

Сухов С.С.,

кандидат технических наук, доцент
заведующий кафедрой «Безопасность жизнедеятельности»
Брянский государственный университет им.И.Г.Петровского

Россия, г. Брянск

Евдокимов С.Ю.,

Магистрант 2курс, факультет «Технологии и дизайна»

Техносферная безопасность

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ

Аннотация: В данной статье проведен анализ современных методов расчета динамики опасных факторов пожара в зданиях и сооружениях, выявлены их основные достоинства и недостатки, а также уточнены основные задачи расчета динамики опасных факторов пожара.

Abstract: In this article the analysis of modern methods of calculation of the dynamics of dangerous factors of fire in buildings and structures, identified their main advantages and disadvantages, and specified the main problem of calculating the dynamics of dangerous factors of fire.

Ключевые слова: время эвакуации при пожаре, продолжительности пожара, коэффициент безопасности, динамика опасных факторов пожара, термогазодинамическая картина пожара, теплообмен, математические модели,

Keywords: time of evacuation in case of fire, duration of fire, the safety factor, the dynamics of dangerous factors of a fire, a thermodynamic picture of the fire, the heat and mass transfer, mathematical models.

Введение.

Риск гибели людей в результате воздействия опасных факторов пожара должен определяться с учетом функционирования систем обеспечения пожарной безопасности зданий, сооружений и строений.

Конструктивные, объемно-планировочные и инженерно-технические решения зданий, сооружений и строений должны обеспечивать в случае пожара, эвакуацию людей в безопасную зону до нанесения вреда их жизни и здоровью вследствие воздействия опасных факторов пожара.

Необходимое время эвакуации рассчитывается как произведение критической для человека продолжительности пожара на коэффициент безопасности.

В российских стандартах безопасности (ГОСТ 12.1.004-91 и др.) заложены упрощенные методы расчета, неадекватные реальной термогазодинамической картине пожара и приводящие в ряде случаев к *завышению необходимого времени эвакуации людей в 2-3 раза.*

В соответствии с ФЗ № 123 от 22 июля 2008 года «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (с изменениями на 3 июля 2016 года)»

опасными факторами пожара являются

пламя и искры;

пловой поток (нет в ГОСТ 12.1.004–91*).

повышенная температура окружающей среды;

повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения (СО, НСl, СО₂ по ГОСТ 12.1.004–91*);

пониженная концентрация кислорода;

снижение видимости в дыму

Критические (предельно допустимые) значения опасных факторов пожара (ОФП) для человека без средств индивидуальной защиты приняты следующими:

-температура – $T_{кр}=70^{\circ}\text{C}$;

-парциальная плотность кислорода – $\rho_{\text{O}_2\text{кр}}=0,226 \text{ кг/м}^3$;

-парциальная плотность окиси углерода – $\rho_{\text{COкр}}=1,16 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$;

-парциальная плотность двуокиси углерода – $\rho_{\text{CO}_2\text{кр}}=0,11 \text{ кг/м}^3$;

- парциальная плотность хлористого водорода – $\rho_{\text{HCl}_{\text{кр}}} = 23 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$;
- парциальная плотность акролеина – $\rho_{\text{АКР}_{\text{кр}}} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$;
- парциальная плотность циановодорода HCN – $\rho_{\text{HCN}_{\text{кр}}} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$;
- дальность видимости – $l_{\text{вкр}} = 20 \text{ м}$.

При этом предполагается, что каждый ОФП воздействует на человека независимо от других.

Критическая величина плотности лучистого теплового потока для кожи человека без средств индивидуальной защиты составляет:

- при кратковременном воздействии – $q_{\text{кр,л}} = 1120 \text{ Вт/м}^2$;
- при длительном воздействии – $q_{\text{кр,л}} = 560 \text{ Вт/м}^2$.

В нормативных документах не учтены следующие опасные факторы пожара мелкодисперсные твердые частицы, вдыхание которых может привести к потере ориентации, сознания и последующему удушью; токсичные продукты горения и термического разложения (акролеин, циановодород, оксиды азота и серы, бензол и формальдегид).

В связи с переходом многих стран мира к гибкому объектно ориентированному противопожарному нормированию математическое моделирование пожаров становится определяющим звеном при решении различных задач пожарной безопасности.

В настоящее время накоплен большой объем экспериментальной и теоретической информации о закономерностях тепломассообмена при пожаре в помещениях с ограждающими конструкциями в виде параллелепипеда или цилиндра.

Влияние сложной геометрии помещения на параметры термогазодинамики практически не изучено.

Вопрос точности и надежности метода расчета тепломассообмена является ключевым в обеспечении безопасности людей, при выборе параметров систем пожаробезопасности и при проведении противопожарных мероприятий, а в частности расчета времени эвакуации людей при пожаре.

Целью расчетов по математическим моделям тепломассообмена при пожаре является прогнозирование динамики изменения параметров газовой среды помещения (в первую очередь, опасных факторов пожара), прогрева ограждающих конструкций и теплового или иного воздействия пожара на людей и материальные ценности.

Основные научные проблемы при разработке метода расчета, находящихся на стыке различных научных дисциплин (тепломассообмен, химия, теория прочности):

- химический состав продуктов горения;
- турбулентный тепломассообмен при горении газообразных веществ и твердых частиц в условиях совместного воздействия ряда возмущающих течение факторов;
- лучистый теплообмен в оптически неоднородной двухфазной газовой среде в условиях турбулентного горения и его взаимного влияния на конвективный теплообмен;
- процесс прогрева и газификации пожарной нагрузки под тепловым воздействием пожара;
- фазовые переходы (испарение, конденсация, плавление) в условиях пожара;
- совместное определение теплового и напряженного состояния ограждающих конструкций помещения.

Полученные характеристики динамики опасных факторов пожара применяются при решении следующих задач пожарной безопасности :

1. анализ объемно-планировочных и конструктивных решений проектируемых, реконструируемых и существующих зданий и сооружений;
2. выбор и оптимизация толщин огнезащитных покрытий строительных конструкций;
3. проектирование автоматических систем пожарной сигнализации, дымоудаления и автоматического пожаротушения;
4. проведение пожарно-технических экспертиз и расследований пожаров;

5. разработка планов эвакуации и пожаротушения.

Основные задачи расчета динамики опасных факторов пожара (ОФП):

- расчет критической продолжительности пожара (необходимое время эвакуации);
- определение фактических пределов огнестойкости строительных конструкций;
- расчет расходов систем дымоудаления и приточной вентиляции;
- расчет времени срабатывания тепловых, дымовых, концентрационных, радиационных и комбинированных детекторов систем пожарной безопасности;
- построение термогазодинамической картины пожара (обстановка на пожаре);
 - определение безопасных расстояний (для эвакуации людей, расстановки оборудования и т.д.).

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РАСЧЕТА ДИНАМИКИ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА:

1. Интегральные методы расчета опасных факторов пожара

В интегральных методах расчета находятся среднеобъемные величины температуры, плотности, массовых концентраций кислорода, токсичных продуктов горения, огнетушащего вещества и оптической концентрации дыма, а также средние температуры ограждающих конструкций и усредненные характеристики теплогазообмена через проемы (рис1).

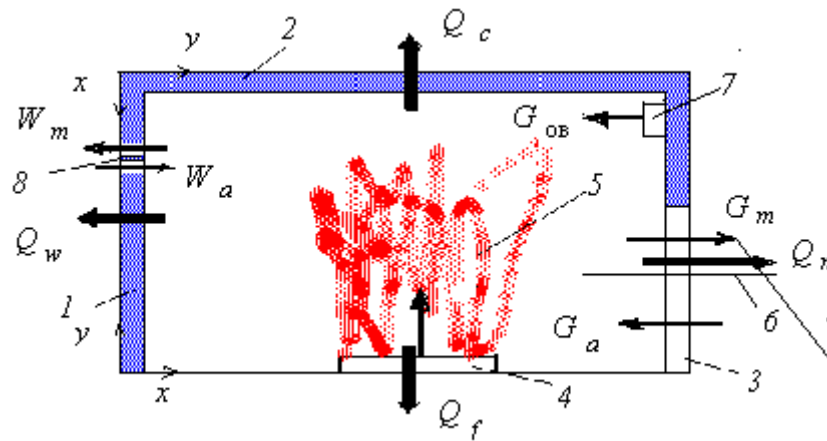


Рисунок 1- Схема тепломассообмена : 1 – стены; 2 – перекрытие; 3 - открытый проем; 4 - горючий материал; 5 - очаг горения; 6 - нейтральная плоскость; 7 - система пожаротушения; 8 - механическая приточно-вытяжная вентиляция

Основные упрощения термогазодинамической картины пожара:

- газовая смесь состоит из идеальных газов;
- состояние газовой среды помещения и параметры тепломассообмена в каждый момент времени однозначно определяются среднеобъемными значениями параметров состояния газовой среды;
- поверхности равных давлений внутри и снаружи помещения, а также скоростей, равных нулю, в области проема являются плоскостями и совпадают друг с другом;
- геометрическое положение пожарной нагрузки в помещении не влияет на параметры тепломассообмена через открытые проемы с окружающей средой и теплоотвода в ограждающие конструкции ;
- проемы работают только на «выброс»;
- коэффициент теплопотерь принимается постоянным;
 - удельный выход токсичных газов при сгорании 1 кг материала постоянен и не зависит от концентрации кислорода и т.д.

Основным преимуществом интегральной модели, является быстрый и низкотрудоемкий инженерный расчет динамики опасных факторов пожара.

Основными недостатками интегральной модели являются:

- область корректного применения интегральной модели (по объемам и геометрии помещений, расположению горючего материала и т.д.) является нерешенной проблемой;
- необходимость использования дополнительной экспериментальной информации или моделей более высокого уровня (зонных или полевых) для получения распределения параметров теплообмена по объему помещения;
- величины опасных факторов пожара (ОФП) на уровне рабочей зоны не зависят от вида, свойств, места расположения горючего материала и геометрии помещения:

$$\text{ОФП}_{\text{рз}} = f(\text{ОФП}_{\text{нрз}}, H);$$

Где $h_{\text{рз}}$ — высота рабочей зоны;

H — высота помещения.

Интегральная модель реализована в нормативных документах ГОСТ 12.1.004-91, ГОСТ Р 12.3.047-98 для определения необходимого времени эвакуации людей (при высоте $H \leq 6$ м) :

- зальные помещения: аналитическое решение (проемы работают только на «выброс»);
 - коридоры: численное решение уравнений интегральной модели
- Необходимое время эвакуации рассчитывается как произведение критической для человека продолжительности пожара на коэффициент безопасности. Предполагается, что каждый ОФП воздействует на человека независимо от других.

Критическая продолжительность пожара определяется:

- по повышенной по потере видимости:
- по пониженому содержанию кислорода
- по повышению температуры помещения.
- по каждому из газообразных токсичных продуктов горения:

2. Зонная модель расчета опасных факторов пожара

Основные преимущества данной модели является :

- быстрой и низкотрудоемкий инженерный расчет динамики опасных факторов пожара;
- используются закономерности теплового и гидродинамического взаимодействия струйного течения со строительными конструкциями с условным разбиением на характерные области (критическая точка, область ускоренного течения, переходная область и область автомодельного течения).

ОСНОВНЫЕ НЕДОСТАТКИ модели:

- область корректного применения зонной модели (по объемам и геометрии помещений, расположению горючего материала и т.д.) является нерешенной проблемой;
- необходимость использования дополнительной экспериментальной информации или модели более высокого уровня (полевой) для получения распределения параметров теплообмена по объемам зон помещения;
- в случае сложной термогазодинамической картины пожара основные допущения зонной модели (равномерно прогретый припотолочный слой и т.д.) не соответствуют реальным условиям.

3. Полевая (дифференциальная) модель расчета опасных факторов пожара

Наиболее подробное описание процессов теплообмена при пожаре в помещении дают полевые (дифференциальные) модели.

Основным их достоинством является то, что искомыми параметрами являются:

- поля температур,

- скоростей,
- давлений,
- концентраций компонентов газовой среды и частиц дыма по всему объему помещения.

Полевые модели наиболее сложны в математическом описании, так как они состоят из системы трех- или двумерных нестационарных дифференциальных уравнений в частных производных.

Пожар в помещении протекает в сложных термогазодинамических условиях при одновременном воздействии ряда возмущающих течение факторов:

- неизотермичность (отличие температур твердых поверхностей и газовых потоков);
- сжимаемость (плотность газа не является постоянной величиной);
- продольный и поперечный градиенты давления;
- вдув на стенке (поступление в помещение продуктов внутренней деструктуризации материала твердых конструкций, теплообменная защита конструкций);
- излучение;
- протекание химических реакций;
- фазность сред (одновременное сосуществование нескольких фаз – газ + твердые частицы, газ+жидкость, газ+твердые частицы+жидкость);
- шероховатость поверхностей конструкций;
- кривизна поверхности;
- турбулентность;
- скачки уплотнения;
- переход ламинарного режима течения в турбулентный.

Допущения и упрощения реальной термогазодинамической картины процесса:

- существует локальное термодинамическое и химическое равновесие во всем объеме помещения, что позволяет использовать равновесное уравнение состояния;

- газовая среда является смесью идеальных газов, что дает удовлетворительное приближение в диапазонах температур и давлений, характерных при пожаре;
- локальные скорости и температуры компонентов газовой смеси и твердых (или жидких) частиц одинаковы между собой в каждой точке пространства (односкоростная и однотемпературная модель);
- химическая реакция горения является одноступенчатой и необратимой;
- диссоциация и ионизация среды при высоких температурах не учитывается;
- турбулентные пульсации не влияют на теплофизические свойства среды;
- взаимным влиянием турбулентности и излучения пренебрегаем;
- пренебрегается обратным влиянием горения на скорость газификации горючего материала;
- термо- и бародиффузией пренебрегаем.

Таким образом, различие моделей заключается в разном уровне детализации термогазодинамической картины пожара, степенью точности расчетов и величиной трудозатрат на их проведение. Поэтому при проведении расчетов ОФП, необходимо в первую очередь учитывать целесообразность применения этих методов в конкретной задаче.

Список литературы:

1. Терентьев Д.И. Прогнозирование опасных факторов пожара. Курс лекций / Д.И. Терентьев, А.А. Субачева, Н.А. Третьякова, Н.М. Барбин // ФГБОУ ВПО «Уральский институт ГПС МЧС России». - Екатеринбург, 2012. - 182 с.
2. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование ОФП в помещении: Учебное пособие / Ю.А. Кошмаров/ - М.: Академия ГПС МВД России, 2000. -118 с.