

С. В. ПУЗАЧ, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, начальник кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: puzachsv@mail.ru)

С. А. КОЛОДЯЖНЫЙ, канд. техн. наук, доцент, ректор Воронежского государственного архитектурно-строительного университета (Россия, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84; e-mail: rector@vgasu.vrn.ru)

Н. В. КОЛОСОВА, старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, Воронежский государственный архитектурно-строительный университет (Россия, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84; e-mail: kolossn@ya.ru)

УДК 614.841

МОДИФИЦИРОВАННАЯ ЗОННАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ТЕРМОГАЗОДИНАМИКИ ПОЖАРА В ПОМЕЩЕНИИ, УЧИТЫВАЮЩАЯ ФОРМУ КОНВЕКТИВНОЙ КОЛОНКИ

Разработана модифицированная зонная модель расчета термогазодинамики пожара в помещении, учитывающая форму конвективной колонки, образующейся над источником горения. Создана экспериментальная установка для изучения динамики опасных факторов пожара в мелкомасштабном помещении, в котором горючий материал (фенолформальдегидная смола с наполнителем из древесной муки) располагался на полу в центре, в углу и посередине стены. Представлены результаты экспериментов по исследованию формы и угла раскрытия конвективной колонки. Показано, что использование в зонных моделях приближения неограниченной свободно-конвективной струи для описания параметров конвективной колонки не отражает реальной термогазодинамической картины развития пожара в помещении.

Ключевые слова: пожар; тепломассообмен; зонная математическая модель; конвективная колонка; свободно-конвективная струя.

DOI: 10.18322/PVB.2015.24.12.33-39

Введение

Вопрос точности и надежности метода расчета тепломассообмена является ключевым в обеспечении безопасности людей, при выборе параметров и мест размещения детекторов систем пожаровзрывобезопасности, а также при проведении эффективных противопожарных мероприятий.

Скорость опускания припотолочного нагретого задымленного газового слоя в высоких помещениях (атриумах, кинотеатрах и т. д.) определяется, в первую очередь, массовым расходом газовой смеси, поступающей в вышеуказанный слой из конвективной колонки, образующейся над источником горения.

При использовании зонной математической модели расчета термогазодинамики пожара в качестве основного допущения принимается, что конвективная колонка над источником горения представляет собой неограниченную свободно-конвективную струю [1]. Однако, как показано в работах [2–4], влияние на форму колонки перекрытия и стен помещения существенно и требует проведения дальнейших исследований. В связи с этим уточнение зонной модели с учетом формы конвективной колонки, обра-

зующейся над источником горения и подверженной влиянию ограждающих конструкций помещения, является актуальной научной и практической задачей.

В работах [2–4] исследование угла раскрытия и формы конвективной колонки выполнено на основе проведения численных экспериментов с использованием трехмерной полевой модели расчета термогазодинамики пожара [5]. В данной статье теоретическая модель подтверждается результатами натурных экспериментов.

Зонная модель расчета тепломассообмена при пожаре

Используется трехзонная модель, в которой объем помещения разбит на три зоны — конвективную колонку, припотолочный слой и слой холодного воздуха [1].

Принципиальная схема тепломассообмена в помещении для трехзонной модели приведена на рис. 1, на котором стрелками показаны направления течения газовой смеси и тепловых потоков.

Высота нижней границы припотолочного слоя с учетом того, что системы дымоудаления и приточ-

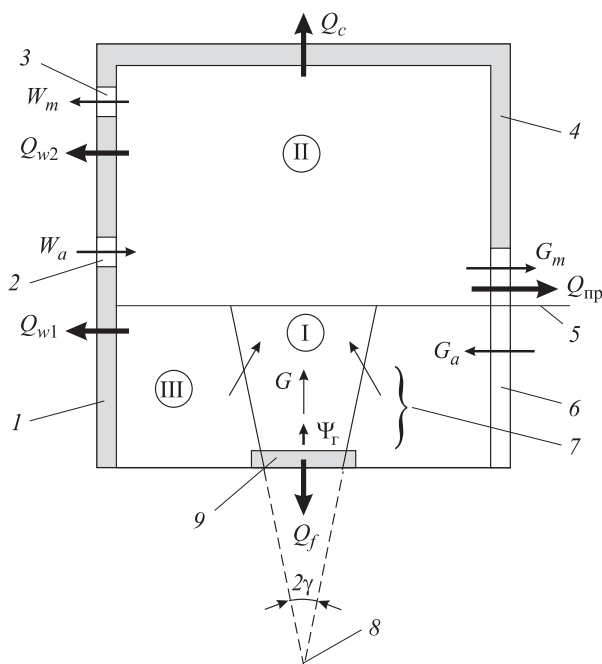


Рис. 1. Схема расчета тепломассообмена в помещении: 1 — стены; 2 — система приточной вентиляции; 3 — система дымоудаления; 4 — перекрытие; 5 — нейтральная плоскость (нижняя граница припотолочного слоя); 6 — открытый проем; 7 — высота пламенной зоны; 8 — точечный “фиктивный” источник теплоты; 9 — горючий материал; I — зона конвективной колонки; II — зона нагретого задымленного припотолочного слоя; III — зона холодного воздуха; Ψ_r — массовая скорость газификации горючего материала, кг/с; G_a , G_m — массовый расход соответственно поступающего воздуха и истекающих наружу газов при естественном газообмене через открытые проемы, кг/с; W_m , W_a — объемный расход соответственно системы дымоудаления и приточной вентиляции, м³/с; $Q_{пр}$ — величина теплового потока, излучаемого через открытые проемы наружу, Вт; Q_c , Q_{w1} , Q_{w2} , Q_f — величина суммарных (конвекция и излучение) тепловых потоков, поступающих в потолок, стены (ниже и выше нижней границы припотолочного слоя) и пол, Вт

ной вентиляции отключены и в зоне припотолочного слоя нет открытых проемов, находится из решения обыкновенного дифференциального уравнения, полученного из закона сохранения энергии для припотолочного слоя:

$$\frac{dz_k}{dt} = -\frac{G_k}{\rho_0 F_{\Pi}} - \frac{Q_{\text{пож}}(1 - \varphi)}{c_p \rho_0 T_0 F_{\Pi}}, \quad (1)$$

где z_k — высота нижней границы припотолочного слоя, м;
 τ — время, с;
 G_k — массовый расход газовой смеси, поступающей из конвективной колонки в припотолочную зону, кг/с;
 ρ_0 — начальная плотность наружного воздуха в помещении, кг/м³;
 F_{Π} — площадь потолка, м²;
 $Q_{\text{пож}}$ — тепловая мощность, выделяющаяся в очаге горения, Вт;

φ — коэффициент теплотерь; $\varphi = (Q_{w1} + Q_{w2} + Q_c + Q_f + Q_{пр})/Q_{\text{пож}}$ (см. рис. 1);

c_p — удельная изобарная теплоемкость газа (принимается, что удельные изобарные теплоемкости воздуха и смеси продуктов горения и воздуха равны [1]), Дж/(кг·К);

T_0 — начальная температура воздуха в помещении, К.

Начальное условие (при $\tau = 0$) имеет вид: $z_k = h$ (где h — высота помещения, м).

Уравнение (1) решается численным методом Рунге–Кутты 4-го порядка точности.

Среднеобъемные температура T_2 (К) и плотность ρ_2 (кг/м³) в припотолочном слое находятся из решения дифференциального уравнения закона сохранения массы припотолочного слоя и уравнения состояния идеального газа соответственно:

$$\frac{d(\rho_2 V_2)}{dt} = G_k; \quad (2)$$

$$p_2 \approx p_0 = \rho_2 R T_2, \quad (3)$$

где V_2 — объем зоны припотолочного слоя, м³;

p_2 — давление в зоне припотолочного слоя, Па;

p_0 — давление наружного воздуха при $z = 0$, Па;

R — газовая постоянная (принимается, что газовые постоянные воздуха и смеси продуктов горения и воздуха равны [1]), Дж/(кг·К).

Схема теплового баланса в элементарном объеме конвективной колонки представлена на рис. 2.

Получим уравнение для расчета распределения массового расхода смеси продуктов газификации, горения и воздуха по высоте конвективной колонки с использованием уравнений законов сохранения

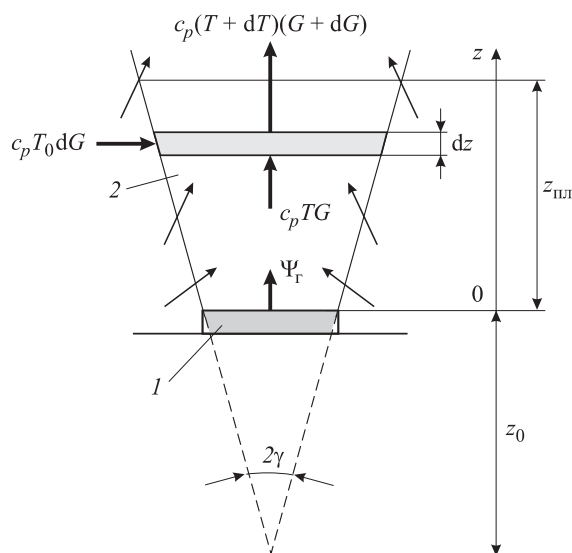


Рис. 2. Схема тепломассообмена в элементарном объеме конвективной колонки: 1 — горючий материал; 2 — область тепловыделения; z_0 — расстояние от фиктивного источника тепла до поверхности горючего материала, м

энергии и импульса в “квазиодномерном” приближении.

Уравнение закона сохранения энергии смеси газов и дыма, находящейся внутри контрольного объема высотой dz конвективной колонки, внутри области тепловыделения (пламенной зоны) согласно рис. 2 имеет вид:

$$c_p(G + dG)(T + dT) = c_p GT + c_p T_0 dG + \frac{Q_{\text{пож}}(1 - \chi)}{z_{\text{пл}}} dz, \quad (4)$$

где G — массовый расход газов через поперечное сечение колонки, отстоящее по высоте от поверхности горения на расстояние z , кг/с;

T — средняя температура в сечении конвективной колонки, К;

χ — доля от выделившейся в очаге горения тепловой мощности, приходящаяся на тепловой поток, поступающий в ограждения из зоны конвективной колонки;

$z_{\text{пл}}$ — высота пламенной зоны, м.

При этом при выводе уравнения (4) принимаем, что мощность тепловыделения распределена равномерно от поверхности горючего материала до верхней границы пламенной зоны.

Уравнение закона сохранения импульса для смеси газов и дыма, находящейся внутри контрольного объема высотой dz конвективной колонки, согласно рис. 2 при условии пренебрежения количеством движения воздуха, поступающего в конвективную колонку, по сравнению с количеством движения основного потока смеси газов имеет вид:

$$d(\rho w_z^2)/dz = -dp/dz - \rho g, \quad (5)$$

где ρ — средняя плотность смеси газов в поперечном сечении колонки, кг/м³;

w_z — составляющая по вертикальной оси z средней скорости газовой смеси и дыма в поперечном сечении колонки, м/с;

z — координата поперечного сечения колонки, отсчитываемая от поверхности горения, м;

p — статическое давление в поперечном сечении колонки, Па;

g — ускорение свободного падения, м/с².

Интегрируя совместно уравнения (4) и (5) по высоте от поверхности горючего материала ($z = 0$) до текущей координаты z , получаем окончательный вид дифференциального уравнения для расчета массового расхода через поперечное сечение колонки:

$$\frac{dG}{dz} = \frac{Bz(r + z \operatorname{tg} \gamma)^4}{T_0 A G (G T_0 + Bz)} + \frac{2G \operatorname{tg} \gamma}{r + z \operatorname{tg} \gamma} - \frac{B}{T_0} \left(1 - \frac{2z \operatorname{tg} \gamma}{r + z \operatorname{tg} \gamma} \right), \quad (6)$$

где B — размерный параметр, кг·К/(м·с);

$$B = \frac{Q_{\text{пож}}(1 - \chi)}{z_{\text{пл}} c_p};$$

r — радиус поверхности горючего материала, м;

γ — угол полуоткрытия конвективной колонки, рад;

A — размерный параметр, с²·м⁵/(кг²·К);

$$A = T_0 R^2 / (g p_0^2 \pi^2).$$

Средняя температура в сечении конвективной колонки определяется по формуле [1]:

$$T = T_0 + \frac{Q_{\text{пож}}(1 - \chi)}{c_p G}. \quad (7)$$

Угол полуоткрытия конвективной колонки γ может зависеть как от высоты сечения колонки, так и от мощности тепловыделения в очаге горения:

$$\gamma = f(z, Q_{\text{пож}}). \quad (8)$$

Таким образом, уравнения (6)–(8) позволяют учесть при расчете форму конвективной колонки.

Экспериментальная установка и методика проведения эксперимента

С целью изучения процесса распространения смеси продуктов горения, воздуха и дыма при пожаре проведены экспериментальные исследования на макете помещения высотой 1,5 м, с поперечным сечением 0,7×0,7 м (рис. 3).

Стенки замкнутого (условно герметичного) прямоугольного экспериментального объема выполнены из прозрачного материала с произвольно регулируемым по высоте потолком, что позволяет проводить фотосъемку распространения продуктов горения по объему помещения.

Процесс распространения дыма фиксировался с помощью стационарных фотокамер через равные промежутки времени — 2 с. Изменение массы горючего материала регистрировалось с помощью электронных весов.

При проведении эксперимента горючий материал (фенолформальдегидная смола с наполнителем из древесной муки) располагали в центре, углу помещения (стеснение двумя поверхностями), а также около стены по ее середине (стеснение одной поверхностью).

Во время экспериментальных исследований фиксировали:

- изменение угла полуоткрытия конвективной колонки γ (см. рис. 1);
- время опускания дыма до низа помещения;
- изменение массы горючего материала при сгорании.

Высоту потолка h принимали равной 1,5 и 1,0 м.

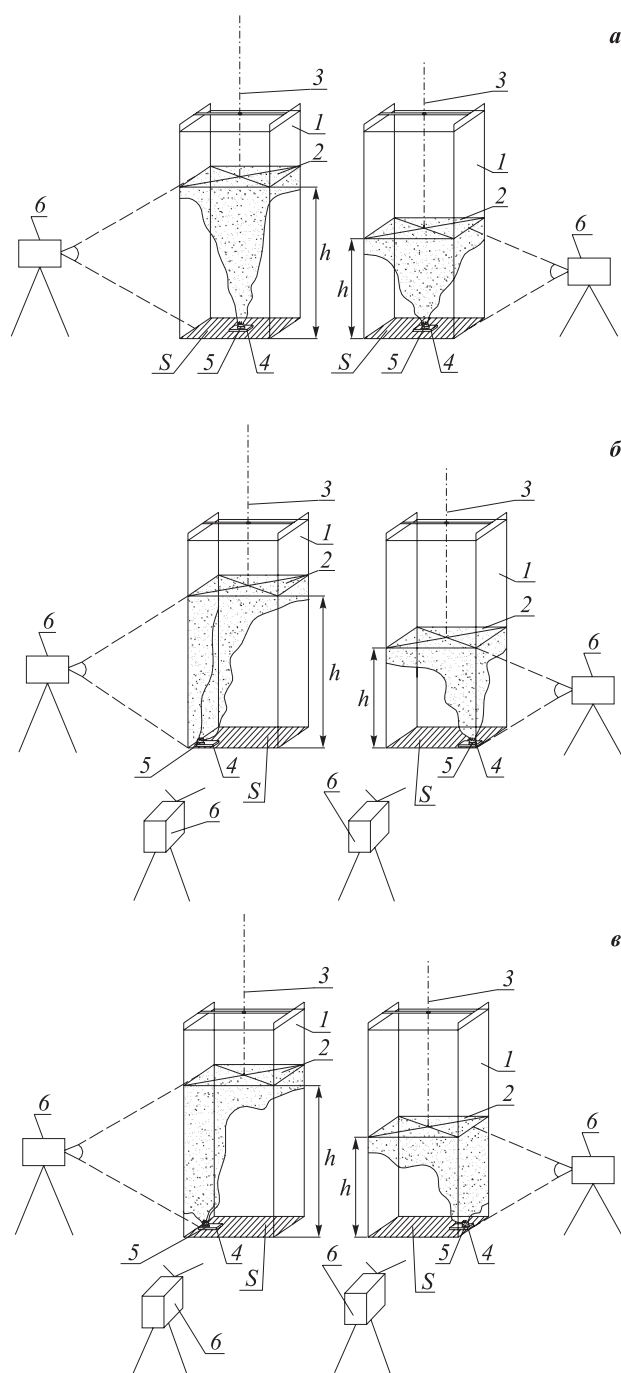


Рис. 3. Общий вид экспериментальной установки с расположением горючего материала в центре (а), в углу (б) и у стены (в) на полу помещения; 1 — макет помещения из прозрачного материала; 2 — макет перемещающегося по вертикали потолка помещения; 3 — механизм перемещения; 4 — весы; 5 — горючий материал; 6 — фотокамера

Результаты экспериментов и их анализ

В ходе проведения эксперимента отмечено различие в характере распространения смеси продуктов горения, воздуха и дыма в зависимости от местоположения очага возгорания. Например, в случае стесненного расположения очага (в углу или у стены) наблюдается более быстрое опускание дыма на



Рис. 4. Характерные фотографии течения внутри экспериментального объема при расположении горючего материала в центре пола помещения: а — $h = 1,5$ м; б — $h = 1,0$ м



Рис. 5. Характерные фотографии течения внутри экспериментального объема при расположении горючего материала в углу пола помещения: а — $h = 1,5$ м; б — $h = 1,0$ м

противоположной относительно очага возгорания стороне.

На снимках (рис. 4–6), иллюстрирующих течения в экспериментальном объеме на начальной стадии пожара, достаточно четко видно разделение областей объема помещения в соответствии с рис. 1. Условные границы конвективной колонки на рис. 4–6 выделены прямыми линиями.

Из рис. 4–6 видно, что при любом из рассматриваемых местоположений горючего материала граница конвективной колонки распространяется вверх



Рис. 6. Характерные фотографии течения внутри экспериментального объема при расположении горящего материала у стены ($h = 1,5$ м)

приблизительно до середины высоты помещения сначала с постоянным углом полураскрытия, а затем этот угол резко изменяется к нулевому значению.

Экспериментальные данные подтверждают результаты теоретических исследований, представленных в работах [2–4]. Например, из рис. 7 [3] видно, что для помещения размером $30 \times 24 \times 26,3$ м при тепловой мощности $Q_{\text{пож}} = 1,3$ МВт использование приближения неограниченной свободной конвекции (кривые 1 и 2) корректно только для нижней части конвективной колонки (при $\bar{z} < 0,4$, где $\bar{z}$ — относительная координата по высоте поперечного сечения колонки, м; $\bar{z} = z/h$), в то время как уравнение (6) (кривая 3) отражает влияние на форму колонки ограждающих конструкций.

В связи с этим использование дифференциального уравнения (6) для расчета массового расхода через поперечное сечение колонки физически более

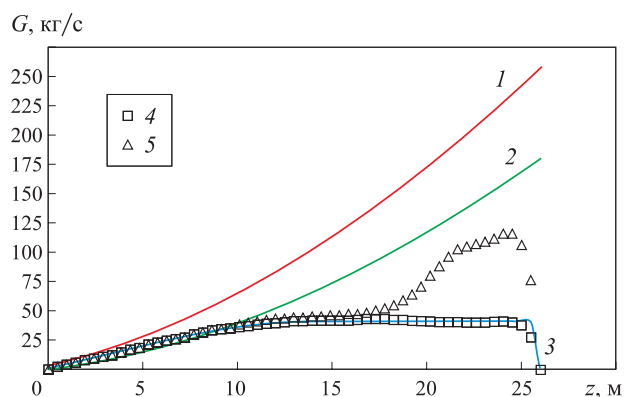


Рис. 7. Распределение массовых расходов по высоте атриума [3], рассчитанное по формулам (1–3) и полученное в численном эксперименте с использованием трехмерной полевой модели [5] (4, 5): 1 — по формуле из [1]; 2 — по формуле (9) из [6]; 3 — по уравнению (6); 4 — по поперечному сечению конвективной колонки; 5 — по всему поперечному сечению помещения, параллельному полу

обоснованно, чем применение формул, основанных на закономерностях распространения неограниченной свободно-конвективной струи (в частности, в работах [1, 6–9]), например формулы

$$G = 0,071 \left(\frac{Q_{\text{пож}} (1 - \chi)}{1000} \right)^{1/3} z^{5/3} + 1,8 \cdot 10^{-6} Q_{\text{пож}} (1 - \chi). \quad (9)$$

Так, например, отношение $\bar{G}$ расхода G_h (кг/с) на высоте потолка помещения к расходу G_c (кг/с) на высоте z_c (начиная с которой постоянный угол полураскрытия колонки начинает уменьшаться, стремясь к 0), которое определяется с использованием формулы (9), составляет 1,97 при $z = 1,5$ м, $z_c = 1,0$ м, $\chi = 0,3$, $Q_{\text{пож}} = 0,001$ МВт или $Q_{\text{пож}} = 1,0$ МВт.

При решении уравнения (6) для этих же исходных данных $\bar{G} = 1$, так как $G_h = G_c$ (см. рис. 7, кривая 3).

Таким образом, расход G_h , полученный по формуле (9), в 1,97 раз больше, чем расход G_h , полученный из решения уравнения (6).

Полученный в рассмотренном примере результат означает, что в соответствии с уравнением (7) приращение средней по сечению конвективной колонки вблизи потолка температуры ΔT ($\Delta T = T - T_0 = Q_{\text{пож}} (1 - \chi) / (c_p G)$) при использовании традиционных формул для расчета расхода, например из работ [1, 6–9], примерно в 2 раза меньше, чем с применением уравнения (6).

Таким образом, использование приближения неограниченной свободной конвекции при пожаре в помещении корректно только для нижней части конвективной колонки и приводит к существенному занижению температуры припотолочного слоя на начальной стадии пожара, когда нижняя граница вышеуказанного слоя находится в верхней части помещения.

Выводы

Предложенная модифицированная зонная модель расчета термогазодинамики пожара в помещении учитывает форму конвективной колонки, образующейся над источником горения.

Разработанная экспериментальная мелкомасштабная установка позволяет исследовать форму конвективной колонки с учетом расположения горящего материала относительно стен экспериментального объема с регулируемой высотой его перекрытия.

Эксперименты показали, что форма конвективной колонки в помещении существенно отличается от соответствующей формы свободно-конвективной струи в неограниченном пространстве.

Неучет формы колонки, например, при расчете системы дымоудаления с механическим побуждением приводит к существенному завышению требу-

емого расхода вентилятора. Это может вызвать возникновение явления “plugholing”, когда в дымоудаляющее отверстие поступает холодный воздух из-под припотолочного слоя дыма и расход удаляемого дыма значительно уменьшается (в 2 раза в примере работы [10]). В связи с этим известные формулы для расчета массовых расходов смеси газов по высоте

конвективной колонки, приведенные, в частности, в работах [1, 6–9], требуют корректировки.

При дальнейших исследованиях планируется изучить влияние различных технических решений приточно-вытяжной и противодымной систем вентиляции на термогазодинамическую картину пожара в предложенной экспериментальной установке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. — М. : Академия ГПС МВД России, 2000. — 118 с.
2. Пузач С. В., Абакумов Е. С. Модифицированная зонная модель расчета термогазодинамики пожара в атриуме // Инженерно-физический журнал. — 2007. — Т. 80, № 2. — С. 84–89.
3. Puzach S. V., Nguyen Tkhan 'Xai. Features of calculating the descent velocity of the lower boundary of the near-ceiling layer in a fire in an atrium // *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. — 2010. — Vol. 83, No. 5. — P. 942–949. DOI: 10.1007/s10891-010-0418-z.
4. Пузач С. В., Абакумов Е. С. Некоторые особенности термогазодинамической картины пожара в высоких помещениях // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 2. — С. 28–33.
5. Пузач С. В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2005. — 336 с.
6. NFPA 92B. 1990 NFPA Technical Committee Reports — Technical Guide for Smoke Management Systems in Malls, Atria and Large Areas. — National Fire Protection Association, Quincy, MA, 1990.
7. Loughheed G. D. Basic principles of smoke management for atriums // *Construction Technology Update*. — 2000. — No. 47. — P. 1–6.
8. Saxon R. Atrium buildings: development and design. — London : The Architectural Press, 1983. — 215 p.
9. Tanaka T., Yamada S. BRI2002: Two layer zone smoke transport model. Chapter 1 — Outline of the model // *Science and Technology*. — 2004. — Vol. 23, No. 1. — P. 1–44. DOI: 10.3210/fst.23.1.
10. Пузач С. В., До Тхань Тунг, Нгуен Тхань Хай. Снижение эффективности системы дымоудаления с искусственным побуждением при возникновении “поддува” // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 5. — С. 54–61.

Материал поступил в редакцию 26 октября 2015 г.

Для цитирования: Пузач С. В., Колодяжный С. А., Колосова Н. В. Модифицированная зонная модель расчета термогазодинамики пожара в помещении, учитывающая форму конвективной колонки // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 12. — С. 33–39. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.12.33-39.

English

MODIFIED ZONAL MODEL FOR CALCULATING OF THE FIRE GAS DYNAMICS IN THE ROOM TAKING INTO ACCOUNT THE FORM OF CONVECTIVE COLUMN

PUZACH S. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, the Honoured Scientist of the Russian Federation, Head of Thermal Physics and Hydraulic Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: puzachsv@mail.ru)

KOLODYAZHNYI S. A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Rector of Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering (20-letiya Oktyabrya St., 84, Voronezh, 394006, Russian Federation; e-mail address: rector@vgasu.vrn.ru)

KOLOSOVA N. V., Senior Teacher of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering (20-letiya Oktyabrya St., 84, Voronezh, 394006, Russian Federation; e-mail address: kolosn@ya.ru)

ABSTRACT

It is developed a modified zonal model for calculating the gas dynamics of fire in the room, taking into account the effect of walling the house in the form of convective column formed above a source of combustion. Contrast to the known zonal models is to use to calculate the mass flow rate through the cross section of the column suggested a one-dimensional differential equation.

An experimental installation with dimensions $1,5 \times 0,7 \times 0,7$ m is created to study the dynamics of fire hazards in small-scale room.

Results of experiments on the study of the shape and angle of convective column are presented. In the experiments, a combustible material (phenol-formaldehyde resin filled with wood flour) was located in the center, in the corner of the room (the constraint of two surfaces), and also near the wall in the middle of it (tightness one surface).

Visualization of the flow showed that at all locations of combustible material boundary of a convective column is first propagated upward with a constant angle of disclosure about half the height of the room, and then the above-mentioned angle changes only slightly. There are obtained experimental data confirm the theoretical results, using the proposed equation for calculating the mass flow through the cross-section of a convective column.

It is shown that the use of approach of unlimited free-convective jets in the zonal models to describe the parameters of the convective column does not reflect the real thermodynamic picture of the fire development in the room.

Keywords: fire; heat and mass transfer; zonal mathematical model; convection column; free-convective jet.

REFERENCES

1. Koshmarov Yu. A. *Prognozirovaniye opasnykh faktorov pozhara v pomeshchenii* [Forecasting of fire hazards in the case of indoor fire]. Moscow, State Fire Academy of Ministry of Interior of Russia Publ., 2000. 118 p.
2. Puzach S. V., Abakumov E. S. Modified zonal model for calculating the thermodynamics of the gas in a fire within an atrium. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2007, vol. 80, no. 2, pp. 298–303. DOI: 10.1007/s10891-007-0039-3.
3. Puzach S. V., Nguen Tkhan' Xai. Features of calculating the descent velocity of the lower boundary of the near-ceiling layer in a fire in an atrium. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2010, vol. 83, no. 5, pp. 942–949. DOI: 10.1007/s10891-010-0418-z.
4. Puzach S. V., Abakumov E. S. Nekotoryye osobennosti termogazodinamicheskoy kartiny pozhara v vysokikh pomeshcheniyakh [Some characteristics of thermogas dynamic fire pattern in high premises]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 2, pp. 28–33.
5. Puzach S. V. *Metody rascheta teplomassoobmena pri pozhare v pomeshchenii i ikh primeneniye pri reshenii prakticheskikh zadach pozharovzryvbezopasnosti* [Methods for calculating the heat and mass transfer in a fire at the premises and their application in solving practical problems of fire safety]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2005. 336 p.
6. *NFPA 92B. 1990 NFPA Technical Committee Reports — Technical Guide for Smoke Management Systems in Malls, Atria and Large Areas*. National Fire Protection Association, Quincy, MA, 1990.
7. Loughheed G. D. Basic Principles of Smoke Management for Atriums. *Construction Technology Update*, 2000, no. 47, pp. 1–6.
8. Saxon R. *Atrium buildings: development and design*. London, The Architectural Press, 1983. 215 p.
9. Tanaka T., Yamada S. BRI2002: Two layer zone smoke transport model. Chapter 1 — Outline of the model. *Science and Technology*, 2004, vol. 23, no. 1, pp. 1–44. DOI: 10.3210/fst.23.1.
10. Puzach S. V., Do Thanh Tung, Nguyen Thanh Hai. Snizheniye effektivnosti sistemy dymoudaleniya s iskusstvennym pobuzhdeniyem pri vozniknovenii “podduva” [Reducing of efficiency of smoke removal system with artificial impulse during “plugholing”]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 5, pp. 54–61.

For citation: Puzach S. V., Kolodyazhnyy S. A., Kolosova N. V. Modifitsirovannaya zonnaya model rascheta termogazodinamiki pozhara v pomeshchenii, uchityvayushchaya formu konvektivnoy kolonki [Modified zonal model for calculating of the fire gas dynamics in the room taking into account the form of convective column]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 12, pp. 33–39. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.12.33-39.