

С.В. Пузач¹, С.А. Колодяжный², Н.В. Колосова²

(¹Академия ГПС МЧС России, ²Воронежский государственный архитектурно-строительный университет; e-mail: puzachsv@mail.ru)

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ФОРМЫ КОНВЕКТИВНОЙ КОЛОНКИ НАД ОЧАГОМ ПОЖАРА В ПОМЕЩЕНИИ

Разработана экспериментальная установка для изучения динамики опасных факторов пожара в помещении. Представлены результаты экспериментов по исследованию формы и угла раскрытия конвективной колонки.

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

S.V. Puzach, S.A. Kolodyazhny, N.V. Kolosova

TO DEFINITION OF A FORM OF A CONVECTIVE COLUMN ABOVE THE SOURCE OF FIRE IN THE ROOM

It is designed experimental installation to study the dynamics of dangerous factors of fire in the room. Results of experiments on the study of the shape and angle of convective column are presented.

Key words: fire, zonal mathematical model, convection column, free-convective jet.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 5 октября 2015 г.

Вопрос точности и надёжности метода расчёта 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, величиной массового расхода газовой смеси, поступающей из конвективной колонки, образующейся над источником горения, в вышеуказанный слой.

При использовании зонной математической модели для оценки термодинамики пожара в качестве основного допущения принимается, что конвективная колонка над источником горения является неограниченной свободно-конвективной струей [1]. Однако влияние перекрытия и стен помещения, как показано в работах [2-5], существенно и требует проведения дальнейших исследований. Поэтому уточнение зонной модели, с учётом формы конвективной колонки, образующейся над источником горения и подверженной влиянию ограждающих конструкций помещения, является актуальной научной и практической задачей.

В работах [2-5] исследование угла раскрытия и формы конвективной колонки выполнено на основе проведения численных экспериментов с использованием методов расчёта термодинамики пожара [6, 7].

В данной статье теоретические расчёты подтверждаются результатами натуральных экспериментов.

Принципиальная схема тепломассообмена в помещении для трёхзонной математической модели имеет вид, показанный на рис. 1. Стрелками показаны направления течения газовой смеси и тепловые потоки.

Обозначения на рис. 1 следующие: Ψ_r – массовая скорость газификации горючего материала, $кг/с$; G_a , G_m – массовые расходы поступающего воздуха и вытекающих наружу газов при естественном газообмене через открытые проёмы, $кг/с$; W_m , W_a – объёмные расходы системы дымоудаления и приточной вентиляции, $м^3/с$; $Q_{пр}$ – тепловой поток, излучаемый через открытые проёмы наружу, $Вт$; Q_c , Q_{w1} , Q_{w2} , Q_f – суммарные (конвекция и излучение) тепловые потоки, поступающие в потолок, стены (ниже и выше нижней границы припотолочного слоя) и пол), $Вт$; γ – угол полураскрытия конвективной колонки, $рад$.

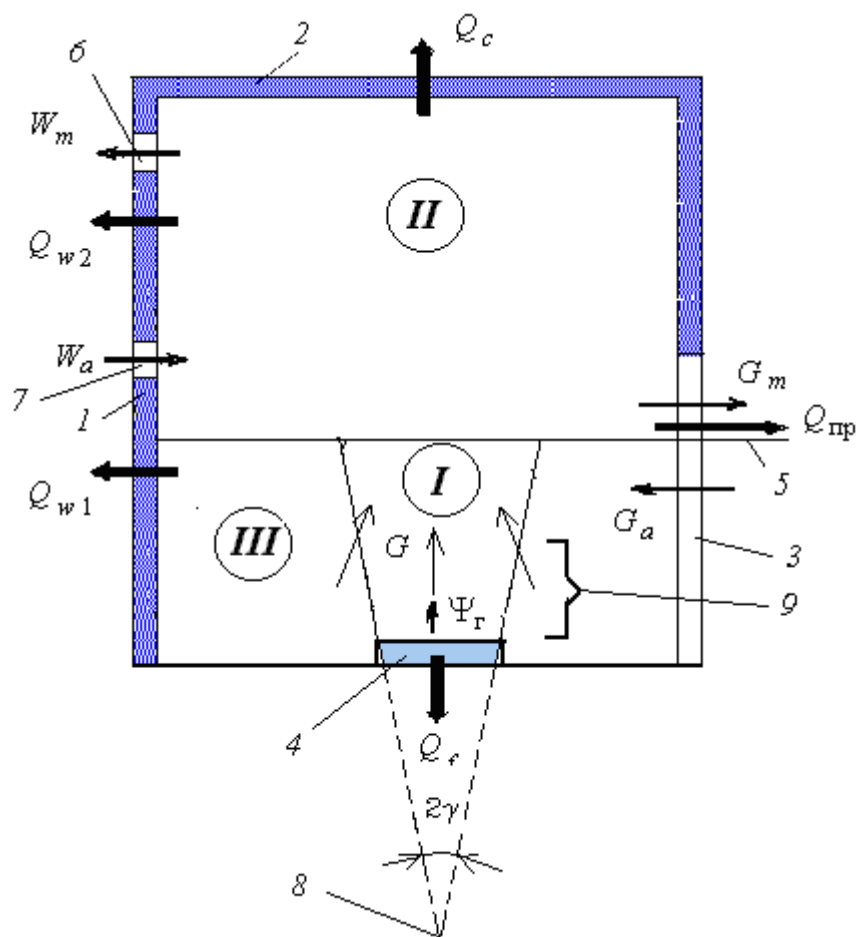


Рис. 1. Принципиальная схема тепломассообмена в помещении:
 1 – стены; 2 – перекрытие; 3 – открытый проем; 4 – горючий материал;
 5 – нейтральная плоскость (нижняя граница припотолочного слоя);
 6 – система дымоудаления; 7 – система приточной вентиляции;
 8 – точечный "фиктивный" источник теплоты; 9 – высота пламенной зоны;
 I – зона конвективной колонки; II – зона нагретого задымленного припотолочного слоя; III – зона холодного воздуха

Экспериментальная установка и методика проведения экспериментов

С целью изучения процесса распространения смеси продуктов горения, воздуха и дыма при пожаре проведены экспериментальные исследования на макете помещения, представленном на рис. 2.

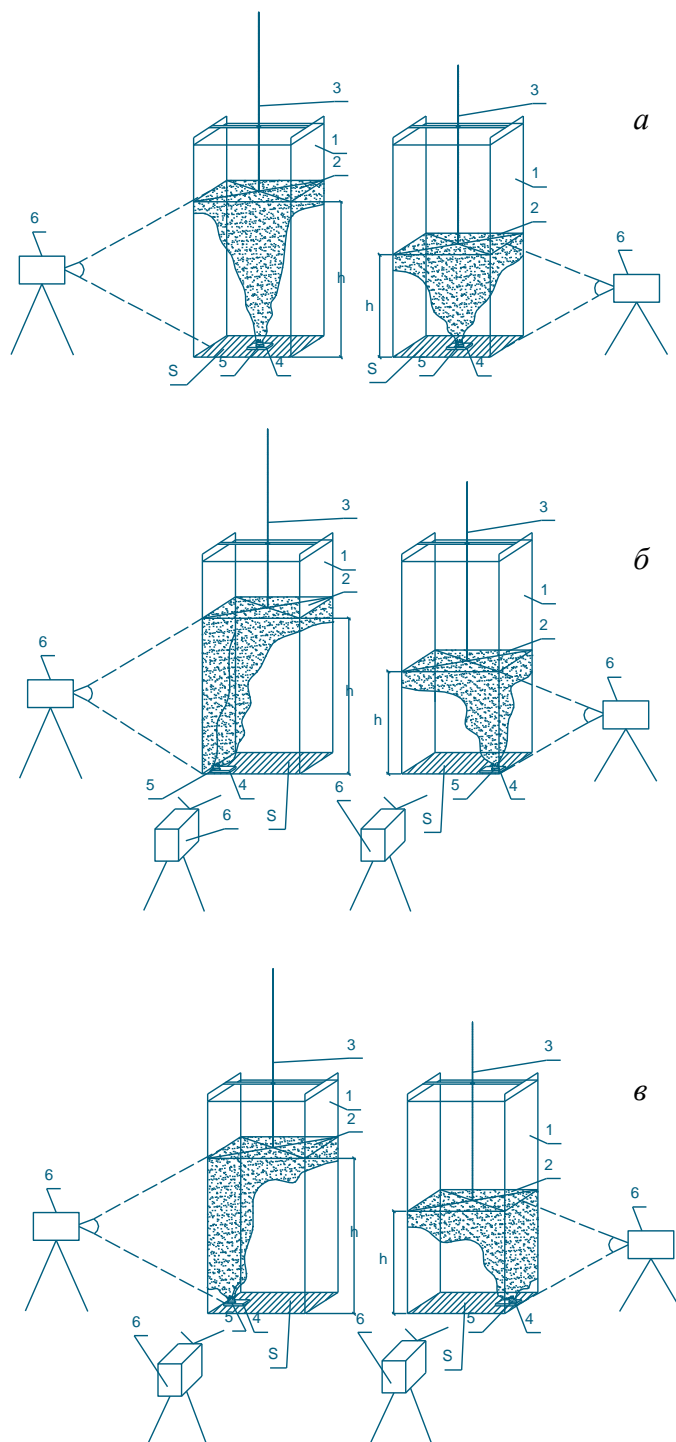


Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки с расположением горючего материала в центре (а), в углу (б) и у стены (в) пола помещения: 1 – макет помещения из прозрачного материала; 2 – макет перемещающегося по вертикали потолка помещения; 3 – механизм перемещения; 4 – весы; 5 – горючий материал; 6 –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

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

Габаритные размеры макета: поперечное сечение $0,7 \times 0,7$ м, высота 1,5 м.

Процесс распространения дыма фиксировался стационарными фотокамерами через равные промежутки времени в 2 с. Изменение веса горючего материала фиксировалось электронными весами.

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

Во время экспериментальных исследований фиксировались следующие параметры:

- изменения угла полураскрытия конвективной колонки (γ);
- время опускания дыма до низа помещения;
- изменение массы горючего материала при сгорании.

Высота потолка принимала два значения: $h = 1,5$ м и $h = 1,0$ м.

Результаты экспериментов и их анализ

В ходе проведения эксперимента отмечено различие в характере распространения смеси продуктов горения, воздуха и дыма в зависимости от месторасположения очага возгорания. Например, в случае стеснённого расположения очага (в углу или у стены) наблюдается более быстрое *опускание дыма (течение)* на противоположной к очагу возгорания стороне.

Характерные фотографии визуализации этого течения в экспериментальном объёме на начальной стадии пожара, когда достаточно чётко разделены различные области объёма помещения в соответствии с рис. 1, представлены на рис. 3-5, где видно, что при всех расположениях горючего материала граница конвективной колонки сначала распространяется вверх с постоянным углом полураскрытия приблизительно до середины высоты помещения, а затем угол γ уменьшается до нуля.

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



Рис. 3. Характерные фотографии течения внутри экспериментального объёма при расположении горючего материала в центре пола:
 $a - h=1,5 \text{ м}$; $b - h=1,0 \text{ м}$; линии – условные границы конвективной колонки



Рис. 4. Характерные фотографии течения внутри экспериментального объёма при расположении горючего материала в углу пола:
 $a - h=1,5 \text{ м}$; $b - h=1,0 \text{ м}$; линии – условные границы конвективной колонки



Рис. 5. Характерные фотографии течения внутри экспериментального объёма при расположении горючего материала у стены ($h=1,5$ м); линии – условные границы конвективной колонки

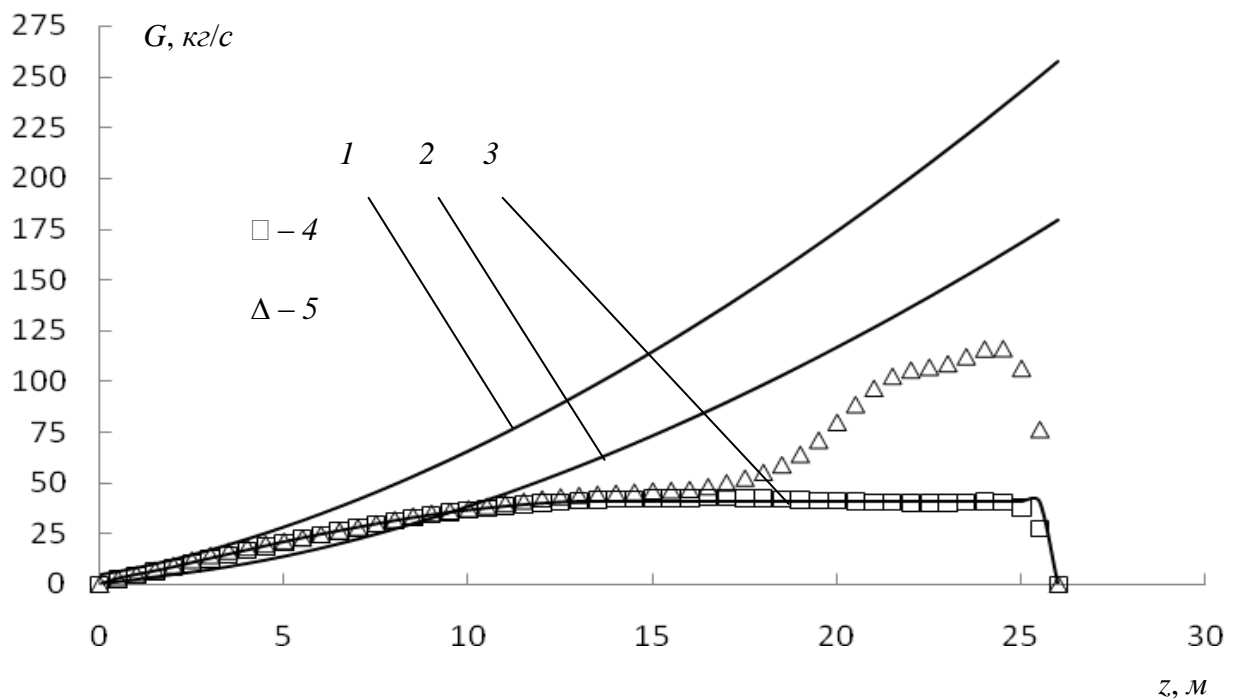


Рис. 6. Распределения массовых расходов по высоте атриума [4]:
 1 – формула работы [1]; 2 – формула работы [8]; 3 – уравнение работы [4];
 численный эксперимент с использованием трёхмерной полевой модели:
 4 – по поперечному сечению конвективной колонки;
 5 – по всему поперечному сечению помещения, параллельного полу

Поэтому использование дифференциального уравнения работы [4] для расчёта массового расхода через поперечное сечение колонки физически более обосновано, чем применение аналогичных уравнений, основанных на закономерностях распространения неограниченной свободно-конвективной струи (в частности, в работах [1, 8]).

Отношение расхода (G_h , кг/с) на высоте потолка помещения к расходу (G_c , кг/с) на высоте, начиная с которой колонка с постоянным углом полуоткрытия переходит к $\gamma = 0$, при использовании формулы из работы [8] ($G = 0,071(Q_{\text{пож}}(1-\chi)/1000)^{1/3} z^{5/3} + 1,8 \cdot 10^{-6} Q_{\text{пож}}(1-\chi)$) равно, например, 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:

$$\bar{G} = 1,97;$$

где z_c – высота, на которой колонка с постоянным углом γ переходит к $\gamma=0$, м;
 z – координата поперечного сечения колонки, отсчитываемая от поверхности горения, м;

$$\bar{G} = G_h / G_c;$$

$Q_{\text{пож}}$ – тепловая мощность, выделяющаяся в очаге горения, Вт;

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

Полученный результат в рассмотренном примере означает, что приращение средней по сечению температуры конвективной колонки вблизи потолка при использовании формул, например, работ [1, 8] меньше примерно в 2 раза, чем с применением уравнения работы [4], учитывающего влияние ограждающих конструкций помещения.

Таким образом, использование приближения неограниченной свободной конвекции при пожаре в помещении корректно только в 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

Разработанная экспериментальная мелкомасштабная установка позволяет исследовать форму конвективной колонки с учётом расположения горючего материала относительно стен экспериментального объёма с регулируемой высотой его перекрытия.

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

Неучёт формы колонки, например, при расчёте системы дымоудаления с механическим побуждением приводит к существенному завышению требуемого расхода вентилятора. Это может вызвать возникновение явления "plug-holing", когда в дымоудаляющее отверстие поступает холодный воздух из-под припотолочного слоя дыма и расход удаляемого дыма значительно (в 2 раза в примере работы [9]) уменьшается. Поэтому известные формулы для расчёта массовых расходов смеси газов по высоте конвективной колонки, приведённые в частности в работах [1, 8], требуют корректировки.

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

Литература

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 расчёта термогазодинамики пожара в атриуме // Инженерно-физический журнал, 2007. Т. 80. № 2. С. 84-89.
3. **Пузач С.В., Нгуен Т.Х.** Особенности расчёта скорости опускания нижней границы припотолочного газового слоя при пожаре в атриуме // Инженерно-физический журнал, 2010. Т. 83. № 5. С. 885-891.
4. **Пузач С.В., Нгуен Т.Х.** О достоверности применения эмпирических формул расчёта массового расхода системы дымоудаления при пожаре в атриуме // Пожаровзрывобезопасность, 2009. Т. 18. № 9. С. 35-43.
5. **Пузач С.В., Абакумов Е.С.** Некоторые особенности термогазодинамической картины пожара в высоких помещениях // Пожаровзрывобезопасность, 2010. Т. 19. № 2. С. 28-33.
6. **Пузач С.В.** Методы расчёта тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. 336 с.
7. **Пузач С.В.** Интегральные, зонные и полевые методы расчёта динамики опасных факторов пожара. Свидетельство об официальной регистрации программы № 2006614238 в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам от 8.12.2006 г.
8. NFPA 92B. Standard for Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Spaces. 2005.
9. **Пузач С.В., До Т.Т.** Снижение эффективности системы дымоудаления с искусственным побуждением при возникновении "поддува" // Пожаровзрывобезопасность, 2015. Т. 24. № 5. С. 54-61.