соответствии с [21] определять их на сетке, отличающаяся от сетки, используемой для всех иных переменных. К примеру, этот подход построения сетки применен при разработке процедур *SIVA* и *SIMPLE* [22].

При использовании сдвинутых для уравнений движения сеток, элементы вектора скорости рассчитываются в точках, находящихся на гранях контрольных объемов определенных для функций скалярных величин. Значит, скорость v вдоль соответствующих осей x рассчитывается на поверхностях контрольных объемов. На рис.3.3 стрелкой указывается точка, в которой определяется компонент скорости v для одномерного случая. Точки для скалярных функций(узловые точки) показаны кружками. Наречем их основными. Из рассмотрения рис.3.3 следует, что в соотношении с узловыми точками основной сетки точки, в которых определяется компоненты скорости v , смещены в течении оси x . Означает, что точки находятся на отрезках, соединяющие две соседние узловые точки. Точки для определения v находятся на границах контрольных объемов между основными узловыми точками, в которых задаются скалярные функции [21].

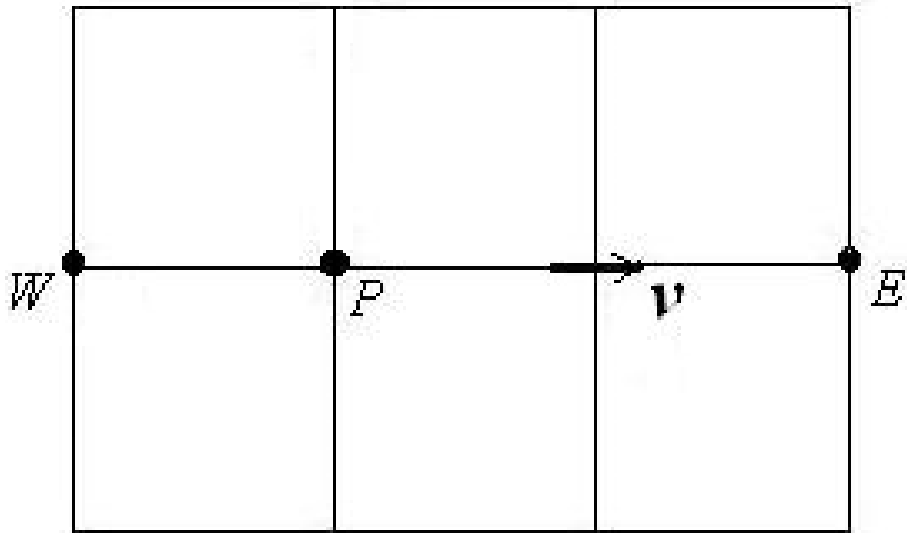


Рисунок 3.3 - распределение контрольных объемов для скалярных функций и компонентов скорости v

Применение этого подхода определения сеток гарантирует наиболее комфортный вид при записи дискретного аналога обобщенного дифференциального уравнения Φ . Таким образом результирующий дискретный аналог для компонентов скорости v можно соответственно записать в виде [21]

$$a_e v_e = \sum a_{nb} v_{nb} + b + (p_P - p_E) A_e, \quad (3.25)$$

Для того, чтобы решить уравнения движения (3.25) необходимо рассчитать поле давление или задать его каким-нибудь способом. Определим согласно [21] таким образом, поле давление, чтобы поле скорости удовлетворяло уравнению неразрывности. Для этой цели в работе [21] использовался алгоритм *SIMPLE*. В [21] подробно изложена данная методика. При этом вводилась вспомогательная функция для поправки давления. Получение дискретного аналога для поправки давления p' также приведено в [23]. Здесь p' определяется по формуле $p' = p - p_*$. Где p – давление, а p_* - приближенное поле давления. Уравнение для сеточных значений поправки давления p' имеет вид

$$a_P p'_P = a_E p'_E + a_W p'_W + b \quad (3.26)$$

где $a_E = \rho_e d_e, a_W = \rho_w d_w,$

$$a_p = a_E + a_W$$

$$b = \frac{(\rho_P^0 - \rho_P) \Delta x}{\Delta t} + [(\rho v^*)_w - (\rho v^*)_e]$$

Метод решения сеточных уравнений TDMA

Вследствие дискретизации дифференциальной задачи получаем системы сеточных уравнений для любого дифференциального уравнения. При этом матрица системы является трехдиагональной для одномерного случая. В одномерном случае с целью извлечения численного решения применяется известный способ прогонки [21]. Выбираем направление, в котором будем искать решение. Применяя TDMA (Three dimensional method algorithm или метод прогонки [21]), получим распределение Φ по всей расчетной области[22].

Для удобства записи алгоритма введем некоторые обозначения. Присвоим узловым точкам, изображенным на рис.3.2, номера 1, 2, 3, ..., N. Номера 1 и N относятся к точкам на границе. Дискретный аналог можно записать в следующем виде:

$$a_i T_i = b_i T_{i+1} + c_i T_{i-1} + d_i \quad (3.27)$$

где $i=1, 2, 3, \dots, N$. Таким образом, температура T_i связана с соседними значениями T_{i+1} и T_{i-1} . Запись уравнений для узловых точек на границе дает

$$c_1 = 0 \text{ и } b_N = 0, \quad (3.28)$$

следовательно, температуры T_0 и T_{N+1} не будут, иметь, смысла (в том случае, когда температуры на границе заданы, уравнения для граничных точек записываются в обычной форме, например если T_1 задано, имеем $a_1 b_1 = 0, c_1 = 0$ и d_1 равно заданному значению T_1)[22].

Записанные условия означают, что T_1 известна в зависимости от T_2 . Уравнение для $i = 2$ представляет собой соотношение между T_1, T_2 и T_3 . Но поскольку T_1 может быть выражена через T_2 , это соотношение приводится к

соотношению между T_2 и T_3 . Другими словами, T_2 можно выразить через T_3 . Процесс подстановки можно продолжать до тех пор, пока значение T_N не будет выражено через T_{N+1} . Но поскольку T_{N+1} не существует, мы в действительности на данном этапе получим численное значение T_N . Это позволит нам начать процесс обратной подстановки, в котором T_{N-1} получится из T_N , T_{N-2} — из T_{N-1} , ..., T_2 — из T_3 и T_1 — из T_2 . Это и составляет существо алгоритма трехдиагональной матрицы [22].

Допустим, что при прямой подстановке имеем зависимой

$$T_i = P_i T_{i+1} + Q_i \quad (3.29)$$

после того, как получено

$$T_{i-1} = P_{i-1} T_i + Q_{i-1} \quad (3.30)$$

Подставляя (3.30) в (3.27), получаем следующее соотношение:

$$a_i T_i = b_i T_{i+1} + c_i (P_{i-1} T_i + Q_{i-1}) + d_i \quad (3.31)$$

которое можно привести к виду (3.29). Иначе говоря, коэффициенты P_i и Q_i запишем в виде

$$P_i = \frac{b_i}{a_i - c_i P_{i-1}}; \quad Q_i = \frac{d_i + c_i Q_{i-1}}{a_i - c_i P_{i-1}} \quad (3.32)$$

Эти рекуррентные соотношения определяют P_i и Q_i через P_{i-1} и Q_{i-1} . Заметим, что в начале рекуррентного процесса уравнение (3.27) для $i=1$ по форме почти совпадает с (3.24). Таким образом, P_i и Q_i определяются в следующем виде:

$$P_1 = \frac{b_1}{a_1}; \quad Q_1 = \frac{d_1}{a_1} \quad (3.33)$$

На другом конце последовательности P_i и Q_i имеем $b_N = 0$. Это дает $P_N = 0$, и из (3.29) получаем $T_N = Q_N$ [22].

Скорость сходимости этого метода значительно высокая, т.к. сведения о граничных условиях на границах линии мгновенно переходят во внутреннюю долю области вне зависимости от числа точек на линии. Процесс использования *TDMA* вдоль линий повторяется вплоть до, пока

$$\|R^0\| > \gamma \|R\|$$

(3.34)

где $\|R\| = \sqrt{\sum (a_p \Phi_p - a_e \Phi_e - a_w \Phi_w)^2}$

здесь суммирование по всем точкам расчетной области.

3.4 Алгоритм решения задачи

Разберем метод решения представленных выше систем уравнений для заданных областей. Подсчет велся скалярным способом. При численном решении использовалось разложение согласно физическим процессам, в таком случае изначально рассчитывается гидродинамическая ситуация течения и распределения искомых скалярных функций (например T , c_α и т.д.), а потом велся расчет уравнения химической кинетики для объемных долей фаз и предусматривались химические источники для скалярных функций (c_α , T) [24]. При расчете уравнений хим. кинетики шаг по времени назначался автоматически. Данное разрешило реализовать процесс расчета на второй стадии с наименьшим шагом по времени, в случае необходимости. Подобная обстановка появилась в том случае, когда значительную роль принимались исполнять химические источники, т.е. когда совершалось испарение влаги и пиролиз ЛГМ, а далее и зажигание летучих продуктов пиролиза. Затем производился расчет уравнения переноса излучения. Полученные значения функций подставляются в качестве первоначального приближения, и процесс повторялся.

Решение полагалось найденным в новейшем временном слое, в случае если достигалась установленная точность для искомого решения в 2-х следующих итерациях, что составляет не более 1% [18].

3.5 Результаты решения задачи

На основе математической модели проведены численные расчеты по определению процесса возникновения загорания лесного массива в

результате образования огненного шара и воздействие теплового излучения на лесной массив. В результате численного интегрирования получены распределения основных функций: температур газовой и твердой фаз, концентрации компонентов газовой фазы и объемных долей твердой фазы. Так же получены значения радиуса зажигания лесного покрова под действием теплового излучения огненного шара, которое зависит от влажности подстилающей поверхности и массы разлитого горючего вещества. По полученным результатам составлена таблица зависимости радиуса зажигания от массы разлитого горючего вещества и влагосодержания лесного массива.

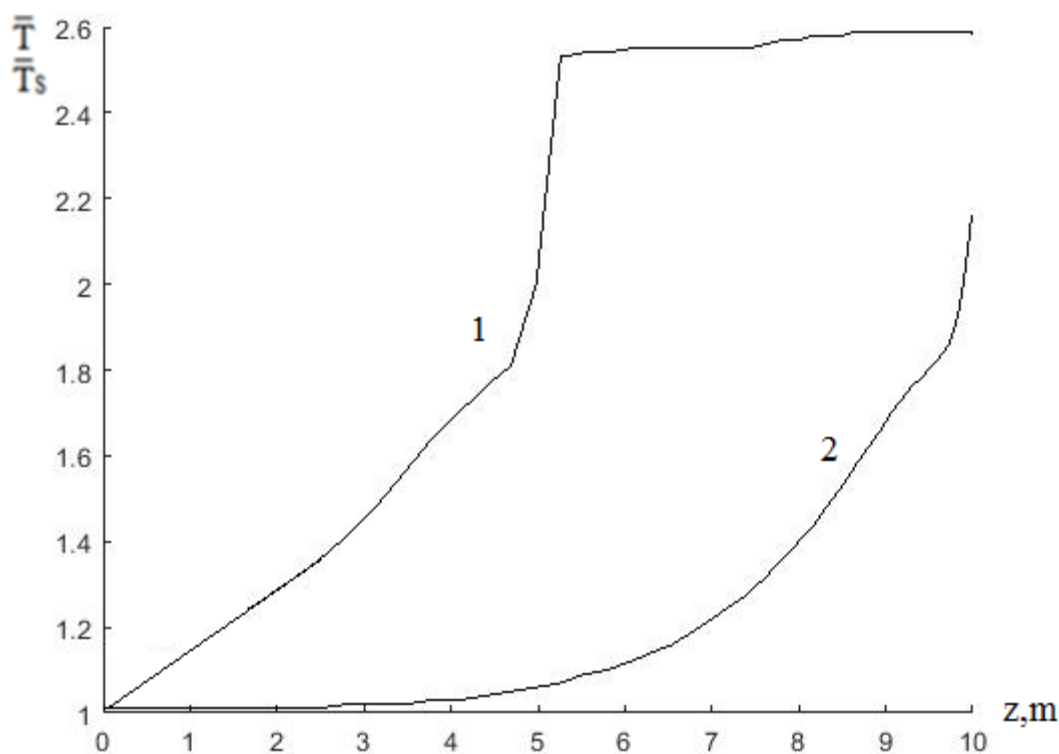


Рисунок 3.4 - распределение температур $\bar{T}(2), \bar{T}_s(1)$ в пологом леса

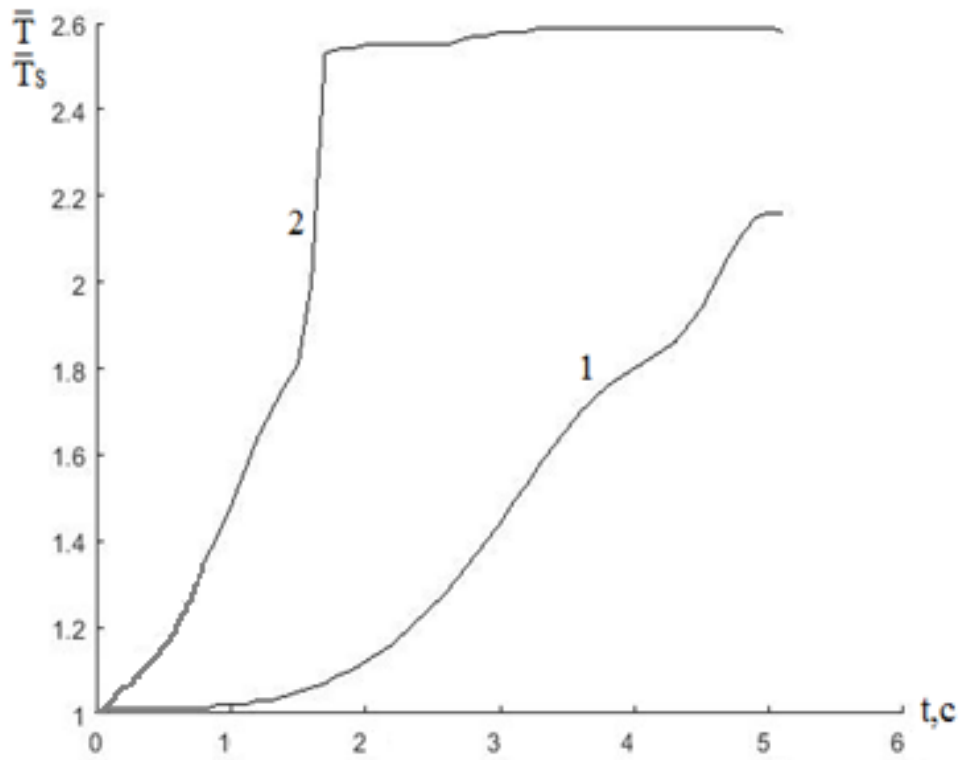


Рисунок 3.5 - распределение температур $\bar{T}(1), \bar{T}_s(2)$ в точке зажигания с течением времени

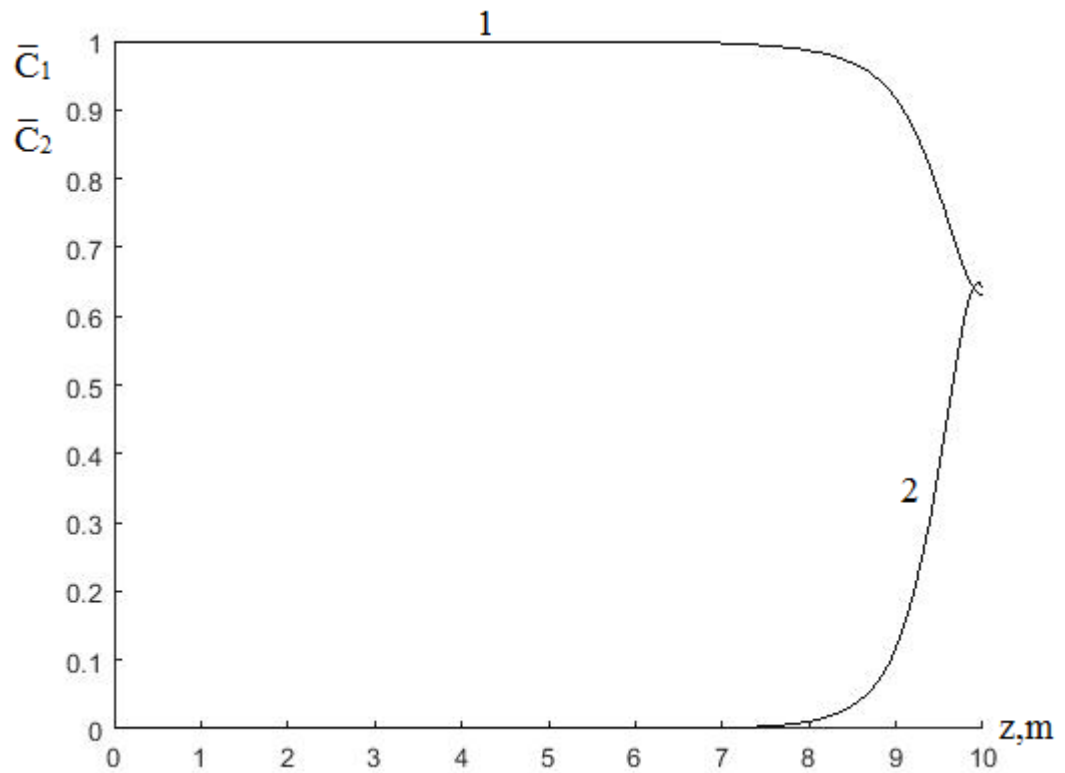


Рисунок 3.6 – концентрации кислорода $\bar{C}_1(1)$ и летучих продуктов пиролиза $\bar{C}_2(2)$ в пологе леса

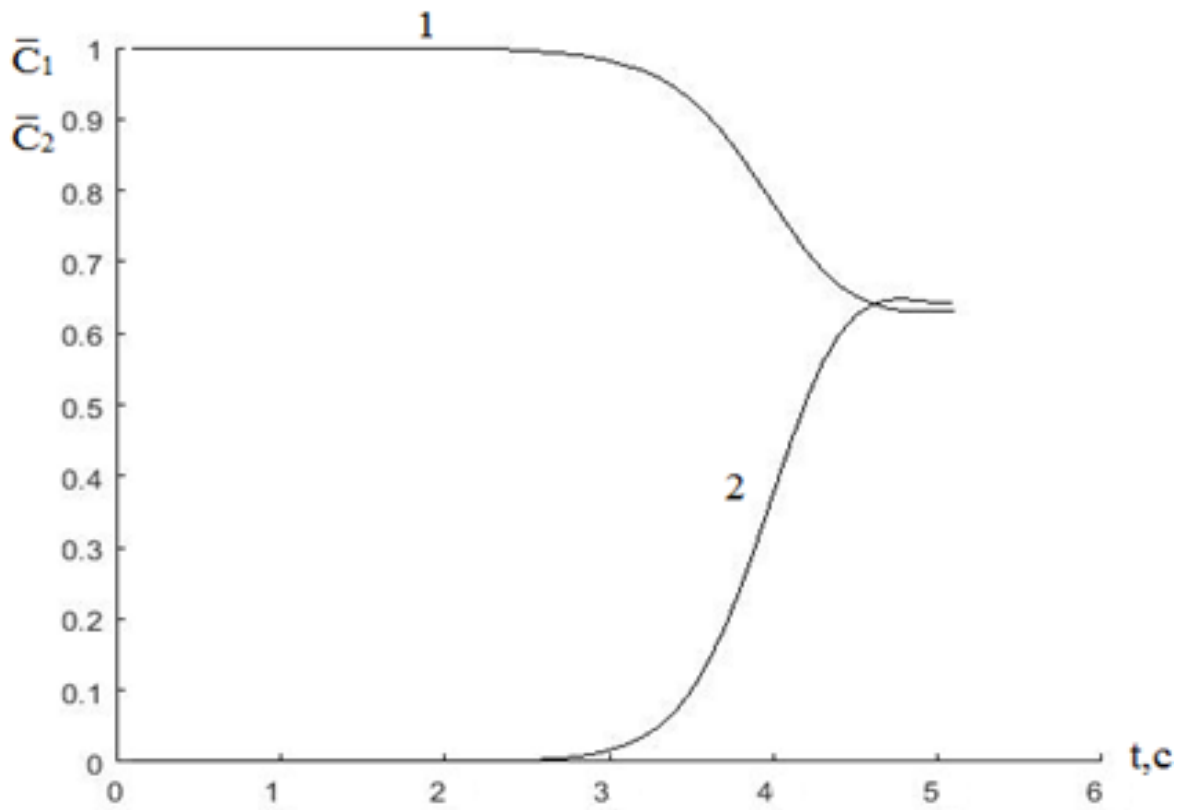


Рисунок 3.7 - концентрации кислорода $\bar{C}_1(1)$ и летучих продуктов пиролиза $\bar{C}_2(2)$ в точке зажигания с течением времени

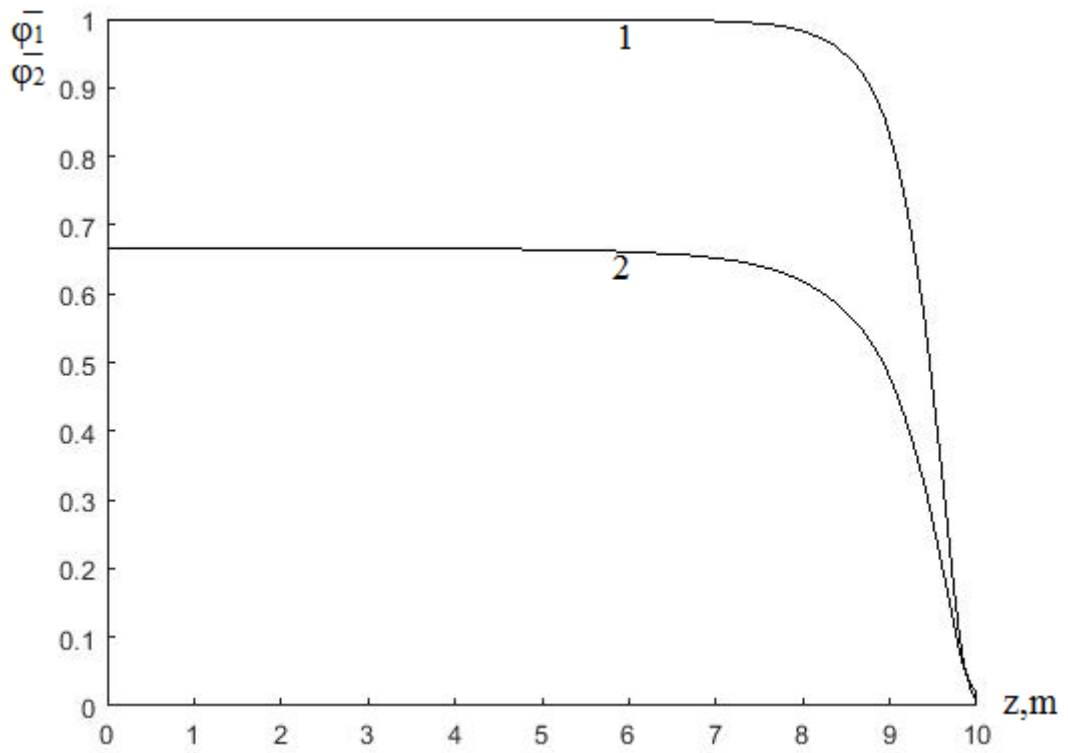


Рисунок 3.8 - распределение объемной доли $\bar{\phi}_1(1)$ и $\bar{\phi}_2(2)$ в пологе леса

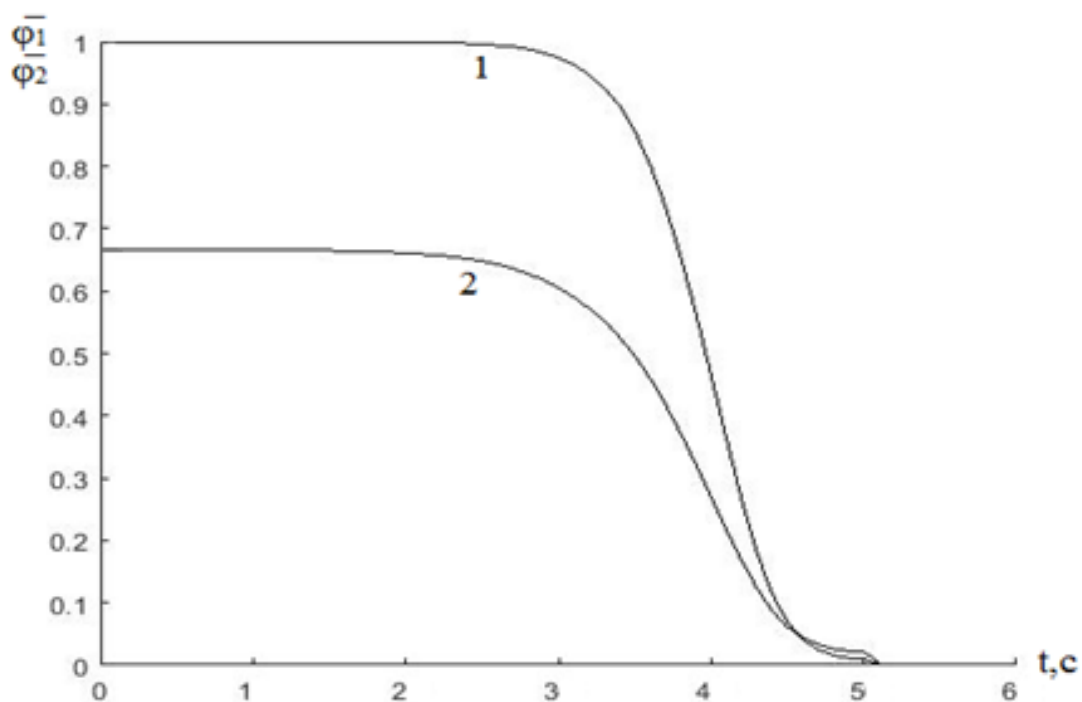


Рисунок 3.9 - распределение объемной доли $\bar{\varphi}_1(1)$ и $\bar{\varphi}_2(2)$ в точке зажигания с течением времени

Таблица 3.1 - зависимости размеров зон зажигания от массы разлившегося горючего вещества и влагосодержания лесного массива

Масса разлившегося горючего вещества, т	Радиус зажигания лесного покрова, м		
	Влагосодержание ЛГМ, W		
	0,2	0,4	0,6
10	40	40	30
20	60	60	50
30	80	70	60
40	90	80	70
50	90	80	80
60	90	90	80

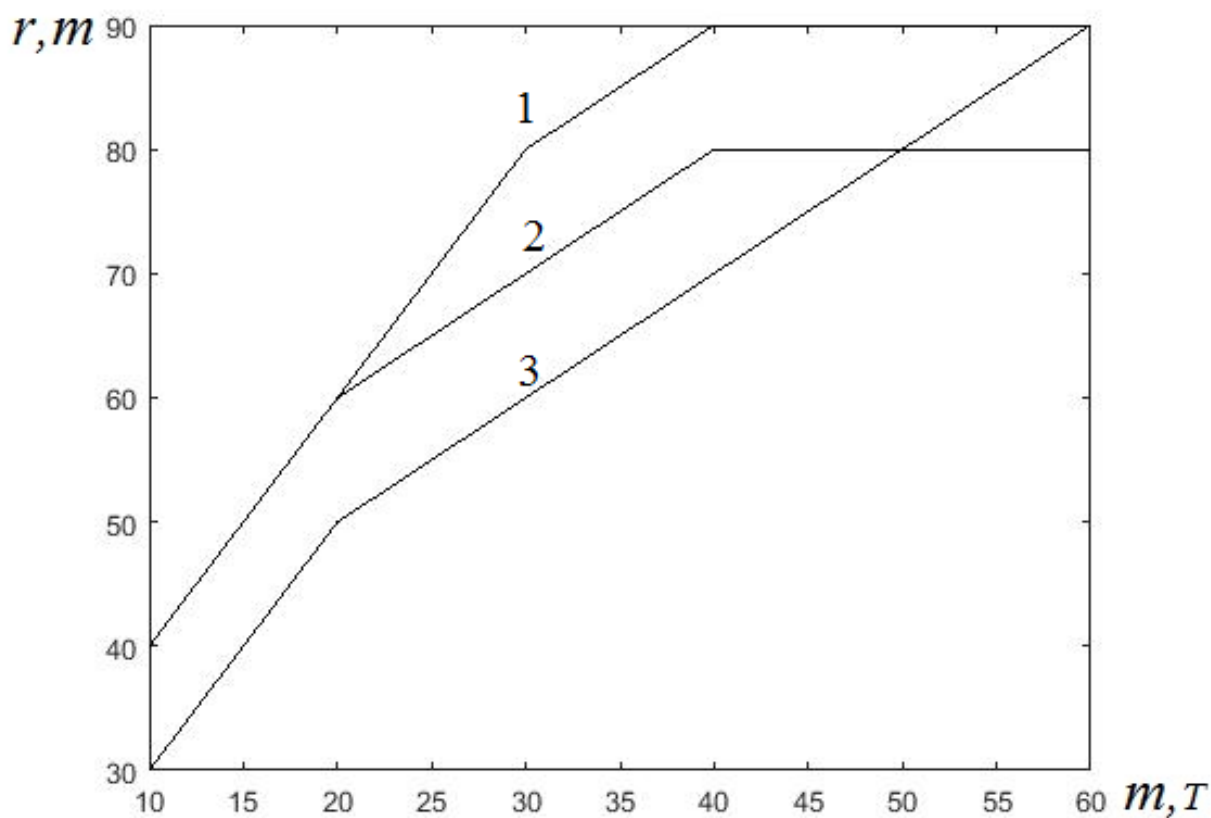


Рисунок 3.10 - зависимости радиусов(размеров) зон зажигания лесного массива r от m - массы выделившегося горючего для различных влагосодержаний лесных горючих материалов ($W=1 - 0.2, 2 - 0.4, 3-0.6$)

4 Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.

Данная квалификационная работа на тему «Численный расчет максимальных размеров зон зажигания под воздействием светового излучения» выполняется в рамках научно-исследовательской работы для организаций, связанных с транспортировкой нефти и газа, на объектах магистральных трубопроводов. Полученные данные будут полезны для сотрудников организаций, обслуживающих данные объекты.

Целью работы являются, расчет времени и размеров зон зажигания, а так же изучение физико-химических процессов.

В зависимости от категории потребителей необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования. Сегментировать рынок услуг по работе с программой «Fire» и «MatLab» можно по следующим критериям: вид горючего вещества и визуальное представление результатов математического моделирования (таблица 1).

Таблица 4.1 - Карта сегментирования рынка услуг по разработке программы математического моделирования

		Вид горючего вещества		
		Нефть	Газ	Нефть-газ
Результат представления математического моделирования	Графики	1, 5	1, 5	1, 5
	Формулы	1, 5	1, 5	1, 5
	Таблицы	1	1	1

1 – SIMPLE

2 – SIVA

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Подробное исследование конкурирующих разработок, имеющих на рынке, следует проводить регулярно, так как рынки пребывают в непрерывном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты (таблица 2). Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырех конкурентных товаров и разработок.

Таблица 4.2 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бф	Бк1	Бк2	Кф	Кк1	Кк2
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки							
1. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	3	4	4	0,45	0,6	0,6
2. Автоматический расчет уравнений программой	0,1	4	5	3	0,4	0,5	0,3
3. Простота эксплуатации	0,2	5	3	3	1	0,6	0,6
4. Качество интеллектуального интерфейса	0,15	4	4	2	0,6	0,6	0,3
5. Визуальное представление результатов	0,1	3	3	3	0,3	0,3	0,3
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
2. Цена	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
Итого	1	31	31	26	3,95	3,8	3,2

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_j, \quad (4.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_j – балл i -го показателя.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. 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.

Таблица 4.3 - Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	<p>С₁. Низкая стоимость, по сравнению с другими технологиями</p> <p>С₂. Использование современного оборудования</p> <p>С₃. Наличие руководителя.</p> <p>С₄. Представление полученной информации наглядно (графики, таблицы, формулы)</p> <p>С₅. Актуальность программы</p>	<p>Сл₁. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров для работы с программой</p> <p>Сл₂. Отсутствие необходимого оборудования для работы с программой</p> <p>Сл₃. Промежуток времени, затрачиваемый на расчет и построение таблиц, графиков (30-40 минут)</p> <p>Сл₄. Ограниченная область применения</p>

		Сл ₅ . Медленное введение на рынок новой технологии
<p>Возможности:</p> <p>В₁. Повышение стоимости конкурентных разработок В₂. Повышение уровня предотвращения экологического загрязнения</p> <p>В₃. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В₄. Повышение уровня оперативного реагирования спец. служб</p> <p>В₅. Повышение уровня</p>	<p>- При низкой стоимости продукт могут позволить себе большинство организаций</p> <p>- При использовании современных технологий повысится скорость локализации экологического загрязнения</p> <p>- При актуальности программы, конкуренты повысят стоимость своих разработок во избежание разорения</p>	

локализации аварий		
<p>Угрозы:</p> <p>У₁. Неумение персонала пользоваться программой.</p> <p>У₂. Появление конкурентов.</p> <p>У₃. Отсутствие спроса на программу.</p> <p>У₄. Введение дополнительных государственных требований и сертификации программы.</p>		<p>- Стабильное проведение обучения сотрудников организаций по работе с программой</p> <p>- Сделать программу воспроизводимой на всех доступных устройствах</p> <p>- Увеличить возможности применения программы</p> <p>- Засертифицировать программу</p>

Описание сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта, его возможностей и угроз происходит на основе результатов анализа, проведенного в предыдущих разделах бакалаврской работы.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта.

Таблица 4.4 – интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
	B ₁	+	0	+	0	+
	B ₂	-	+	+	0	+
	B ₃	+	+	0	0	+
	B ₄	0	+	0	-	0
	B ₅	-	+	+	+	0

Анализ интерактивной таблицы представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей: В1С1С3С5, В2С2С3С5, В3С1С2С5, В4С2, В5С2С3С4.

Таблица 4.5 - Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл ₁	Сл ₂	Сл ₃	Сл ₄	Сл ₅
	В ₁	+	+	+	+	-
	В ₂	-	0	-	-	0
	В ₃	-	-	0	0	-
	В ₄	0	0	-	0	-
	В ₅	0	-	-	0	-

Анализ интерактивной таблицы представляется в форме записи сильно коррелирующих слабых сторон и возможностей: В1С1С2С3С4.

Таблица 4.6 - Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		С ₁	С ₂	С ₃	С ₄	С ₅
	У ₁	+	+	+	0	-
	У ₂	-	+	+	-	0
	У ₃	-	+	+	-	0
	У ₄	0	+	-	0	+

Анализ интерактивной таблицы представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и угроз: У1С1С2С3, У2У3С2С3, У4С2С5.

Таблица 4.7 - Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл ₁	Сл ₂	Сл ₃	Сл ₄	Сл ₅
	У ₁	+	+	-	-	0
	У ₂	+	0	+	+	+
	У ₃	+	+	+	+	0
	У ₄	-	-	-	-	+

Анализ интерактивной таблицы представляется в форме записи сильно коррелирующих слабых сторон и угроз: У1С1С2, У2С1С3С4С5, У3С1С2С3С4, У4С5.

4.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.

Морфологический подход основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования. Синтез охватывает как известные, так и новые, необычные варианты, которые при простом переборе могли быть упущены. Путем комбинирования вариантов получают большое количество различных решений, ряд которых представляет практический интерес.

Таблица 4.8 - Морфологическая матрица

	1	2	3
А. Визуализация результатов	График	Таблицы	Формулы
Б. Описание процесса	Формулы	Таблицы	Графики
В. Поражающие факторы (кол-во)	5	2	7
Г. Длительность расчета программой, мин	30	35	40
Д. Алгоритмы расчета	SIMPLE	SIVA	
Е. Интерфейс	Русский	Английский	Немецкий
Ж. Возможность применение в отраслях	Нефть	Газ	Нефть-газ

Возможные варианты решения поставленной проблемы с позиции ее функционального содержания и ресурсосбережения:

1. А2Б3В1Г2Д2Е2Ж3 - в данном решении происходит визуализация результатов посредством таблиц, значения которых приведены в графиках в виде пяти поражающих факторов, длительность расчетов 35 минут, алгоритм расчета используется SIVA, язык английский, в данном случае применение в нефтегазовой сфере.

2. A1B2B2Г1Д1Е1Ж1 - в данном решении происходит визуализация результатов посредством графиков, значения которых приведены в таблицах в виде двух поражающих факторов, длительность расчетов 30 минут, алгоритм расчета используется SIMPLE, язык русский, в данном случае применение в нефтяной сфере.
3. A2B1B3Г3Д2Е3Ж2 - в данном решении происходит визуализация результатов посредством таблиц, значения которых приведены в формулах в виде семи поражающих факторов, длительность расчетов 40 минут, алгоритм расчета используется SIVA, язык немецкий, в данном случае применение в газовой сфере.

4.3 Планирование научно-исследовательских работ

4.3.1 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 4.9 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ Раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель
	2	Выдача задания по тематике проекта	Научный руководитель
Выбор направления исследования	3	Постановка задачи	Научный руководитель
	4	Определение этапов и сроков разработки проекта	Научный руководитель, студент
	5	Поиск литературы по теме	Студент
Теоретическое и экспериментальное исследования	6	Изучение литературы и программ «Fire» и «MatLab»	Студент
	7	Поиск нормативных документов по данной теме	Студент
	8	Моделирование зон зажигания	Студент
	9	Проведение расчетов и	Студент

		изучение результатов	
	10	Согласование полученных данных с научным руководителем	Научный руководитель, студент
Обобщение и оценка результатов	11	Оценка эффективности полученных результатов	Студент
	12	Работа над выводами по проекту	Студент
Оформление отчета по НИР	13	Составление пояснительной записки к работе	Студент

4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работы

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (4.2)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (4.3)$$

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

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

4.3.3 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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4.4)$$

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:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4.5)$$

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

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

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

Согласно данным производственного и налогового календаря на 2016 год, количество календарных дней составляет 366 дней, количество рабочих дней составляет 246 дней, количество выходных – 105 дней, а количество предпраздничных дней – 15, таким образом:

$$k_{\text{кал}} = \frac{366}{366 - 105 - 15} = 1,48,$$

$$k_{\text{кал}} = 1,48.$$

Таблица 4.10 - 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		$t_{ож}$, чел-дни				Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2						
Составление и утверждение темы проекта	3	3	6	6	4,2	4,2	Научный руководитель	4,2	4,2	7	7	
Выдача задания по тематике проекта	1	1	2	2	1,3	1,3	Научный руководитель	1,3	1,3	2	2	
Постановка задачи	1	1	2	2	1,3	1,3	Научный руководитель	1,3	1,3	2	2	
Определение этапов и сроков разработки проекта	1	1	3	3	1,8	1,8	Научный руководитель, студент	1,8	1,8	3	3	
Поиск литературы по теме	7	8	9	10	7,5	8,5	Студент	7,5	8,5	12	13	
Изучение литературы и программ «Fire» и «MatLab»	10	10	12	12	10,8	10,8	Студент	10,8	10,8	15	15	
Поиск нормативных документов по данной теме	3	3	5	5	3,8	3,8	Студент	3,8	3,8	5	5	
Моделирование зон зажигания	11	11	12	12	11,4	11,4	Студент	11,4	11,4	16	16	
Проведение расчетов и изучение результатов	11	11	12	12	11,4	11,4	Студент	11,4	11,4	16	16	
Согласование полученных данных с научным руководителем	2	3	4	5	2,5	3	Научный руководитель, студент	2,5	3	4	5	
Оценка эффективности	2	2	3	3	2,5	2,5	Студент	2,5	2,5	4	4	

полученных результатов											
Работа над выводами по проекту	1	1	2	2	1,3	1,3	Студент	1,3	1,3	2	2
Составление пояснительной записки к работе	3	3	5	5	3,5	3,5	Студент	3,5	3,5	6	6

Исп. 1 – SIMPLE



Исп. 2 – SIVA

На основании таблицы 10.строим календарный план-график.

Таблица 4.11 - Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т _{кп} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ											
				Март			Апрель			Май					
				1	2	1	2	1	2	1	2	3			
1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель	7												
2	Выдача задания по тематике проекта	Научный руководитель	2												
3	Постановка задачи	Научный руководитель	2												
4	Определение этапов и сроков разработки проекта	Научный руководитель, студент	3												
5	Поиск литературы по теме	Студент	13												
6	Изучение литературы и программ «Fire» и «MatLab»	Студент	15												

7	Поиск нормативных документов по данной теме	Студент	5										
8	Моделирование зон зажигания	Студент	16										
9	Проведение расчетов и изучение результатов	Студент	16										
10	Согласование полученных данных с научным руководителем	Научный руководитель, студент	5										
11	Оценка эффективности полученных результатов	Студент	4										
12	Работа над выводами по проекту	Студент	2										
13	Составление пояснительной записки к работе	Студент	6										

 – руководитель
  – студент

4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi} \quad (4.6)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

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 среднее значение в 20%.

Таблица 4.12 - Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество		Цена за ед., руб.		Затраты на материалы, (Z _м), руб.	
		Исп. 1	Исп. 2	Исп.1	Исп.2	Исп. 1	Исп. 2
Бумага	лист	100	150	3	3	361	541
Краска для принтерных картриджей	шт.	1	1	1400	1400	1681	1681
Интернет	М/бит	500	600	1	1	601	721
Дополнительна	шт.	1	1	650	750	781	901

я литература							
Ручка	шт.	1	1	15	15	19	19
Тетрадь	шт.	1	3	35	35	43	127
Электроэнергия	кВт/час	30	35	2,5	2,5	91	106
Итого		634	788	2106, 5	2206, 5	3577	4096

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

Таблица 4.13 - Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования		Цена единицы оборудования, тыс. руб.		Общая стоимость оборудования, тыс.руб.	
		Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
1.	Программа «MatLab»	1	1	3000	3000	3601	3601
2.	Программа «Fire»	1	1	1500	1500	1801	1801
Итого						5402	5402

4.4.3 Основная 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. Расчет основной заработной платы сводится в табл.15.

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

$$Z_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.7)$$

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

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

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (4.8)$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 8);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (4.9)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

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

при отпуске в 72 раб. дней $M = 9,6$.

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 14).

Таблица 4.14 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней	120	120
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48	72
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	198	174

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (4.10)$$

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

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

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 $Z_{тс}$);

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

Таблица 4.15 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, руб.	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	Т _{р.раб.} дн.		$Z_{осн}$,руб.	
					Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
Руководитель	25000	1,3	58500	3072,73	11	12	33800	36872,76
Студент	15000	1,3	35100	1936,55	47	49	91017,85	94890,95
Итого:							124817,85	131763,71

4.4.4 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 11:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (4.11)$$

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

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

Таблица 4.16- Затраты на дополнительную заработную плату

Исполнители	Основная зарплата(руб.)		Коэффициент дополнительной заработной платы ($k_{доп}$)	Дополнительная зарплата(руб.)	
	Исп.1	Исп.2		Исп.1	Исп.2
Руководитель	33800	36872,76	0,12	4056	4424,73
Студент	91017,85	94890,95	0,12	10922,15	11386,92
Итого:				14978,15	15811,65

4.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы 12:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.12)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2015 г., в соответствии с Федеральным законом, от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2015 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Таблица 4.17 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.		Дополнительная заработная плата, руб.	
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
Руководитель	33800	36872,76	4056	4424,73
Студент	91017,85	94890,95	10922,15	11386,92
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27,1%			
Итого				
Исполнение 1	37884,72			
Исполнение 2	39992,92			

По таблице видно, что на исполнение 1 потратиться 37884,72, а на исполнение 2 – 39992,92 руб.

4.4.6 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}} \quad (4.13)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. Таким образом, наибольшие накладные расходы при первом исполнении равны: $Z_{\text{накл}} = 3577 \cdot 0,16 = 572,32$ руб.

при втором исполнении: $Z_{\text{накл}} = 4096 \cdot 0,16 = 655,36$ руб.

4.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 4.18 - Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
	Исп.1	Исп.2	
1. Материальные затраты НИИ	3577	4096	Пункт 3.4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	5402	5402	Пункт 3.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	124817,85	131763,71	Пункт 3.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	14978,15	15811,65	Пункт 3.4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	37884,72	39992,92	Пункт 3.4.5
6. Накладные расходы	572,32	655,36	Пункт 3.4.6
7. Бюджет затрат НИИ	187232,04	197721,64	Сумма ст. 1- 6

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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (4.14)$$

где $I_{финр}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно- исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{финр}^{исп1} = \frac{187232,04}{197721,64} = 0,9; \quad I_{финр}^{исп2} = \frac{197721,64}{197721,64} = 1$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i, \quad (4.15)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a^i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Таблица 4.19 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4	3
3. Ремонтпригодность	0,15	4	3
4. Энергосбережение	0,2	4	4

5. Надежность	0,25	4	4
6. Материалоемкость	0,15	4	4
ИТОГО	1	4,1	3,5

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 = 4,1$$

$$I_{p-исп2} = 4 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 = 3,7$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}^{исп.i}}, \quad (4.16)$$

$$I_{исп1} = \frac{4,1}{0,9} = 4,5 \qquad I_{исп2} = \frac{3,7}{1} = 3,7$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.19) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (4.17)$$

Таблица 4.20 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,9	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,1	3,7
3	Интегральный показатель эффективности	4,5	3,7
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,2	0,8

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

5 Социальная ответственность

Введение

На сегодняшний день одной из актуальных проблем является использование магистральных трубопроводов и аварийные ситуации на данных объектах.

Аварии, возникающие на объектах магистральных трубопроводов, сопровождаются нанесением ущерба окружающей среде, материальными потерями, а иногда и человеческими жертвами. Данные пожары являются наиболее сложными и предоставляют опасность для персонала объекта, участников ликвидации ЧС, коммуникаций, смежных сооружений, а так же для экологии.

В данном разделе выпускной квалификационной работы будут рассмотрены вредные и опасные производственные факторы при аварийном разрыве магистрального трубопровода, действующие на пожарного или группу пожарных, которые будут проводить работы по ликвидации этой ЧС. А так же оценка тяжести и напряженности трудового процесса, организация режимов труда и отдыха, экологическая безопасность и правовые, организационные вопросы обеспечения безопасности.

5.1 Производственная безопасность

Таблица 5.1 - 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.	1. Загазованность воздушной среды; 2. Огнетушащие вещества; 3. Превышение уровней шума и вибрации; 4. Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе.	1. Пламя и искры; 2. Токсические продукты горения и термического разложения; 3. Повышенная температура окружающей среды; 4. Механические опасности.	1)СНиП 2.05.06-85* «Магистральные трубопроводы. Нормы проектирования». 2)СНиП III-42-80* «Магистральные трубопроводы. Правила производства и приёмки работ». 3)ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные факторы». 4)ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность». 5)ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». 6)ГОСТ 12.1.003-83 «Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности». 7)ГОСТ 12.1.012-90«Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования безопасности». 8)РД 09-364-00 «Типовая инструкция по организации безопасного проведения огневых работ на взрывоопасных взрывопожароопасных объектах». 9)РД 39-132- 94: «Правила по эксплуатации, ревизии, ремонту и отбраковке нефтепромысловых трубопроводов».

5.1.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов

К вредным производственным факторам относятся:

- Загазованность воздушной среды;
- Огнетушащие вещества;
- Превышение уровней шума и вибрации;
- Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе.

К опасным производственным факторам относятся:

- Пламя и искры;
- Токсические продукты горения и термического разложения;
- Повышенная температура окружающей среды;
- 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).

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, сердечно-сосудистой 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 нарушение 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_2S , 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 течении 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 нефте- и газопродуктов 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°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.

5.2 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.

5.3 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 течении 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;
 - a) за каждые 30 часов работы или упражнений в кислородно-дыхательных аппаратах в течении всего рабочего года по 1 календарному дню, но не более 7 дней;
 - b) за многосменный режим работы – до 4 календарных дней;
 - c) на проезд к месту отдыха (лечения) и обратно по фактически затраченному времени, но не более 6 календарных дней;
 - d) при непрерывной работе за каждые 2 года – 2 календарных дня, но не более 5 дней.

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

2) 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) Токсичность продуктов сгорания.

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

5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

1. Строительство новых реконструкции действующих магистральных трубопроводов происходит согласно СНиП 2.05.06-85* «Магистральные трубопроводы. Нормы проектирования» и СНиП III-42-80* «Магистральные трубопроводы. Правила производства и

приёмки работ».

2. 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».
3. 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».
4. 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».
5. 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».
6. Общие требования к обеспечению вибрационной безопасности труда устанавливает ГОСТ 12.1.012-90 «Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования безопасности».
7. 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».

8. Требования к эксплуатации нефтепромысловых трубопроводов для транспорта нефти, газа и попутно добываемой пластовой воды устанавливает РД 39–132– 94: «Правила по эксплуатации, ревизии, ремонту и отбраковке нефтепромысловых трубопроводов».

Заключение

В данной работе при выполнении расчетов изучалось влияние некоторых факторов на процесс действия теплового излучения от огненных шаров, возникающих при аварии на магистральных трубопроводах, на подстилающую лесную поверхность. С помощью результатов расчетов можно определить критические условия распространения пожара - зависимость радиусов(размеров) зон зажигания лесного массива от массы выделившегося горючего для различных влагосодержаний лесных горючих материалов. Данный метод расчетов можно применять для профилактики и разработки более быстрого предотвращения аварий на данных объектах.

В итоге работы можно добавить, чем больше масса горючего вещества разлита при наименьшем влагосодержании, тем больше температура и радиус зажигания растительного покрова.

Список литературы:

1. Википедия – свободная энциклопедия
https://ru.wikipedia.org/wiki/Магистральные_трубопроводы
2. Распоряжение Правительства РФ от 13.08.2013 N 1416-р (ред. от 15.05.2014) «Об утверждении схемы территориального планирования Российской Федерации в области федерального транспорта (в части трубопроводного транспорта)».
3. Федеральный закон от 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ О промышленной безопасности опасных производственных объектов (с изменениями от 7 августа 2000 г., 10 января 2003 г., 22 августа 2004 г., 9 мая 2005 г., 18 декабря 2006 г., 30 декабря 2008 г.).
4. Григорьева Т.П. Реферат: «Аварии на трубопроводах». – Саратов. – 2007.
5. Хайруллин И.Р. Диссертация кандидата технических наук. Прогнозирование опасности поражения человека тепловым излучением огненного шара при пожарах на химических и нефтехимических предприятиях - Казань, 2008.- 96 с.а
6. William E. Martinsen, Jeffrey D. Marx. An improved model for the prediction of radiant heat from fireballs. California September 28 - October 1, 1999.
7. Приказ МЧС РФ от 10 июля 2009 г. N 404 "Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах".
8. В.А. Гериш, В.М. Райкова. Пожаровзрывоопасность сжиженных углеводородных газов при хранении и транспортировке. Успехи в химии и химической технологии. Том XXI. – 2008. – 16с.
9. Гостинцев Ю.А., Фортов В.Е. Адаптация системы кинетических уравнений для расчета газодинамики реагирующей водород-кислородной смеси. Химическая физика. 1998, Т.17, № 5, С.67.

10. Еналеев Р. Ш., Теляков Э. Ш., Демин А. В., Тучкова О. А. Математическая модель крупномасштабного горения газовых смесей. Казань. – 2012.
11. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров. - Томск: Изд-во Томского университета, 1981. - 278 с.
12. Хуснуллин Р.Р. Диссертация. Композиционные составы для снижения гидравлического сопротивления в системах трубопроводного сбора и транспорта продукции нефтяных скважин. Казань, 2015. – 148с.
13. http://fshq.ru/Reynolds_equation_for_the_turbulent_boundary_layer.html
14. <http://www.ngpedia.ru/id309793p1.html>
15. Гришин А. М. Математические модели лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. Наука, Сиб. отд-ние, Новосибирск, 1992.
16. Смирнов Е.М. Течения вязкой жидкости и модели турбулентности: методы расчета турбулентных течений. Санкт-Петербург, 2010. – 127с.
17. Фирсов Д.К. Метод контрольного объема на неструктурированной сетке в вычислительной механике. Уч. пособие: – Томск, 2007. – 72 с.
18. Перминов В.А. Статья: «Численное решение задачи о возникновении верхового лесного пожара в трехмерной постановке». Вестник Томского государственного университета 21.11.2008. – 48с.
19. Патанкар С. В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости: Пер. с. англ. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.
20. B. R. Morton, G. I. Taylor, J. S. Turner. Turbulent gravitational convection from maintained and instantaneous sources. Proc. Roy. Soc., 1956, v. 234, No. 1196, pp. 1–23.
21. Голованов О.В., Перминов В.А. Визуализация распространения плоского фронта верхового лесного пожара // Информационные недра Кузбасса. Труды конференции, Часть 2, Кемерово: Изд.-во Полиграф. 2001. С.264-271.

22. Патанкар С.В. Численное решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена при течениях в каналах. М. : Изд-во МЭИ, 2003. 312 с.
23. Перминов В.А. Численный расчет повторного радиоактивного загрязнения // Материалы международной конференции «Сопряженные задачи механики и экологии», Томск: Изд-во Томского университета. 2000. Р.44-45.
24. Гришин А.М., Перминов В.А. Переход низового лесного пожара в верховой. Физика горения и взрыва. 1990. Т.26 №6. С. 27-35.