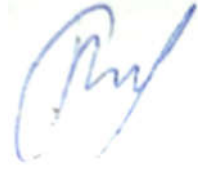


На правах рукописи



ХУСНУТДИНОВА СУМБУЛЬ МУТАЛОВНА

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССОВОЙ СКОРОСТИ
ВЫГОРАНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИНТЕНСИВНОСТИ
ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ПОЖАРЕ ПРОЛИВА**

Специальность 2.10.1. – Пожарная безопасность (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Уфа – 2024

Работа выполнена на кафедре «Пожарная и промышленная безопасность»
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Хафизов Фаниль Шамильевич

Официальные оппоненты: **Самигуллин Гафур Халафович**
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский
университет Государственной
противопожарной службы Министерства
Российской Федерации по делам
гражданской обороны, чрезвычайным
ситуациям и ликвидации последствий
стихийных бедствий имени Героя
Российской Федерации генерала армии Е.Н.
Зиничева»/ кафедра «Пожарная безопасность
технологических процессов и производств»,
доцент

Сушко Елена Анатольевна
кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»/ кафедра
«Техносферная и пожарная безопасность»,
доцент

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Уфимский университет науки
и технологий»

Защита состоится «18» апреля 2024 года в 14:00 на заседании
диссертационного совета 24.2.428.06 при ФГБОУ ВО «Уфимский
государственный нефтяной технический университет» по адресу: 450064,
Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО
«Уфимский государственный нефтяной технический университет» и на сайте
www.rusoil.net.

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2024 года

Ученый секретарь
диссертационного совета



Павлова Зухра Хасановна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. На сегодняшний день в России самыми крупными пожарами остаются пожары в резервуарах и резервуарных парках, которые входят в технологические схемы производств нефтегазового комплекса. Для резервуаров характерными являются пожары пролива нефтепродуктов.

При прогнозировании рисков пожаров на производствах, в частности, в случаях возникновения пожаров пролива нефтепродуктов, используют показатель удельной массовой скорости выгорания (m') в целях оценки воздействия теплового излучения. Прогноз интенсивности теплового излучения необходим для вычисления расстояний, безопасных при её воздействии на людей, производственные здания, сооружения и оборудование. Исследуемая величина влияет на интенсивность тепловыделения, температуру горения и интенсивность развития пожара. Значение массовой скорости выгорания (МСВ, кг/с) определяют произведением m' ($\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$) на площадь пролива ($S_{\text{п}}, \text{м}^2$).

На данный момент показатели m' находят в справочниках для незначительного количества нефтепродуктов. Для индивидуальных веществ искомую величину можно вычислить расчетным путем. Расчеты значений m' осуществляются по известным формулам, применимым к однокомпонентным и многокомпонентным веществам, но в процессе расчета относительно последних появляется необходимость вычисления величин удельных теплот сгорания и испарения, удельной теплоемкости, коэффициентов кинематической или динамической вязкости, поэтому процедура вычисления становится весьма громоздкой. Вышеперечисленные показатели приводятся в литературе не для всех нефтепродуктов. Горение смесей углеводородов сильно дифференцируется с горением индивидуальных, так как фракции в составе топливной смеси выгорают поэтапно. В связи с этим, для нефтепродуктов необходимо производить расчет, учитывая изменения показателей температуры и плотности при горении.

При отсутствии сведений об m' для конкретного вещества зачастую прибегают к экспериментальному пути его определения. Такой подход требует затрат длительного времени и наличия необходимого поверенного лабораторного оборудования.

Таким образом, возникает необходимость совершенствования действующих подходов к определению m' при оценке интенсивности тепловыделения в случаях пожаров пролива.

Степень разработанности темы исследования. Теоретико-методологическую основу исследования составили законодательная и нормативная база в области прогнозирования рисков возникновения пожаров на производственных объектах, научно-исследовательские работы и публикации в области изучения методов определения значений массовой и удельной массовой скорости выгорания нефтепродуктов (материалов), а также интенсивности теплового излучения. В ходе работы проведен анализ, а также приняты во внимание некоторые положения из следующих источников: Приказа МЧС России от 10.07.2009 № 404, Руководства по безопасности, утвержденного приказом Ростехнадзора от 17.02.2023 № 69, ГОСТ 12.1.044 1989 и 2018 годов выпуска, и других методик отечественных и зарубежных представителей, отраженных в пособии «Методика оценки пожаробезопасных расстояний при проектировании промышленных предприятий» издательства ФАУ «ФЦНСиОСвС» в 2016 г. При исследовании статистики и причин пожаров в промышленности использовались труды С.Г. Аксенова (профессор кафедры ПожБ УУНиТ), М.М. Годиенко, А.В. Исатова. Вопросы, касающиеся оценки МСВ отражены в работах авторов С.С. Тимофеевой, В.А. Портола, Н.В. Смирнов и других. Следует отметить, что сегодня в отечественной литературе отсутствуют утверждённые методики определения экспериментальным путем МСВ и m' жидких веществ. В настоящее время вопросы расчета рассматриваемых величин топливных смесей мало освещены в теоретических исследованиях и практических разработках, что определяет необходимость проведения исследований в данной области.

Цель и задачи исследования. Цель данной работы – совершенствование методов оценки воздействия на людей, здания и сооружения опасных факторов пожара пролива нефтепродуктов путем применения предложенного метода определения величины МСВ нефтепродуктов.

Для определения МСВ жидких углеводородов решены следующие задачи:

1. Проанализированы справочные показатели величин m' жидких углеводородов.

2. Исследованы действующие отечественные и зарубежные подходы к расчету величин m' топливных смесей, выявлены их преимущества и недостатки, и произведены теоретические расчеты.

3. Изучены экспериментальные пути определения m' , выявлены их преимущества и недостатки, проведены лабораторные измерения величин m' однокомпонентных и сложных нефтепродуктов.

4. Сравнены исследованные методы. На основе проведенного анализа разработан способ определения m' , позволяющий исключить выявленные недостатки.

Объектом исследования в данной работе является показатель удельной массовой скорости выгорания жидких нефтепродуктов, **предметом исследования** – методики определения массовой скорости выгорания при оценке интенсивности теплового излучения.

Научная новизна. Разработан новый метод определения показателя m' жидких нефтепродуктов в зависимости от значений их плотности и коэффициентов. Для коэффициентов определены следующие критерии: k_1 – характеризует линейную скорость выгорания нефтепродукта и зависит от разницы между температурой кипения и начальной температурой, k_2 – характеризует зависимость от разницы между температурой кипения и начальной температурой.

Теоретическая и практическая значимость работы. Предложенные результаты позволят усовершенствовать существующий подход к определению МСВ при анализе теплового воздействия на исследуемый объект.

Основные положения и выводы диссертационного исследования могут быть использованы при прогнозировании пожарных рисков с последующим внедрением предложенных расчетов в действующие методики. Предложенные рекомендации могут быть использованы в работе экспертных организаций и ведомственных органов, службах по пожарной и промышленной безопасности организаций для расчета пожарных рисков.

Результаты выполненных в диссертационной работе разработок используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» на кафедре «Пожарная и промышленная безопасность» при чтении лекций по дисциплинам «Пожарная безопасность технологических процессов переработки нефти и газа» и «Пожарная и промышленная безопасность технологических процессов переработки нефти и газа» при чтении лекций специалистам и бакалаврам; при проведении обучения специалистам по дополнительным профессиональным программам «Техносферная безопасность» и «Специалист по пожарной профилактике» в ЧОУ ДПО УЦ «Диатехсервис»; в дистанционном обучении по курсам ПТМ в АНО ДПО УУЦ «Башнефтехим». Справки о внедрении результатов представлены в приложении диссертации.

Методология и методы исследований.

Методология выполнения работы заключалась в поэтапном проведении исследований, включающих анализ накопленных знаний в области оценки пожарных рисков на объектах нефтегазового комплекса. При решении задач использовались методы регрессионного и термического анализов: аналитические и расчетно-вычислительные методы решения задач, термогравиметрический анализ.

Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты исследования методов определения m' однокомпонентных жидких углеводородов, а также топливных смесей.

2. Результаты расчетов и опытных испытаний в виде разработанных математических уравнений и номограмм.

3. Результаты расчета размеров зон действия теплового излучения в случае пожара пролива на территории резервуарного парка ПАО АНК «БАШНЕФТЬ» с использованием предложенного метода определения величины m' .

Степень достоверности и апробации результатов. Достоверность и обоснованность полученных результатов работы подтверждена данными лабораторных исследований, полученных с использованием поверенных средств измерения и на аттестованном оборудовании по общепринятым методикам, утвержденным в соответствующем порядке.

Научная работа соответствует п. 3 паспорта научной специальности 2.10.1. – Пожарная безопасность (технические науки): «Разработка научных основ, моделей и методов исследования процессов горения, пожаро- и взрывоопасных свойств веществ, материалов, производственного оборудования и конструкций».

Результаты исследований прошли апробацию в двух конференциях и опубликованы в 9 статьях журналов, входящих в список РИНЦ, ВАК и Scopus, а также в сборниках научных конференций.

Диссертация содержит 122 страницы, 21 рисунок и 26 таблиц. Структура работы: введение, 4 раздела (главы), заключение, список литературы (87 источников), определения, обозначения и сокращения, приложение.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **первой главе** диссертационного исследования изучены современные требования пожарной и промышленной безопасности к объектам хранения нефтепродуктов, нормативная база, в которой прописаны данные требования; мероприятия по обеспечению пожарной безопасности нефтебаз на стадиях

проектирования, строительства, при проведении реконструкции; размещение строительных объектов, транспортных, инженерных сетей на генеральных планах производственных предприятий; правила противопожарного режима на производственных объектах; требования к проведению операций по приему, хранению и отпуску нефти и нефтепродуктов.

Исследована статистика пожаров на резервуарах и объектах хранения нефти в России за последние 20 лет. Исследованы причины возникновения пожаров в резервуарах с нефтепродуктами. Изучены типы и виды пожаров пролива, а также факторы, влияющие на характер проливов. Изучен механизм возгорания жидкости под воздействием теплового излучения, свойства теплового излучения, а также критерии поражения тепловым излучением. Рассмотрены общие сведения о массовой (кг/с) и удельной массовой скорости выгорания ($\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$), исследовано в каких целях используются данные показатели, от каких параметров зависят.

Во **второй главе** были проанализированы существующие методы определения величины массовой скорости выгорания нефтепродуктов, путем нахождения значения удельной массовой скорости выгорания (m'). Величина m' используется при расчете интенсивности теплового излучения от пламени в целях определения пожаробезопасных расстояний. Следовательно, в первую очередь изучены методики определения безопасных расстояний в случае пожаров на производственных объектах.

В результате анализа методов определения массовой скорости выгорания топлив, установлено следующее:

- на сегодняшний день значения m' приводятся в различных справочных материалах для ограниченного ряда нефтепродуктов;
- при отсутствии справочных данных зачастую прибегают к опытному методу определения величины m' . Экспериментальный метод является достаточно трудоемким, требует наличия необходимого поверенного и аттестованного оборудования;

– для однокомпонентных веществ m' можно вычислить расчетным путем. Существующие формулы расчета в теории применимы как для простых, так и для многокомпонентных веществ, при условии расчета на фракцию в составе сложного вещества с наибольшим значением величины m' . При этом возникает необходимость расчета удельных теплоты сгорания и теплоты испарения, удельной теплоемкости, кинематической или динамической вязкости жидкости, которые не всегда возможно рассчитать либо найти в справочных материалах, вследствие чего возникает необходимость определения их экспериментальным путем.

Известно, что процесс горения топливной смеси характеризуется выгоранием отдельных фракций в их составе. Поэтому для сложных веществ расчет должен производиться с учетом изменения плотности и температуры в процессе горения. Таким образом, возникает необходимость в совершенствовании существующих методов определения удельной массовой скорости выгорания жидких углеводородов.

В **третьей главе** представлены результаты величин удельной массовой скорости выгорания простых и сложных нефтепродуктов, полученные методами расчета и испытаний.

В целях проверки возможности применения для топливной смеси формулы (1), предназначенной для расчета величины удельной массовой скорости выгорания однокомпонентного топлива, были сравнены результаты, полученные расчетным и опытным путями:

$$m' = \frac{0.001 \cdot H_{сг}}{L_g + C_p(T_b - T_a)} \quad (1)$$

где $H_{сг}$ – удельная теплота сгорания топлива, кДж/кг;

L_g – удельная теплота испарения жидкости, кДж/кг;

C_p – удельная теплоемкость жидкости, кДж/(кг·К);

T_b – температура кипения жидкости при атмосферном давлении, К;

T_a – температура окружающей среды, К.

При расчете величин m' для испытуемых нефтепродуктов с использованием формулы (1) получены значения $m'_{\text{бензола}}=0,047$ кг/(м²·с), и для бензина в интервале температур кипения отдельных фракций, учитывая при этом уменьшение плотности при увеличении температуры, а также выгорания фракций в процессе горения. В результате расчета в интервале температур 170-190 °С и плотностей 0,71-0,75г/см³ получен диапазон значений $m'_{\text{бензина}}$ от 0,054 до 0,057 кг/(м²·с). Согласно Методическим рекомендациям по проведению количественного анализа риска аварий на конденсатопроводах и продуктопроводах $m'_{\text{бензина}} = 0,048$ кг/(м²·с), в методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах - 0,06 кг/(м²·с).

По формуле (2) определена относительная погрешность измерений физических величин:

$$\delta x = \frac{\Delta x}{x_{\text{наил}}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где δx – относительная погрешность измерения;

Δx – абсолютная погрешность измерения;

$x_{\text{наил}}$ – наилучшая оценка измеряемой величины.

За наилучшую оценку измеряемой величины приняли среднее значение m' , полученное в результате перерасчета полученных измерений.

Для бензола средняя относительная погрешность измерений $\delta m'_{\text{ср бензола}}$ составила 4,04 %, для бензина $\delta m'_{\text{ср бензина}}=7,42$ %. Согласно ГОСТ 12.1.044 «ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения» допустимая величина δm метода оценки должна быть не более 30 %.

Далее описан ход разработки нового метода определения m' для жидких нефтепродуктов. В целях упрощения процесса определения удельной массовой скорости выгорания топливных смесей, предложено ввести номограмму (Рисунок 1), которая дает возможность определить значение m' , зная плотность нефтепродукта при нормальных условиях и температуру кипения.

Для построенных графиков зависимостей величин m' от температур кипения и плотностей нефтепродуктов с помощью программы MS Office Excel выведены уравнения кривых зависимости. Для каждого графика были выведены уравнения с использованием экспоненциальной, логарифмической, полиномиальной, степенной и линейной функций (трендовые модели).

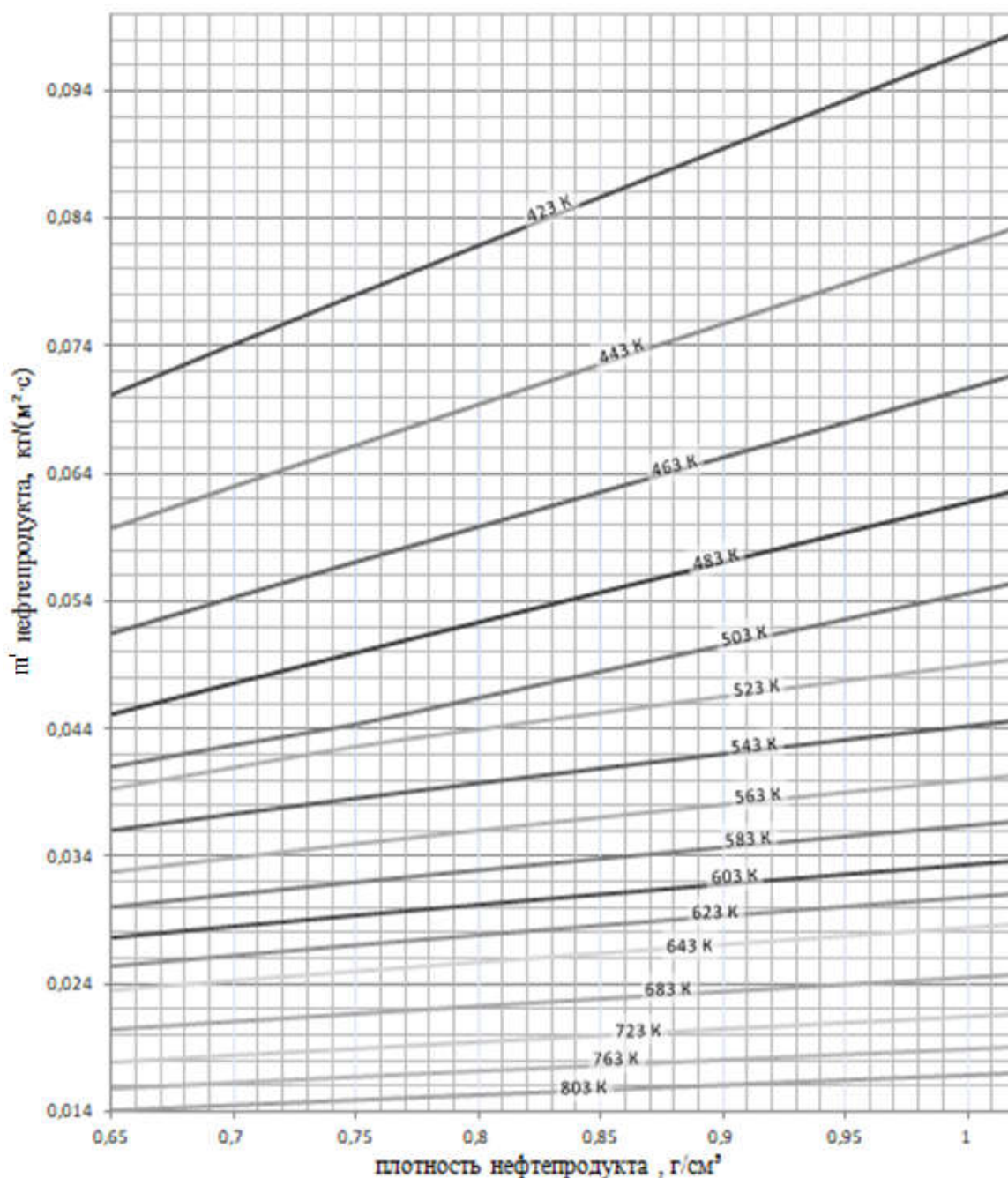


Рисунок 1 – График зависимости значения удельной массовой скорости выгорания от плотности и температуры кипения продукта для нефтей и нефтепродуктов

Далее определены степени соответствия трендовых моделей изначально построенным графикам, то есть, насколько точно теоретическое распределение описывает реальное распределение (величины достоверности аппроксимации - R^2). Чем ближе к 1 величина R^2 , тем достовернее выведенное уравнение. Результаты показаны в Таблице 1.

Таблица 1 – Формулы уравнений кривых графиков зависимости значений m' от плотности и температуры кипения нефти (нефтепродуктов) по линейной функции

Кривая при температуре Т, К	Уравнение кривой графика	Коэффициент R^2
423	$y = 0,0762x + 0,0006$	$R^2 = 1$
443	$y = 0,0637x + 0,006$	$R^2 = 1$
463	$y = 0,0544x + 0,0207$	$R^2 = 1$
483	$y = 0,0471x + 0,498$	$R^2 = 1$
503	$y = 0,0395x + 0,391$	$R^2 = 0,9987$
523	$y = 0,0271x + 0,019$	$R^2 = 0,9963$
543	$y = 0,023x + 0,0203$	$R^2 = 0,9992$
563	$y = 0,0204x + 0,021$	$R^2 = 0,9992$
583	$y = 0,0183x + 0,022$	$R^2 = 0,9992$
603	$y = 0,0165x + 0,0221$	$R^2 = 0,9993$
623	$y = 0,015x + 0,0221$	$R^2 = 0,9993$
643	$y = 0,0137x + 0,0222$	$R^2 = 0,9994$
683	$y = 0,0116x + 0,0222$	$R^2 = 0,9995$
723	$y = 0,01x + 0,0222$	$R^2 = 0,9996$
763	$y = 0,0088x + 0,022$	$R^2 = 0,9997$
803	$y = 0,0077x + 0,0211$	$R^2 = 0,9997$

Из полученных уравнений, по показателям достоверности аппроксимации установлено, что уравнения по различным функциям достаточно точно описывают кривые графиков. Однако при использовании данных уравнений возникает проблема выведения коэффициентов, показывающих зависимость от переменных значений температур кипения или плотностей. Таким образом,

было принято решение взять за основу уравнения, построенные по линейной функции, которые имеют самый упрощенный вид и в то же время не самые низкие показатели R^2 по сравнению с другими рассмотренными уравнениями функций. Для обобщения полученных результатов, по графикам зависимостей m' от плотности и температуры кипения нефтепродуктов, представленным на Рисунке 1, выведены линейные уравнения (Таблица 1).

На основе проведенных исследований методов определения величины m' , а также построенного графика зависимости величин m' от величин плотности и температуры кипения нефтепродуктов (Рисунок 1), разработана эмпирическая формула, которая позволяет вычислить m' :

$$m' = k_1 \cdot \rho_4^{20} + k_2, \quad (3)$$

где k_1 – коэффициент, характеризующий линейную скорость выгорания нефтепродукта и зависящий от разницы между его температурой кипения и начальной температурой, м/с;

k_2 – коэффициент, характеризующий зависимость от разницы между температурами кипения и начальной (ΔT);

ρ_4^{20} – плотность нефтепродукта при нормальных условиях, г/см³.

Далее были исследованы возможные варианты расчета коэффициентов $k_1(x)$ и $k_2(x)$. С помощью дедуктивного метода определены единицы измерения, которые должны заключаться в коэффициентах: для k_1 – м/с, k_2 – безразмерная величина. Таким образом, установлено, что k_1 – коэффициент, характеризующий линейную скорость горения нефтепродукта, k_2 – коэффициент, характеризующий зависимость от разницы между температурой кипения вещества и начальной температурой вещества. Построены следующие графики, с помощью которых можно определить значения данных коэффициентов (Рисунки 2-7).

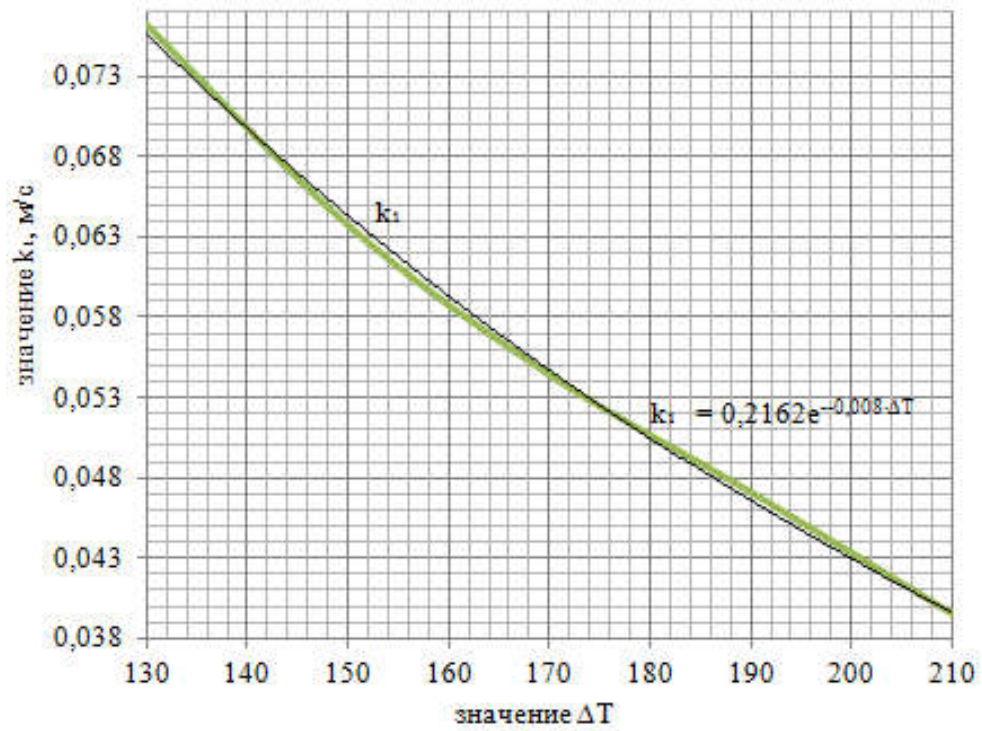


Рисунок 2 – График зависимости коэффициента k_1 от ΔT в диапазоне 130-210

Пояснение: $\Delta T = T - T_0$, где T – температура кипения вещества, $^{\circ}\text{C}$ (К);
 T_0 – температура вещества до начала горения, $^{\circ}\text{C}$ (К).

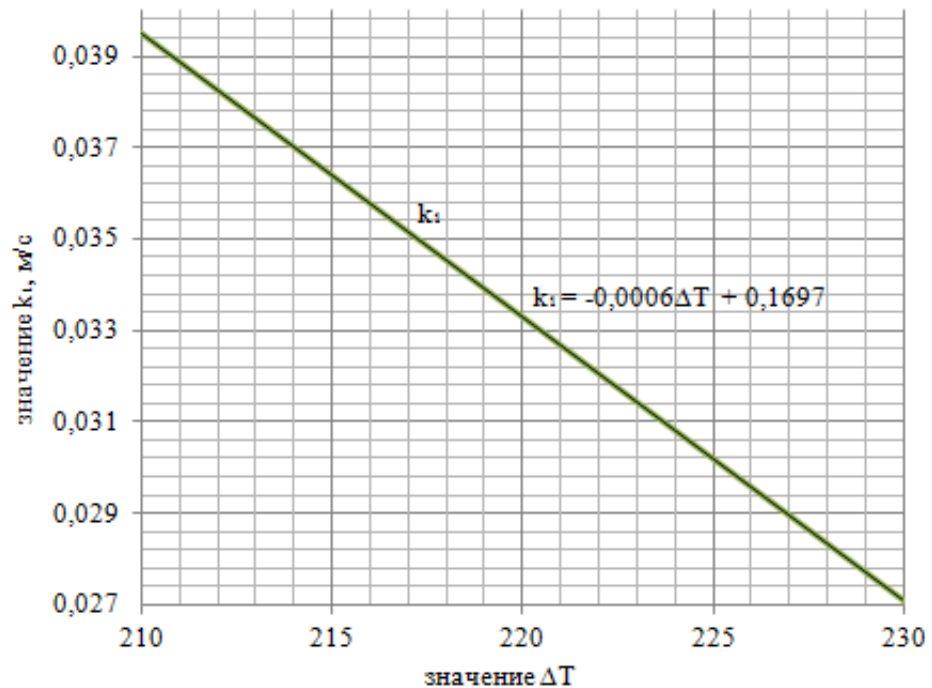


Рисунок 3 – График зависимости коэффициента k_1 от ΔT в диапазоне 210-230

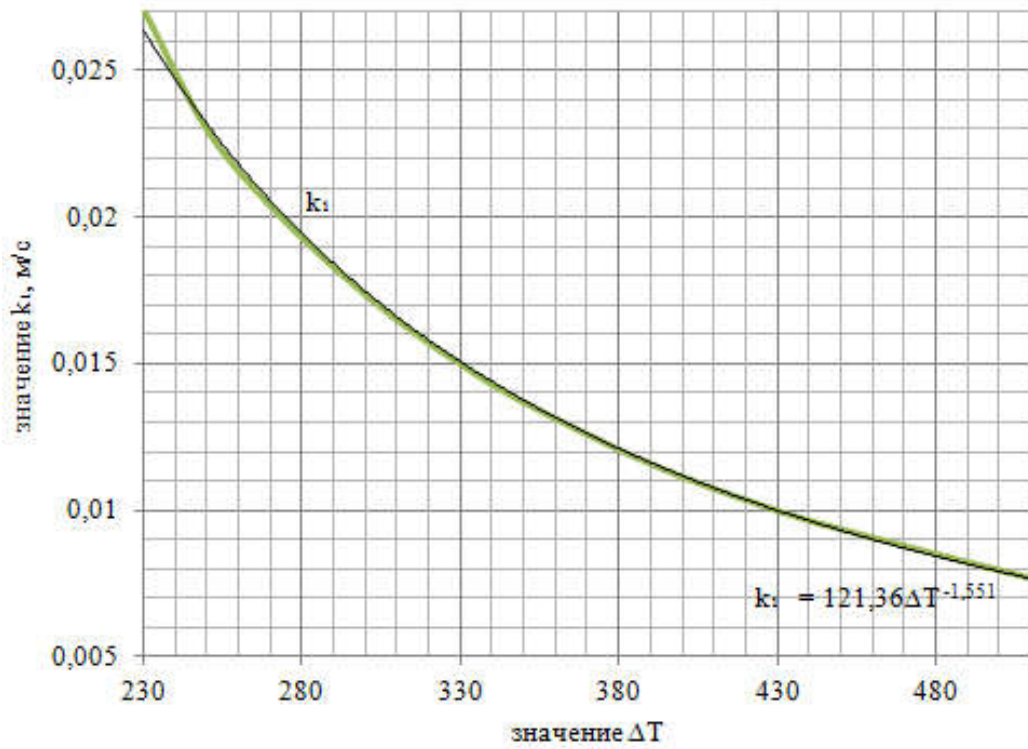


Рисунок 4 – График зависимости коэффициента k_1 от ΔT в диапазоне 230-510

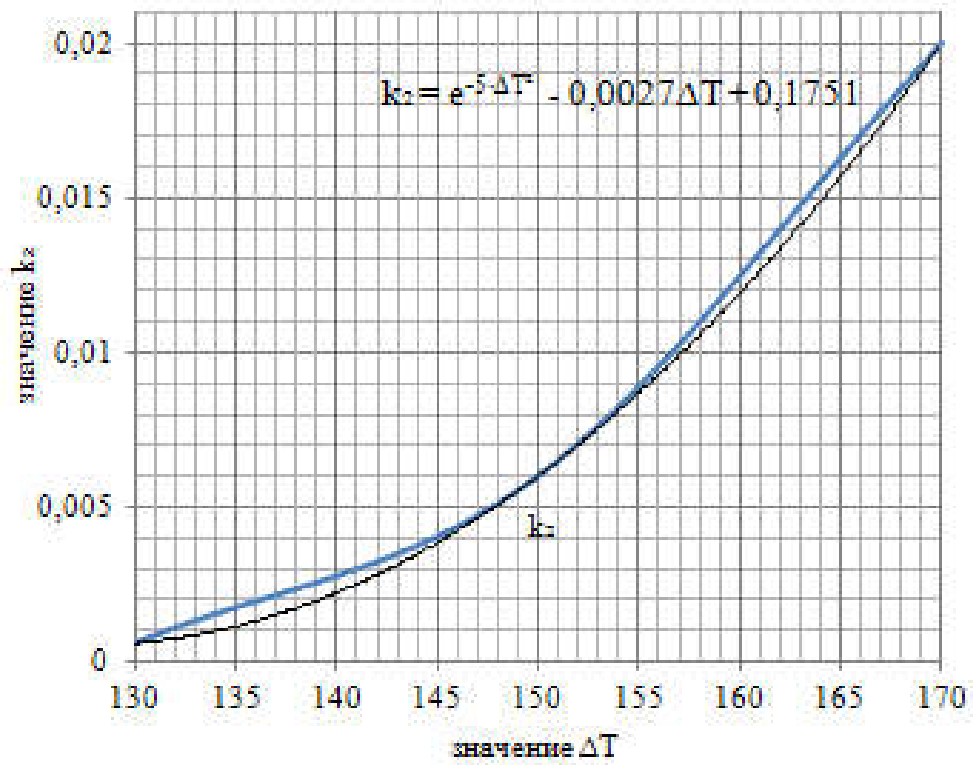


Рисунок 5 – График зависимости коэффициента k_2 от ΔT в диапазоне 130-170

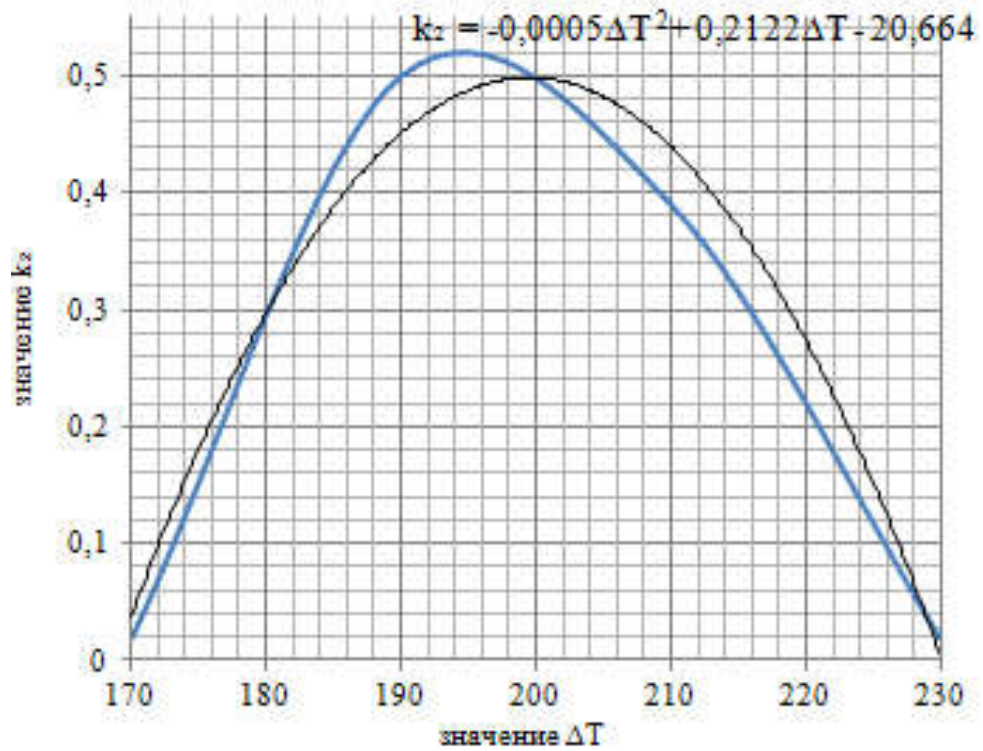


Рисунок 6 – График зависимости коэффициента k_2 от ΔT в диапазоне 170-230

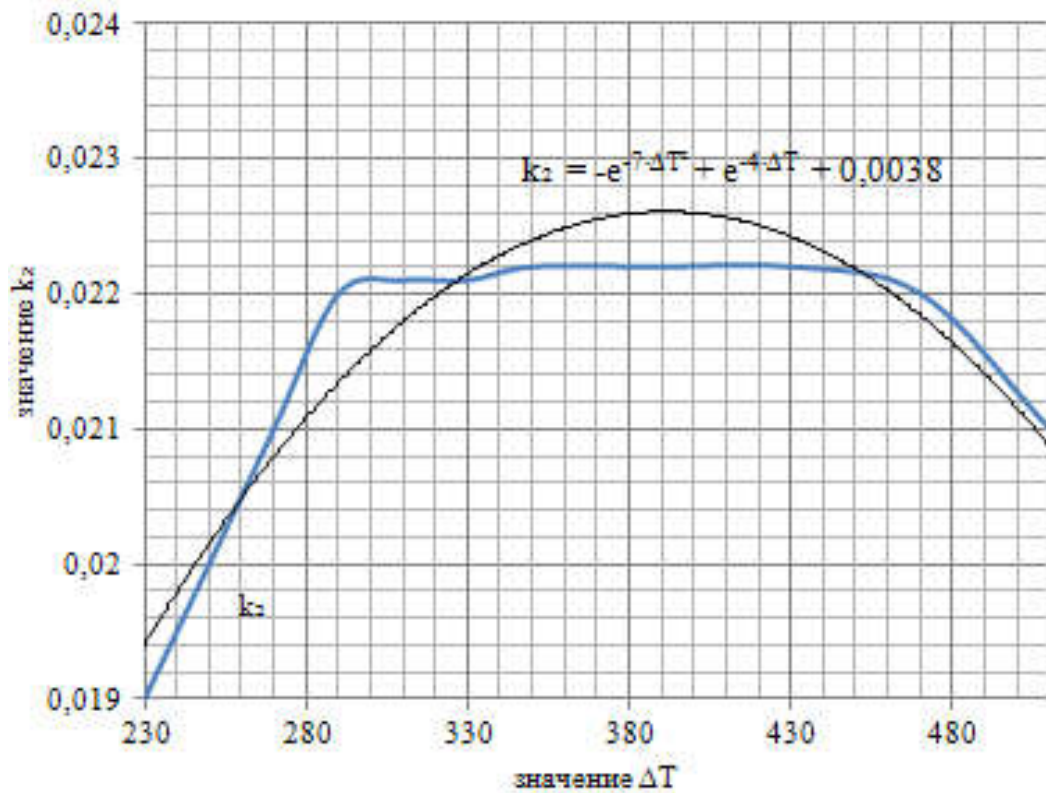


Рисунок 7 – График зависимости коэффициента k_2 от ΔT в диапазоне 230-

В четвертой главе произведен расчет по сценарию разгерметизации наземного резервуара с последующим пожаром пролива на основе усовершенствованного метода с использованием положений Методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах, утвержденной приказом МЧС России от 10 июля 2009 года №404. В целях оценки результатов расчета были сравнены значения среднеповерхностной плотности теплового излучения пламени E_f в зависимости от диаметра очага и массовой скорости выгорания для бензина, керосина и дизельного топлива, вычисленные согласно Методике со значениями E_f , рассчитанными с использованием предложенного метода (Таблицы 2-4).

Таблица 2 – Значения E_f в зависимости от диаметра очага и удельной массовой скорости выгорания (значение m' из Методик)

d, м	E_f (кВт/м ²)		
	Бензин	Керосин	Дизтопливо
10	111	101	90
20	137	127,5	109
30	153	145	123
40	167	159	133
50	178	170	141
m' , кг/(м ² ·с)	0,06	0,0395	0,039

Таблица 3 – Значения E_f в зависимости от диаметра очага и удельной массовой скорости выгорания (значение m' , полученное с помощью предложенного метода)

d, м	E_f (кВт/м ²)		
	Бензин	Керосин	Дизтопливо
10	108	10	108
20	137	20	137
30	149	30	149
40	162	167	123
50	173	178	131
m' , кг/(м ² ·с)	0,0555	0,42	0,038

Таблица 4 – Относительная погрешность значений полученных E_f

Топливо	Относительная погрешность Δ , %				
	d = 10 м	d = 20 м	d = 30 м	d = 40 м	d = 50 м
Бензин	2,7	0	2,6	3	2,8
Керосин	4,7	4,9	4,6	4,8	4,5
Дизельное топливо	2,3	7,9	7,9	8,1	7,6

Также произведен расчет безопасных расстояний от границ пролива до зоны воздействия теплоизлучения, с учетом площадей пролива 100, 200 и 300 м² и наличия у резервуаров обвалований с такими высотами, которые исключают возможность перелива через них (Таблица 5). Безопасные расстояния рассчитаны с учетом пороговых величин интенсивности теплового потока. Для каждого предельного значения теплового излучения в таблице указаны по два значения зон действия излучения тепла, которые рассчитаны в зависимости от скорости ветра 1 м/с и 15 м/с соответственно. Расстояния определены для разных фракций перегонки нефти, исходя из таких параметров фракций, при которых в результате расчета получается максимально возможное безопасное расстояние.

Также произведен расчет безопасных расстояний в случае пожара пролива на территории нефтебазы ПАО АНК «Башнефть». Для начала изучены виды и количество веществ, обращающихся в резервуарном парке нефтебазы ПАО АНК «Башнефть»; факторы, определяющие опасность установок, входящих в состав нефтебазы; причины, способствующие возникновению и развитию аварий.

Рассчитаны размеры зон действия теплового излучения в случае наиболее вероятного сценария, а именно пожара пролива на резервуаре №306 нефтебазы ПАО АНК «Башнефть» и прилегающем к нему трубопроводе.

Наиболее опасный сценарий на территории нефтебазы ПАО АНК «Башнефть» для резервуара № 306

Таблица 5 – Значения безопасных расстояний от границы пролива до зоны воздействия теплового излучения

Топливо	Безопасное расстояние в зависимости от степени воздействия теплового потока, м		
	Непереносимая боль через 20-30 с Ожог 1 степени через 15-20 с Ожог 2 степени через 30-40 с $q=4,2-7,0$ кВт/м ²	Безопасно для человека в брезентовой одежде $q=1,4-4,2$ кВт/м ²	Без негативных последствий в течение длительного времени, $q<1,4$ кВт/м ²
$F_{пр}=100$ м ²			
Бензиновые фракции	28/35,9	39,2/42,2	73,7/65,4
Керосиновые фракции	32,2/42,5	44,7/49,4	83,7/74,9
Дизельные фракции	20,9/27	29,9/31,6	57,8/45,9
Мазуты	14,7/17,2	20,2/19,7	38,2/27,5
$F_{пр}=200$ м ²			
Бензиновые фракции	39,6/46,9	55,2/55,7	112/89
Керосиновые фракции	45,5/55,3	62,8/65,1	116,4/101,7
Дизельные фракции	39,6/30,8	42/41,3	80,5/61,8
Мазуты	20/21,4	27,7/24,9	57,5/36,1
$F_{пр}=300$ м ²			
Бензиновые фракции	48,5/54,8	67/65,8	124,5/100,2
Керосиновые фракции	55,7/64,8	76,6/76,8	140,5/122
Дизельные фракции	36,3/40,5	51,2/48,5	97,5/73,9
Мазуты	23,8/24,3	33,4/28,6	63,8/42,7

Описание сценария:

Разрушение резервуара → выброс полного объема (жидкой и парогазовой фаз) углеводородов в окружающую среду → образование пролива и первичного паровоздушного облака → образование вторичного паровоздушного облака в результате испарения углеводородов с поверхности пролива → в случае наличия источника зажигания возгорание паров топлива, взрывное превращение облака → воздействие ударной волны взрыва на окружающие

объекты → разрушение смежного оборудования, поражение персонала → развитие аварии на установке.

Наиболее вероятный сценарий на территории нефтебазы ПАО АНК «Башнефть» для резервуара № 306.

Описание сценария:

Разгерметизация трубопровода на наружной установке в процессе перекачки топлива → выброс топлива в окружающую среду → образование пролива → при наличии источника зажигания образование пожара пролива → излучение тепла на окружающие объекты, поражение персонала → развитие аварии на установке.

Данные расчета размеров зон действия теплового излучения согласно ПМЛА в случае наиболее вероятного сценария на резервуаре №306 товарного производства производственной площадки УНПЗ и прилегающем трубопроводе в результате пожара пролива приведены в Таблице 6.

Таблица 6 – Размеры зон действия теплового излучения при пожаре пролива

Площадь пролива, м ²	100
Расстояние от границы пролива до зоны воздействия с $q = 17,0 \text{ кВт/м}^2$, м	5,43
Расстояние от границы пролива до зоны воздействия с $q=10,5 \text{ кВт/м}^2$, м	10,4
Расстояние от границы пролива до зоны воздействия с $q=7,0 \text{ кВт/м}^2$, м	15,39
Расстояние от границы пролива до зоны воздействия с $q = 4,2 \text{ кВт/м}^2$, м	22,82
Расстояние от границы пролива до зоны воздействия с $q = 1,4 \text{ кВт/м}^2$, м	45,1

Результаты расчета размеров зон действия теплового излучения, согласно Методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах, в случае наиболее вероятного сценария на резервуаре №306 нефтебазы ПАО АНК «Башнефть» и прилегающем трубопроводе, с учетом усовершенствованного метода, предложенного в

настоящей работе, представлены в Таблице 7. В таблице для каждого значения q (кВт/ м²) в случае пожара пролива приведены по два полученных значения зоны действия теплоизлучения (м), при скорости ветра 1 м/с и 15 м/с соответственно.

Таблица 7 – Размеры зон действия излучения тепла при пожаре пролива

Бензиновые фракции ($T_{\text{кип}}$ 30-200 ⁰ С)	
Площадь пролива, м ²	100
Расстояние от границы пролива до зоны воздействия с $q = 17,0$ кВт/ м ² , м	13,7/28,4
Расстояние от границы пролива до зоны воздействия с $q=10,5$ кВт/м ² , м	21,2/32,8
Расстояние от границы пролива до зоны воздействия с $q=7,0$ кВт/м ² , м	28/35,9
Расстояние от границы пролива до зоны воздействия с $q = 4,2$ кВт/м ² , м	39,2/42,2
Расстояние от границы пролива до зоны воздействия с $q = 1,4$ кВт/м ² , м	73,7/65,4
Керосиновые фракции ($T_{\text{кип}}$ 150-250 ⁰ С)	
Площадь пролива, м ²	100
Расстояние от границы пролива до зоны воздействия с $q = 17,0$ кВт/ м ² , м	16,2/35,1
Расстояние от границы пролива до зоны воздействия с $q=10,5$ кВт/м ² , м	24,6/40
Расстояние от границы пролива до зоны воздействия с $q=7,0$ кВт/м ² , м	32,2/42,5
Расстояние от границы пролива до зоны воздействия с $q = 4,2$ кВт/м ² , м	44,7/49,4
Расстояние от границы пролива до зоны воздействия с $q = 1,4$ кВт/м ² , м	83,7/74,9
Дизельные фракции ($T_{\text{кип}}$ 160-380 ⁰ С)	
Площадь пролива, м ²	100,0
Расстояние от границы пролива до зоны воздействия с $q = 17,0$ кВт/ м ² , м	12,1/26,8
Расстояние от границы пролива до зоны воздействия с $q=10,5$ кВт/м ² , м	19/30,7
Расстояние от границы пролива до зоны воздействия с $q=7,0$ кВт/м ² , м	20,9/27
Расстояние от границы пролива до зоны воздействия с $q = 4,2$ кВт/м ² , м	29,9/31,6
Расстояние от границы пролива до зоны воздействия с $q = 1,4$ кВт/м ² , м	57,8/45,9

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Справочные данные о значениях удельной массовой скорости выгорания нефтепродуктов в действующих утвержденных методиках, а также в современных пособиях представлены для небольшого ряда углеводородов. Между значениями m' одинаковых веществ, представленных в разных справочных материалах, имеются незначительные расхождения.

2. Исследование методов расчета величин m' топливных смесей показало необходимость определения в процессе вычислений данных об удельной теплоемкости, удельных теплоты сгорания и теплоты испарения, кинематические или динамические коэффициенты вязкости паров вещества. Перечисленные показатели не всегда можно рассчитать, а процесс определения их опытным путем усложняет процедуру расчета m' .

3. Процесс определения величины удельной массовой скорости выгорания нефтепродуктов экспериментальным путем достаточно трудоемкий и требует необходимого поверенного оборудования. В результате испытаний топливной смеси и индивидуального вещества получены значения массовой скорости выгорания, имеющие допустимую погрешность относительно величин m' , полученных для этих же нефтепродуктов методом расчета.

4. В результате анализа действующих методик оценки опасных факторов пожара (в частности теплового излучения) выявлен ряд недостатков. Предложенный метод определения m' топливных смесей позволит производить расчет данной величины, зная только плотность нефтепродукта при нормальных условиях, его температуру кипения и температуру до начала горения, в то же время, исключая необходимость вычисления значений удельной теплоты сгорания, испарения и удельной теплоемкости продукта, кинематической или динамической вязкости. Разработанный метод исследования пожароопасных свойств веществ является научно-обоснованным методом для изучения процессов распространения опасных факторов пожара пролива.

Основные положения диссертации опубликованы в 9 научных изданиях, наиболее значимые из которых:

- в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ:

1. Хуснутдинова, С.М. «Расчет среднеповерхностной плотности теплового излучения пламени с помощью усовершенствованного подхода к определению массовой скорости выгорания»/ С.М. Хуснутдинова, Ф.Ш. Хафизов, Ш.И. Хафизов// Научный журнал «Современные проблемы гражданской защиты». – Иваново: 2023. – №2(47) – С.141-146.

2. Хуснутдинова, С.М. Исследование методов определения удельной массовой скорости выгорания нефтепродуктов / С.М. Хуснутдинова, Ф.Ш. Хафизов, И.Ф. Хафизов// Научный электронный журнал «Техносферная безопасность». – Екатеринбург: 2021. – №1 – С. 67-71.

3. Хуснутдинова, С.М. Расчет удельной массовой скорости выгорания нефтепродуктов / С.М. Хуснутдинова, Ф.Ш. Хафизов, И.Ф. Хафизов, Р.Ф. Мингазетдинов // «Нефтегазовое дело»: Сетевое издание – УГНТУ: 2021. – №2 – С. 5-14.

4. Хуснутдинова, С.М. Определение пожаробезопасных расстояний при воздействии теплового излучения в случае пожара пролива нефтепродуктов / С.М. Хуснутдинова, Ф.Ш. Хафизов, И.К. Бакиров// Научный электронный журнал «Техносферная безопасность». – Екатеринбург: 2021. – №4 (33) – С. 32-37.

- в рецензируемом научном издании, включенном в международную базу данных Scopus.

5. Хуснутдинова, С.М. Определение удельной массовой скорости выгорания многокомпонентных нефтепродуктов / С.М. Хуснутдинова, Ф.Ш. Хафизов, И.Ф. Хафизов // «Безопасность труда в промышленности»: Научно-производственный журнал – Ростехнадзор, ЗАО НТЦ ПБ. – г. Москва: 2021. – №10 – С. 49-52.

- в прочих изданиях:

6. Хуснутдинова, С.М. Определение размеров зон действия теплового излучения в случае пожара пролива на территории товарного производства УНПЗ/ С.М. Хуснутдинова, Ф.Ш. Хафизов // V Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы и тенденции развития техносферной безопасности в нефтегазовой отрасли»: Сборник материалов конференции. – Уфа, 2022. – С. 205-206.

7. Хуснутдинова, С.М. Расчет удельной массовой скорости выгорания нефтепродуктов // III Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы обеспечения пожарной, аварийной и экологической безопасности объектов»: Сборник материалов конференции. – Уфа, 2020. – С. 330.

8. Хуснутдинова, С.М. Зависимость массовой скорости выгорания жидких топлив от диаметра резервуара / С.М. Хуснутдинова, Ф.Ш. Хафизов // III Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы и тенденции развития техносферной безопасности в нефтегазовой отрасли»: Сборник материалов конференции. – Уфа, 2020. – С. 333.

9. Хуснутдинова, С.М. Совершенствование метода определения удельной массовой скорости выгорания нефтепродуктов / С.М. Хуснутдинова, Ф.Ш. Хафизов // III Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы и тенденции развития техносферной безопасности в нефтегазовой отрасли»: Сборник материалов конференции – Уфа, 2020. – С. 335-336.