

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРА В ПОМЕЩЕНИИ

*Н.А. Касьянов, канд.техн.наук, доц.; Д.В. Михайлов, асп.  
Восточнoукраинский национальный университет им. В. Даля*

Состояние вопроса экологической и техногенной опасности убеждает в том, что обеспечение пожарной безопасности, как и уменьшение риска аварий в энергетике и на транспорте, является одной из основных затратных статей бюджета любого государства. Это подтверждается данными [1], соотносящими экономические показатели пожарной безопасности по некоторым странам к стоимости их валового национального продукта (ВНП), которые свидетельствуют о превалировании прямого ущерба над косвенным и о значительной суммарной «стоимости» пожаров, которая составляет 0,8 – 0,9 % ВНП. Эти данные говорят также и об актуальности проблемы автоматической пожарной защиты на энергонасыщенных производственных и транспортных объектах.

Каждый день в Украине, по данным [2], в среднем возникает 159 пожаров, экономические потери от которых составляют 676 тыс. грн. Вследствие пожаров гибнет 7 и получают травмы 4 человека, огнем уничтожается 48 строений и 6 автотранспортных средств. Анализ пожаров в Украине, возникших на объектах, оборудованных автоматическими установками пожаротушения, свидетельствует о том, что часто эти установки находятся в нерабочем состоянии. Так, в 1997, 1998, 1999 гг. на объектах, оснащенных такими системами, возникло 504, 395, 337 пожаров соответственно, но при этом успешно сработали – в 1997г. – 236, в 1998г. – 260 и в 1999г. – 241 установка пожаротушения, т.е. в лучшем случае ~ 70 %.

В [3] указывается на необходимость изучения статистики пожаров с целью выявления эффективности противопожарных мероприятий с тем, чтобы разработка противопожарных норм могла основываться на опыте реальных пожаров. Хотя большие пожары (с убытком 10 тыс. ф. ст. и больше) составляют только ~ 1% от всех пожаров, на них приходится 60% годовых потерь. Вероятность распространения пожара за пределы очага (помещения)  $P_S$  и вероятность превращения малых пожаров в большие  $P_L$  связаны пропорциональной зависимостью  $P_L = P_S^3$ . Иными словами, уменьшение вероятности распространения огня будет сопровождаться еще более значительным уменьшением вероятности возникновения большого пожара. Пожарная статистика дает информацию об эффективности различных факторов (время обнаружения, способы тушения, конструкции стен и перекрытий, материал облицовки, возраст и высота здания, наличие спринклеров и т.п.). Изучение указанной информации дает интересные сведения. Так, вероятность превращения малого пожара в большой в ночное время в 4 раза больше, чем в дневное, но средний размер больших ночных пожаров соответствует потерям, равным 63 тыс. ф. ст., а больших дневных – 60 тыс. ф. ст.

По мнению специалистов [4, 5], в науке о распространении пожара в помещении имеются еще значительные пробелы. Отсутствует достаточно показательная модель протекания пожара в конкретных условиях. Необходимо дальнейшее совершенствование методик пожарных испытаний. Особую опасность представляют искусственные материалы, выпускаемые некоторыми предприятиями с преднамеренным нарушением противопожарных требований.

Практика развития современных средств противопожарной защиты требует их удешевления и сокращения времени на разработку, совершенствование вычислительных методов применительно к исследованию процесса развития пожара, пониманию влияния различных его параметров и характеристик на методы обеспечения пожарной безопасности [6, 7].

Пожар в помещении сопровождается изменением состава и параметров газовой среды, заполняющей помещение. Газовая среда в помещении с проемами, соединяющими его с наружной атмосферой, как объект исследования есть открытая термодинамическая система. В газовой среде, заполняющей при пожаре помещение, в любой момент времени сохраняется локальное равновесие.

Состояние газовой среды при пожаре в помещении характеризуется полями локальных термодинамических параметров состояния. Однако его можно характеризовать и с помощью среднеобъемных термодинамических параметров состояния, связанных между собой уравнением, вытекающим из условия существования локального равновесия. С помощью среднеобъемных параметров состояния можно проследить общие закономерности процесса развития пожара, выявить его наиболее характерные особенности и обуславливающие их факторы.

Пожар представляет собой явление, недостаточно строго определенное, стохастическое, и поэтому невозможно предугадать и контролировать всю совокупность параметров, определяющих потенциальную силу пожара.

Поэтому представляется целесообразным при моделировании использовать метод [8], предназначенный для описания динамики развития пожара на стадии роста. В силу стохастичности процесса пожара предлагаемый метод схож с другими вероятностными методами – по оценке сейсмической опасности, волновой активности океана и т.п. В качестве основных характеристик стадии роста пожара выбраны:  $t$  – период времени от начала эксперимента до воспламенения образца материала;  $K$  – период времени от воспламенения до достижения пламенем потолка;  $L$  – период времени от последнего момента до полного охвата пламенем помещения, часто соответствующего появлению пламени в проемах. Одним из важных следствий метода является то, что фактор вентиляции для модельного пожара в помещении должен рассматриваться как неопределенная переменная, исследуемая с помощью вероятностных методов. Если период времени  $t$  в общем случае может изменяться в зависимости от вида и расположения начального источника пожара, то два других периода времени достаточно определенно могут характеризовать конкретный процесс развития пожара. Введение временных показателей как основных элементов для сравнения процессов развития пожара при использовании различных материалов можно считать достоинством метода, позволяющим также сопоставлять результаты экспериментов, проведенных в различных лабораториях.

При этом очевидно, необходим учет того, какой является пожарная нагрузка в помещении – локальной или рассредоточенной, а также возможность представления математической модели развития пожаров в помещении на уровне среднеинтегральных характеристик.

При наличии в помещении технологического оборудования и вентиляционных потоков воздуха возникающий в процессе пожаров турбулентный след в свежей смеси перед фронтом горения приводит к турбулизации процесса и к увеличению площади фронта. Определение скорости горения в этом случае позволит оценить увеличение площади фронта горения и соответственно интенсивность подачи огнетушащих веществ.

Математическая модель развития пожара в помещении на уровне среднеинтегральных характеристик содержит уравнение баланса энергии, основные члены которого – скорость тепловыделения  $Q_c$ , потери тепла за счет газообмена в помещении и радиации через проемы  $Q_v$  и  $Q_o$ , потери тепла в строительные конструкции  $Q_w$ , теплота пиролиза  $Q_R$ .

Режим пожара определяется соотношением между массовой скоростью входящего через проемы воздуха  $m_a$  и массовой скоростью выгорания  $R$ : при  $m_a > \gamma R$  пожар регулируется вентиляцией (ПРВ); при  $m_a < \gamma R$  пожар регулируется нагрузкой (ПРН), здесь  $\gamma$  –

стехиометрическое соотношение воздуха и массы топлива. Для ПРН  $Q_c = Q_{\#}^0 \gamma R M$ , для ПРВ

$Q_c = Q_{\#}^0 m_a \mu$ , где  $\mu$  – коэффициент полноты горения.  $R$  определяется

выражением  $R = R_t + \Delta R$ , где  $R_t$  – скорость выгорания вне помещения;  $\Delta R$  – изменение

скорости выгорания за счет горения внутри помещения:  $\Delta R = [\sigma \{ T_g^4 + (1 - \varepsilon) T_w - T_0^4 \} + a (T_g - T_0)] A_v / \Delta H_v$ .

Горящая поверхность пожарной нагрузки (ПН)  $A_v$  увеличивается согласно выражению

$$A_{v0} = A_v + 0,15 \int_0^t V_t dt \text{ при } 0 < t < t_a, \quad A_v = S \text{ при } t > t_a, \text{ где } S - \text{площадь ПН; } A_v -$$

иницирующая поверхность горения ПН;  $t_a$  – время охвата пламенем всей поверхности ПН. Скорость распространения пламени по ПН  $V_t$  принята пропорциональной  $m_a$ :  $V_t = K_t m_a / \rho b N$ , где  $b$  – ширина проема;  $N$  – высота плоскости равных давлений. Уравнение баланса энергии решается совместно с уравнением теплопроводности для строительных конструкций при граничных условиях третьего рода.

#### ВЫВОД

При математическом моделировании развития пожара в помещениях с наличием вентиляционных потоков воздуха скорость последнего существенно влияет на увеличение площади фронта горения и поэтому необходим учет ее нестационарности при определении интенсивности подачи огнетушащих веществ для тушения и безопасного времени пребывания человека в помещении.

#### SUMMARY

*In science about spreading the fire indoors there are else significant gaps. Is absent it is enough significant model of the spreading the fire in concrete condition. Under mathematical modeling of the development of the fire in premiseses with presence ventilation flow air, the velocity last greatly influences upon increase area front of the combustion and so necessary account its not stationary at determination of the intensities of the presenting extinguishing fire material for stewing and safe time of stay of the person indoors.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов А., Горбунова Л., Иванова Г., Лупанов С. Об экономической оценке потерь от пожаров и затрат на обеспечение пожарной безопасности // Бюл. пож. безпеки. – К., 2000, №2(4). – С. 5-6.
2. Доманський В.А., Денисова О.О., Філон В.І. Стан з пожежами в Україні та їх наслідки за 2000 рік// Науковий вісник УкрНДПБ. – К. – 2001. - № 3. – С. 5-9.
3. Baldwin R. A statistical approach to the spread of fire in buildings. Synopsis of FR note No. 900 // Fire Res. – Note. – 1973, № 960. – P. 26-27.
4. Коньшин М.В. Підходи до дослідження процесу поширення полум'я по поверхні твердих матеріалів// Науковий вісник УкрНДПБ. – К. – 2000. - № 1-2. – С. 60-63.
1. Никитин Е.В. Особенности прогнозирования основных параметров пожара в замкнутых объемах: Зб. наук. пр. УкрНДПБ, ЛПБ „Пожежна безпека – 2001”. – Львів: СПОЛЮМ, 2001. – С. 336.
2. Григоренко К.В. Про математичні моделі пожежі у приміщеннях: Зб. наук. пр. УкрНДПБ, ЛПБ „Пожежна безпека – 2001”. – Львів: СПОЛЮМ, 2001. – С. 403-404.
3. Касьянов Н.А., Михайлов Д.В. Компьютерное моделирование динамики опасных факторов пожара // Вестник ВГУ им. В.Даля. – Луганск, 2003. – № 8 (66). – С. 99-103.
4. Corrije J.C. Quaty control procedures for fire-fighting foams // Pap. Symp. Chem. Process Hazards. – Rujhy: – 1977. – P. 133-137