

Таблица 3

Статистические вероятности сценариев развития аварий

Сценарий аварии	Вероятность
Факел	0,0574
Огненный шар	0,7039
Горение пролива	0,0287
Сгорание облака	0,1689
Взрыв облака	0,1190
Без горения	0,0292

Также по статистике степень аварийности трубопроводного транспорта $5 \cdot 10^{-6}$ м/год. В 90% случаев происходит выброс содержимого через отверстие 1 дм в стенке трубопровода до тех пор, пока утечка не будет остановлена, в 10% случаев - полный разрыв трубопровода.

Анализ последствий включает оценку воздействий опасных факторов на людей, имущество или окружающую среду.

В практике анализа риска аварии чаще оперируют не с вероятностями, а со средними интенсивностями (частотами) нежелательных событий за определенное время. Если рассматривать происходящие аварии как стационарный пуассоновский поток событий, то связь между вероятностью события. А за время t и его интенсивностью λ такова:

$$P_A(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

Рассмотрим дискретную случайную величину людских потерь N при аварии на магистральном газопроводе с возможными значениями $n_0 = 0, n_1, n_2, \dots, n_k$. Каждое из этих значений N может принять с некоторой вероятностью $P_0, P_1, P_2, \dots, P_k$. Описание дискретной случайной величины N считается полным с точки зрения теории вероятностей, если установлен закон распределения случайной величины, который представляется в виде ряда распределения.

Литература.

1. Анализ аварий и несчастных случаев на трубопроводном транспорте России: учеб. пособие для вузов/ Под ред. Б.Е. Прусенко, В.Ф. Мартынюка. - М.: Анализ опасностей, 2003. - 351 с.
2. Кульчев В.М., Иванов Е.А., Дадонов Ю.А., Мокроусов С.Н. Трубопроводный транспорт природного газа, нефти и нефтепродуктов и его роль в обеспечении развития и стабильности топливно-энергетического комплекса // Безопасность труда в промышленности. - 2002. - №7. - с.4-10
3. Мокроусов С.Н. Пути повышения безопасности работы нефтегазового комплекса и систем магистрального трубопроводного транспорта // Безопасность труда в промышленности. - 2005. - №1. - с.18-20

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Д.В. Михайлов, к.т.н., доц.

ГОУ ВПО «Луганский национальный университет имени Владимира Даля»

91034 г. Луганск, квартал Молодежный, 20-а, тел. +38 (066)7252402

E-mail: kaf_iznit@mail.ru

Аннотация: В статье приведено исследование современного состояния проблемы моделирования опасных факторов пожара в помещении. Представлены результаты разработки системы поддержки принятия решений для моделирования динамики опасных факторов пожара в вентилируемых помещениях на начальной стадии пожара с последующим выводом управляющего решения по оптимальным для применения в этих помещениях типам автоматических установок пожаротушения и пожарной сигнализации, а также координатам размещения их элементов.

Abstract: The article presents the study of contemporary problems of modeling of fire hazards in the premises. The results of development of the system of decision support for modelling the dynamics of fire hazards in the premises at the initial stage of the fire and then outputting a control solution that is optimal for

use in these areas types of automatic fire extinguishing and fire alarm systems, and coordinates the placement of their elements.

Становление научно-производственного потенциала страны должно происходить путем использования новейших информационных технологий, в том числе компьютерного моделирования, систем поддержки принятия решений (СППР) и экспертных систем. Роль математического моделирования в различных исследованиях и разработках непрерывно возрастает, что обусловливается необходимостью, с одной стороны, более глубокого проникновения в сущность исследуемых объектов, а с другой – снижения стоимости и сроков разработок, и стимулируется развитием математических методов, совершенствованием вычислительных алгоритмов, программного обеспечения и компьютерной техники. Смоделированная на компьютере интерпретация разного рода «динамической» информации во времени является мощным инструментом познания объективной реальности. В частности, это касается и многочисленных задач обеспечения пожарной безопасности объектов различного назначения.

Анализ литературных источников. Первые математические модели пожаров в помещении были получены в 50-х годах XX века [1]. В 80-х годах это были лишь качественные оценки полей скоростей и температур, поскольку вычислительная база в то время не позволяла проводить полные расчеты с учетом всех видов теплообмена (конвекция, теплопроводность, лучистый теплообмен) и изменения состава и массы газовой среды помещения [2, 3]. С 90-х годов развитие компьютерных технологий вывело моделирование процессов тепло- и массообмена, в том числе и пожаров, на качественно новый уровень [4, 5]. Необходимо отметить, что развитие математического моделирования несколько не умаляет роль экспериментальных методов. Т.о. следует говорить о развитии математического моделирования в рамках расчетно-экспериментального подхода, который с экономической точки зрения позволяет уменьшить стоимость обоснования инженерных решений за счет увеличения доли расчетных работ при значительном уменьшении количества огневых испытаний.

В существующих математических моделях развития опасных факторов пожара в помещениях [6, 7] не учитывается взаимодействие вентиляционных потоков воздуха с конвективными потоками дымовых газов, а расчетные методики не дают конкретных рекомендаций по размещению элементов автоматических установок пожаротушения (АУП) и подаче огнетушащих веществ с учетом параметров воздушных потоков, вызываемых приточной или вытяжной вентиляцией в защищаемых помещениях. Поэтому актуальной задачей является исследование влияния указанных факторов на процесс развития пожара, что позволит повысить достоверность математического моделирования с помощью трехмерных моделей при проектировании АУП [8]. При этом достигается существенное повышение надежности и эффективности средств обеспечения противопожарной защиты объектов при реальном снижении затрат за счет качественного обоснования выбора как типа пожарных извещателей, реагирующих на первый по времени опасный фактор пожара, так и других элементов АУП. Этим обеспечивается реализация оптимального по времени срабатывания и создания необходимой огнетушащей концентрации варианта размещения всех элементов АУП на объекте.

Цель статьи – исследование современного состояния проблемы моделирования опасных факторов пожара в вентилируемом помещении и определение путей её решения с использованием СППР.

Пожар с теплофизической точки зрения – сложный нестационарный процесс тепломассообмена, поскольку сопровождается горением, турбулентным переносом, наличием в потоке дисперсной фазы, интенсивным тепловым излучением. Как следствие, математическое моделирование пожара является междисциплинарной областью, в которой используются результаты механики сплошных сред, теории горения, тепломассообмена, численного анализа. Каждый пожар представляет собой единственную в своем роде ситуацию, определяемую различными событиями и явлениями, носящими случайный характер. Поэтому точно предсказать развитие пожара во всех деталях не представляется возможным. Пожар можно рассматривать как открытую термодинамическую систему, обменивающуюся с окружающей средой веществами и энергией.

Одним из главных процессов, происходящих на пожаре, являются процессы теплообмена. Нагрев продуктов горения вызывает движение газовых потоков. Особенностью распределения температур при внутренних пожарах является то, что нарастание температуры по высоте помещения происходит весьма резко. Это наиболее заметно в помещениях, имеющих незначительную высоту. При слабом вентиляционном потоке большая часть тепла отдается верхним слоям газа. При наличии

сильного потока обстановка усложняется, так как восходящий поток нагретых газов значительно отклоняется от вертикали. Чем выше скорость движения конвекционных потоков и чем выше температура нагрева продуктов сгорания, тем больше тепла передается в окружающую среду. Наиболее интенсивно тепло передается по нормали к факелу пламени, с увеличением угла отклонения от нее интенсивность передачи тепла уменьшается. Процесс теплообмена горячих газов, факела пламени и ограждающих конструкций носит сложный характер и осуществляется одновременно тепловым излучением, конвекцией и теплопроводностью. На процесс газообмена значительное влияние оказывают высота помещения, геометрические размеры проемов, скорость и направление вентиляционных потоков.

На сегодняшний день для расчета развития пожара в помещениях используются множество различных математических моделей. Среди существующих подходов можно выделить три основных направления: зонный метод, интегральный метод и полевой метод. Зонные модели основаны на законах сохранения энергии и массы для газозвдушной среды помещения. Состояние среды при пожаре в данный момент времени вычисляется позонно. Зоной называют область в объеме помещения, в которой температура и физические характеристики принимаются одинаковыми. Таким образом, в результате моделирования получают динамику изменения температуры и других характеристик зон во времени. Как правило, основной акцент в зонной модели делается на расчет теплового состояния газовой среды и концентрации продуктов горения в помещении или группе помещений. Различные зонные модели делят помещение на разное количество объемов, в зависимости от желаемого уровня детализации.

Наиболее простой моделью пожара в помещении является интегральная модель, которая имеет дело со среднеобъемными параметрами (температурой, концентрацией дыма и ядовитых компонент газовой среды). Недостатком такой модели является весьма приблизительный учет пространственных зависимостей опасных факторов пожара. Интегральная математическая модель пожара является системой обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих изменение среднеобъемных параметров состояния газовой среды в помещении в процессе развития пожара, которые впервые были сформулированы в 1976 г. проф. Ю.А. Кошмаровым. Они вытекают из фундаментальных законов природы – первого закона термодинамики для открытой термодинамической системы и закона сохранения массы. Основным достоинством интегральных моделей является возможность проведения на ЭВМ относительно быстрого и нетрудоемкого многофакторного комплексного исследования динамики развития опасных факторов пожара в помещении. Интегральная математическая модель пожара по сравнению с другими менее требовательна к конкретике при описании расчетных исходных данных. По сравнению с другими интегральная модель менее детально отражает состояние опасных факторов пожара в помещении. Однако когда требуется показать только характер их изменения, общую картину происходящего на пожаре, показать влияние на развитие пожара активных систем (пожаротушения, вентиляции и др.), среднеобъемных значений вполне достаточно. Кроме этого, при интегральном моделировании может быть достигнута необходимая для работы в режиме реального времени скорость вычислений.

Наиболее информативным и перспективным методом моделирования пожаров является полевой метод, использующий численное решение уравнений сохранения массы и уравнений переноса для различных физических параметров, позволяя получать распределение во времени и пространстве таких величин, как скорость, температура, тепловые потоки и т.п. Полевые модели являются наиболее мощным и универсальным инструментом компьютерного моделирования. Компьютерные программы, использующие такие модели, принято называть CFD-пакетами (Computational Fluid Dynamics). В настоящее время происходит интенсивное внедрение полевого метода для моделирования пожаров в области инженерных расчетов.

В полевых моделях выделяется расчетная область, которая делится на большое количество контрольных объемов. Их число может достигать сотен тысяч. Для каждого из этих объемов с помощью численных методов решается система уравнений в частных производных, выражающих принципы локального сохранения массы, импульса, энергии и масс компонентов. С её помощью можно рассчитать поля опасных факторов пожара в каждой точке расчетной области. Используя полевые модели можно провести расчет пожара на объекте практически любой геометрической формы с учетом основных физико-химических процессов.

Все полевые модели пожара основаны на решении уравнений Навье-Стокса, которые представляют собой систему дифференциальных уравнений в частных производных, описывающую дви-

жение вязкой ньютоновской жидкости. Уравнения являются одними из важнейших в гидродинамике и применяются в математическом моделировании многих природных явлений и технических задач. Система состоит из двух уравнений: уравнения движения, уравнения неразрывности. Иногда в систему уравнений Навье-Стокса дополнительно включают уравнение теплопроводности и уравнение состояния.

В настоящее время получила развитие математическая модель [8] изменения температурных полей пожара в вентилируемых помещениях обоснованием влияния на них физических особенностей потоков, применением критериев Рейнольдса, Рэлея, коэффициента соотношения энергии вентиляционных и конвективных потоков, что позволяет определять зоны с резким ростом температуры и турбулентности, совершенствовать методы проектирования и размещения элементов автоматических систем пожаротушения, оптимизировать расход огнетушащих веществ.

С помощью методов системного анализа разработана математическая модель и структурная схема СППР, состоящая из блоков самостоятельных модулей, основные из которых предназначены для анализа пожарной опасности защищаемого объекта (рис. 1), прогноза возможных источников возгорания, параметров вентиляционных потоков (рис. 2), моделирования динамики изменения параметров газовой среды объекта, анализа и генерации конечного решения при проектировании АУП [9]. Разработана автоматизированная система для поиска возможных экономически рациональных решений, модель формирования допустимых альтернатив, комплексные функции выбора для принятия конечного решения при проектировании АУП, а также алгоритм для решения задач нечеткого выбора.

На первом этапе пользователь может определить тип помещения (например, производственное, складское или ангар), его планировку, конструктивные и другие особенности, размеры, площадь, защищаемую системой автоматического пожаротушения, расположение технологического оборудования, указывает пожароопасные материалы, которые используются, хранятся, транспортируются, пожарную нагрузку, характер ее распределения по площади помещения, в случае присутствия легковоспламеняемых жидкостей – площадь их возможного разлива (рис. 1). Если это складское помещение, тогда кроме геометрических параметров и более расширенного перечисления его конструктивных особенностей, указывается вид хранения материалов и товаров, характер их размещения – высота и ширина стеллажей, расстояние между ними и др. Библиотеки программы включают базы данных свойств строительных материалов, основные технические характеристики автоматических установок пожаротушения.

Рис. 1. Интерфейс программы для ввода характеристик помещения

В диалоговом окне «Параметры вентиляционной нагрузки» (рис. 2) пользователь выбирает тип вентиляции в зависимости от назначения, места действия и способа перемещения воздуха, параметры вентиляционных потоков (расход, скорость воздуха и т.д.).

На основе выполненного анализа программа моделирует динамику распространения опасных факторов пожара, в частности – изменения температурного поля на этапе его развития с учетом влияния вентиляционных потоков. Результаты моделирования представляются в виде изополей, изолиний, или предоставляются в табличной форме и могут быть экспортированы в табличный редактор Microsoft Excel.

После расчета температурных полей программа на основе массивов данных характеристик элементов АУП и огнетушащих веществ, определяет наиболее приемлемые для применения в этом помещении типы автоматических установок пожаротушения и пожарной сигнализации и координаты размещения их элементов (рис. 3).

ИСППР при проектировании автоматических установок пожаротушения и пожарной сигнализации

Параметры помещения | Вентиляционные потоки | Моделирование ОФП | База данных элементов АУП и ПС | Схема размещения элементов АУП и ПС

Параметры вентиляционной нагрузки

Тип вентиляции:
☐ Естественная ☒ Принудительная

Параметры вентиляционных потоков

☒ Есть приточная вентиляция

Приточная вентиляция (n-ый воздухораспределитель) 3

Номер n: 2 Расход: 500 м³/ч

Скорость вентиляционного потока: 0,5 м/с

Вектор преобладающего направления потока

X1: 0 Y1: 5 Z1: 3 X2: 25 Y2: 5 Z2: 10

Координаты расположения центра воздухораспределителя

X1: 0 Y1: 5 Z1: 3

Геометрическая характеристика струи:
☐ компактная, неполная веерная, коническая
☒ плоская
☐ веерная

Стереть Сохранить

☒ Есть вытяжная вентиляция

Вытяжная вентиляция (n-ое вытяжное отверстие) 3

Номер n: 1 Расход: 500 м³/ч

Скорость вентиляционного потока: 0,5 м/с

Вектор преобладающего направления потока

X1: 0 Y1: 7 Z1: 4 X2: 25 Y2: 5 Z2: 10

Координаты расположения центра вытяжного отверстия

X1: 25 Y1: 5 Z1: 10

Стереть Сохранить

Способ подачи приточного воздуха

☐ наклонными струями в направлении P3 через воздухораспределители типов НРВ, РВ и ВВР

☒ сосредоточенно выше P3 через воздухораспределители типов ВСП, ВГКм, РР, РВ и с использованием направляющих сопел

☐ непосредственно в P3 через воздухораспределители типа ВЗПш

☐ смыкающимися коническими струями сверху вниз с высоты не более 8 м через воздухораспределители типов ВР и ПРМ

☐ наклонными струями, непосредственно в P3

☐ наклонными струями в пространство между технологическим оборудованием

☐ наклонными струями в направлении P3 с высоты не более 4 м через воздухораспределители типов НРВ, РВ и ВВР

☐ сверху вниз веерными или несмыкающимися коническими струями через воздухораспределители типов ВР, ВДШп, ПРМ

Метеоусловия

Средняя температура внутри помещения: 25

Средняя температура вне помещения: 29

Относительная влажность: 60 %

Оконные и дверные проемы

☒ Наличие окон

Суммарная площадь оконных и дверных проемов: 80 м²

☐ Вентиляционные потоки отсутствуют

Отмена ОК

Рис. 2. Диалоговое окно для ввода параметров вентиляционных потоков

Вывод решения

Пожарная сигнализация

Тип извещателя: тепловой

Список моделей, наиболее подходящих по техническим характеристикам: СПТ-3Б

Координаты расположения элементов

№	X	Y	Z
1	9	2	6
2	8	8	6
3	12	7	6

Список фирм

Автоматическая установка пожаротушения

Тип АУП: порошковая

Список моделей, наиболее подходящих по техническим характеристикам: МПП-10ст

Координаты расположения элементов и углы направления подачи ОВ

№	X	Y	Z	гор. уг. верт.
1	4	8	5,8	270 45
2	8	8	5,8	270 45
3	8	2,5	5,8	180 45

Отмена ОК

Рис. 3. Вывод управляющего решения СППР

При этом СППР генерирует решение относительно того, какой из вариантов является наиболее целесообразным для повышения эффективности применения АУП – тот, который обеспечивает быстрое и эффективное пожаротушения во всем объеме помещения, но отрицательно влияет на материальные ценности, находящиеся в нем, или тот, что является более инерционным, но не меняет качества материалов, оборудования и т.д. при одинаковых оценках по другим критериям.

На заключительном этапе функционирования СППР формируется решение, которое представляется в виде типа АУП, ее комплектации и т.д., что позволяет значительно сократить затраты как на этапе проектных разработок систем противопожарной защиты вентилируемых помещений, так и с точки зрения оптимизации использования огнетушащего вещества при тушении пожара.

Выводы. Математическое моделирование пожара является междисциплинарной областью, в которой используются результаты механики сплошных сред, теории горения, тепломассообмена, численного анализа. Наиболее информативным и перспективным методом моделирования пожаров является полевой метод, использующий численное решение уравнений сохранения массы и уравнений переноса для различных физических параметров, позволяя получать распределение во времени и пространстве таких величин, как скорость, температура, тепловые потоки и т.п.

Использование полевых моделей для численного моделирования динамики опасных факторов пожара в помещениях позволяет не только прогнозировать развитие пожара, но и проводить анализ на предмет выявления слабых мест помещений с точки зрения пожарной безопасности, а также восстанавливать картину уже прошедшего пожара. Разработанная система позволяет сократить затраты рабочего времени на проведение соответствующих расчетов, открывает новые возможности для применения организационных мероприятий и технических средств пожарной безопасности по заданным критериям, в том числе и экономическим, поскольку выбор способа противопожарной защиты объекта представляет собой технико-экономическую задачу по нахождению минимума единовременных затрат на пожарное оборудование и эксплуатационные расходы по его содержанию в сравнении с ожидаемыми убытками от пожара.

Литература.

4. Дробнич Ю.П. Модели пожаров в помещении / Ю.П. Дробнич // Запобігти, врятувати, допомогти: XII наук.-техн. конф. курсантів та студентів, квітень 2008 р.: Матер. конф. – Харків: УЦЗУ, 2008. – С. 8 – 10.
1. Молчадский И.С. Руководство по расчету температурного режима пожара в помещениях жилых зданий / И.С. Молчадский, В.И. Готов, Ю.А. Кошмаров, С.В. Зотов, А.В. Гомозов. – ВНИИПО МВД СССР. – М., 1983. – 49 с.
2. Валеев Г.Н. Температурные режимы в помещениях на этаже, где происходит пожар / Г.Н. Валеев, А.Н. Ерофеев, В.М. Есин // Огнестойкость строительных конструкций. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1981. – С. 50 – 57.
3. Пузач С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности / С.В. Пузач. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. – 336 с.
4. Молчадский И.С. Пожар в помещении / И.С. Молчадский. – М.: ВНИИПО, 2005. – 456 с.
5. Безуглов О.Е. Математическая модель среднеобъемной температуры в помещении на начальной стадии пожара / О.Е. Безуглов // Проблемы пожарной безопасности. – Х.:НУГЗУ, 2008. – Вып. 24. – С. 11 – 15.
6. Тищенко Е.А. Интегральная модель среднеобъемной температуры в помещении в начальной стадии пожара / Е.А. Тищенко, Ю.П. Дробнич // Проблемы пожарной безопасности. – Х.:НУГЗУ, 2008. – Вып. 25. – С. 181 – 184.
7. Касьянов М.А. Математичне моделювання впливу вентиляційних потоків на температурне поле при пожежі в приміщенні / М.А. Касьянов, Д.В. Михайлов // Вісник СНУ ім. В. Даля. В 2-х ч. Ч. 1. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2010. – № 4 (146). – С. 260 – 264.
8. А. с. № 43489 від 27.04.12 на комп'ютерну програму «Інтелектуальна система підтримки прийняття рішень при проектуванні автоматичних установок пожежогасіння та пожежної сигналізації для приміщень із урахуванням параметрів вентиляційних потоків» / Д.В. Михайлов; заявл. 21.02.2012; опубл. 27.04.12.