

**В. М. ЕСИН**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры пожарной безопасности в строительстве, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: vm-yesin@mail.ru)

**С. П. КАЛМЫКОВ**, канд. техн. наук, преподаватель кафедры пожарной безопасности в строительстве, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: k\_sp@bk.ru)

УДК 614.841

## К ВОПРОСУ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ, УДАЛЯЕМЫХ ИЗ КОРИДОРОВ ЗДАНИЙ

Проведена проверка предположения о неполном участии в теплообмене ограждающих конструкций коридора при пожаре в целях исследования влияния расположения дымовых клапанов относительно дверных проемов помещений очага пожара на температуру дымовых газов, удаляемых из коридора, и определения наилучшего с точки зрения работы систем вытяжной противодымной вентиляции сценария пожара. Показано, что значения температуры, получаемые по существующим расчетным методикам для полной длины коридора, являются существенно заниженными по сравнению с результатами численных экспериментов, полученными в статье, что может привести к выбору вентилятора системы противодымной защиты с недостаточной производительностью. В результате расчетов выявлен наилучший с точки зрения работы систем вытяжной противодымной вентиляции сценарий пожара – вариант, при котором температура продуктов горения, удаляемых из коридора и подходящих к дымовому (противопожарному) клапану, максимальная (т. е. когда дымовой клапан находится на минимальном расстоянии от двери помещения с очагом пожара). Отмечено, что при проведении практических расчетов следует учитывать минимальное расстояние от дверного проема помещения очага пожара (помещения, где возможно возникновение пожара) до дымового (противопожарного) клапана системы вытяжной противодымной вентиляции.

**Ключевые слова:** противодымная вентиляция; противодымная защита; противопожарная защита; температура продуктов горения; дымовой клапан; теплообмен.

**DOI:** 10.18322/PVB.2016.25.01.47-53

Одной из систем активной противопожарной защиты зданий является система вытяжной противодымной вентиляции, обеспечивающая безопасную эвакуацию людей из здания при пожаре [1, 2].

Основными параметрами вентиляционного оборудования, используемого для систем вытяжной противодымной вентиляции, являются производительность и давление, которые должен развивать вентилятор. Производительность вентилятора определяется исходя из расхода продуктов горения, удаляемых из коридора на этаже пожара [3–5]. На расход продуктов горения в значительной степени влияет их плотность или температура.

С вступлением в силу СП 7.13130.2013 [6] появилось требование, согласно которому при определении расхода продуктов горения, удаляемых вытяжной противодымной вентиляцией из коридоров, принимать без расчета фиксированные значения температуры продуктов горения не допускается.

Расчет требуемых параметров систем противодымной вентиляции или совмещенных с ними систем общеобменной вентиляции следует производить в соответствии с положениями [6]. Расчеты могут

быть выполнены в соответствии с [7] или на основе других методических пособий, не противоречащих указанным требованиям, например [8].

Согласно [7] для определения усредненной температуры дымового слоя в коридоре  $T_{sm}$  (К) используется зависимость, полученная интегрированием уравнения, характеризующего изменение температуры в дымовом слое по длине коридора:

$$T_{sm} = T_r + 1,22 \frac{(T_0 - T_r) (2h_{sm} + A_c/l_c)}{l_c} \times \left[ 1 - \exp\left(\frac{-0,58l_c}{2h_{sm} + A_c/l_c}\right) \right], \quad (1)$$

где  $T_r$  — температура воздуха в коридоре, К;  
 $T_0$  — искомое значение температуры газов, поступающих из горящего помещения в коридор, К;  
 $h_{sm}$  — предельная толщина дымового слоя, м;  
 $A_c$  — площадь коридора, м<sup>2</sup>;  
 $l_c$  — длина коридора, м.

Из формулы (1) следует, что средняя температура дымового слоя в коридоре определяется температурой воздуха в коридоре до начала пожара и тем-

пературой газов, поступающих из горящего помещения и отдающих часть тепловой энергии в ограждающие конструкции коридора.

Теплопотери дымовых газов определяются площадью ограждающих конструкций, участвующих в теплообмене, которая выражается через площадь и длину коридора.

Целесообразно выдвинуть предположение о том, что дым при выходе через дверной проем из помещения очага пожара может не распространяться на всю площадь коридора, а удерживаться вблизи дымоприемного устройства системы вытяжной противодымной вентиляции, т. е. в теплообмене может участвовать часть ограждающих конструкций. При этом температура дымовых газов в коридоре из-за неполного участия в теплообмене ограждающих конструкций будет наибольшей, а значит, и расход газодымовоздушной смеси, удаляемой из коридора, на этаже пожара будет максимальным.

В рамках настоящей статьи была проведена проверка данного предположения в целях исследования влияния положения дымовых клапанов относительно дверных проемов помещений очага пожара на температуру дымовых газов, удаляемых из коридора, и выявления наилучшего с точки зрения работы систем вытяжной противодымной вентиляции сценария пожара.

Для возможного решения данного вопроса исследования были проведены серии численных экспериментов с помощью программного комплекса FDS [9] в целях определения температуры продуктов горения в коридоре при пожаре в здании для вариантов, получаемых сочетанием следующих характеристик:

а) *назначение объекта:*

- жилое;
- торговое;
- офисное;

б) *конфигурация коридора:*

- кольцевая;
- угловая;
- прямолинейная;

в) *положение дымового клапана:*

- вблизи дверного проема из горящего помещения в коридор;
- на максимальном расстоянии от дверного проема из горящего помещения в коридор;
- среднее между двумя указанными положениями.

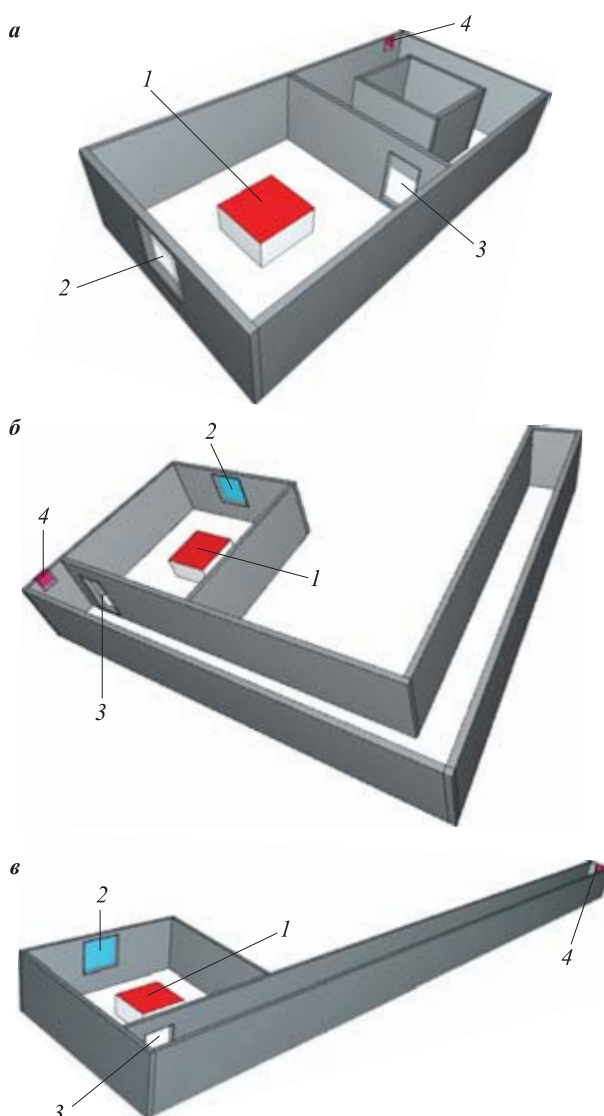
Помещение очага пожара моделировалось площадью  $50 \text{ м}^2$  и высотой 2,8 м. Очаг пожара принимался в зависимости от функционального назначения объекта по [10–12]. Помещение оснащалось оконным проемом размером  $1,6 \times 1,6$  м. Вскрытие

остекления происходило в соответствии с закономерностями, описанными в [8, 13].

С помещением сообщался коридор через дверной проем размером  $1,2 \times 2,0$  м. Ширина коридора принималась равной 1,6 м, высота — 2,8 м, а длина — в зависимости от конфигурации: для кольцевой — 20 м; угловой — 30 м; прямолинейной — 45 м.

В коридоре предполагалось наличие вытяжной противодымной вентиляции. Размеры дымового клапана принимались  $0,6 \times 0,6$  м. Массовый расход удаляемого из коридора дыма, определенный по [14], задавался в зависимости от назначения здания.

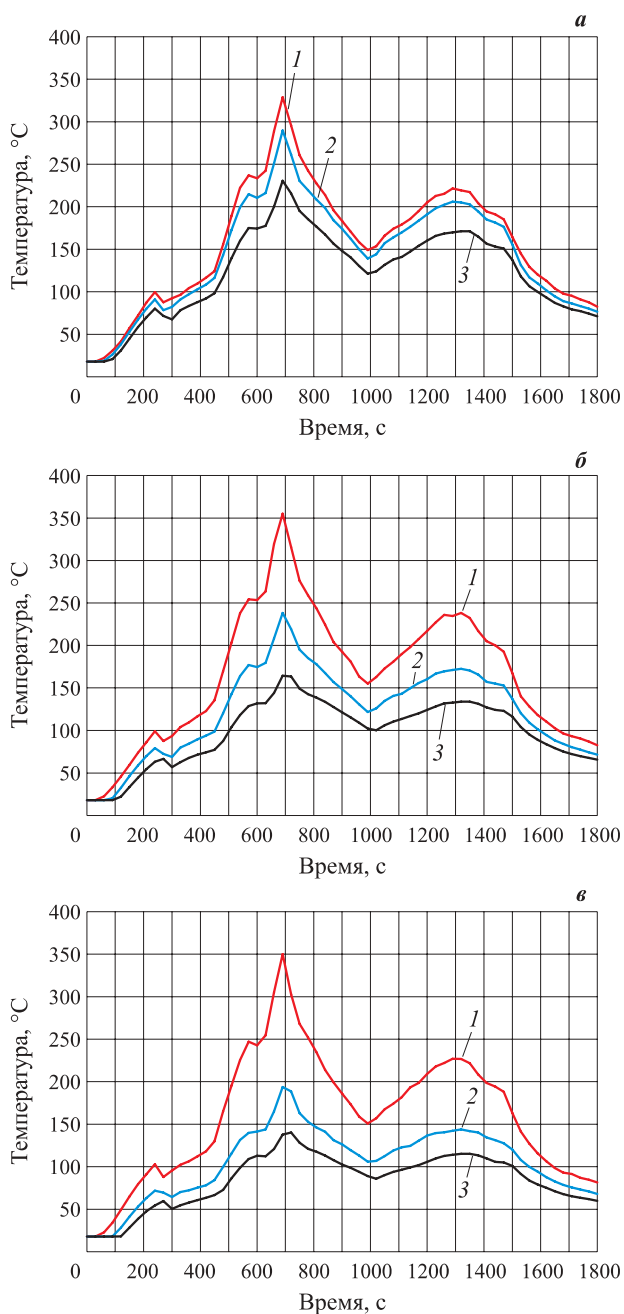
На рис. 1 представлены схемы моделируемых сценариев пожара: на рис. 1,а — в помещении, сообщающемся с коридором кольцевой конфигурации, рис. 1,б — угловой конфигурации, рис. 1,в — прямолинейной конфигурации.



**Рис. 1.** Схема моделируемого сценария пожара в помещении, сообщающемся с коридором кольцевой (а), угловой (б) и прямолинейной (в) конфигураций: 1 — очаг пожара; 2 — оконный проем; 3 — дверной проем; 4 — дымовые клапаны

Температура продуктов горения определялась в вертикальной плоскости сечения дымового клапана. При этом записывались как максимальные, так и средние значения по сечению клапана.

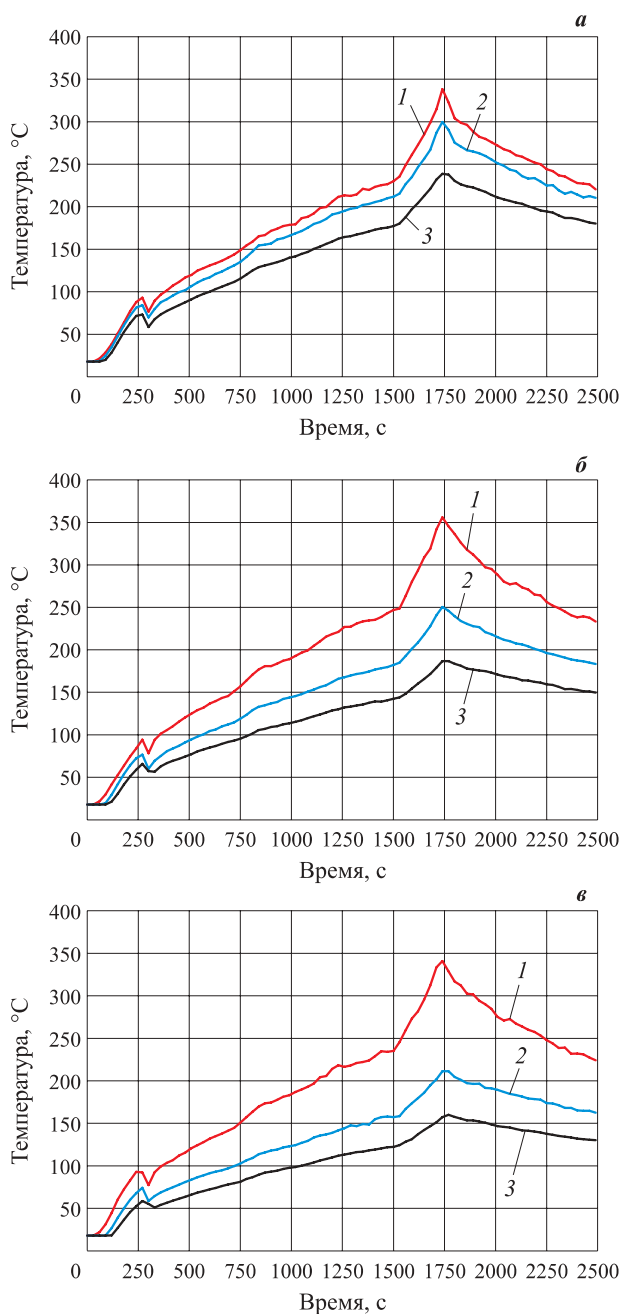
На рис. 2 показана динамика изменения максимальной температуры продуктов горения в сечении дымового клапана в коридоре кольцевой конфигурации при пожаре в жилом здании, на рис. 3 — в офисном здании.



**Рис. 2.** Динамика изменения максимальной температуры продуктов горения в сечении дымового клапана в коридоре кольцевой (а), угловой (б) и прямолинейной (в) конфигураций при пожаре в жилом здании: 1 — расположение дымового клапана вблизи дверного проема; 2 — среднее расположение дымового клапана; 3 — на максимальном расстоянии от дверного проема

Из рис. 2 и 3 видно, что с увеличением расстояния от дверного проема, ведущего из помещения очага пожара в коридор, до дымового клапана температура дыма, проходящего через клапан, снижается.

При расположении дымового клапана вблизи дверного проема из горящего помещения в коридор температура удаляемого дыма максимальна по отношению к вариантам среднего или наиболее удаленного расположения дымового клапана.



**Рис. 3.** Динамика изменения максимальной температуры продуктов горения в сечении дымового клапана в коридоре кольцевой (а), угловой (б) и прямолинейной (в) конфигураций при пожаре в офисном здании: 1 — расположение дымового клапана вблизи дверного проема; 2 — среднее расположение дымового клапана; 3 — на максимальном расстоянии от дверного проема

Результаты расчетов

Назначение объекта	Конфигурация коридора	Положение клапана относительно дверного проема	Температура дыма в сечении дымового клапана, °С, полученная		
			в численных экспериментах		расчетом по методике ВНИИПО* [2]
			средняя	максимальная	
Офисное	Кольцевая	Близко	243	338	205
		Среднее	242	300	
		Далеко	225	239	
	Угловая	Близко	254	356	151
		Среднее	218	250	
		Далеко	174	187	
	Прямолинейная	Близко	255	366	110
		Среднее	166	218	
		Далеко	155	161	
Жилое	Кольцевая	Близко	241	329	222
		Среднее	238	290	
		Далеко	217	231	
	Угловая	Близко	257	355	163
		Среднее	208	238	
		Далеко	155	164	
	Прямолинейная	Близко	249	350	117
		Среднее	148	194	
		Далеко	137	140	
Торговое	Кольцевая	Близко	258	357	211
		Среднее	257	315	
		Далеко	242	258	
	Угловая	Близко	271	379	155
		Среднее	232	270	
		Далеко	176	191	
	Прямолинейная	Близко	255	366	111
		Среднее	166	218	
		Далеко	154	161	

\* Значения приведены при пожаре с нагрузкой [15] для офисного (административное помещение; мебель + бумага (0,75 + 0,25)), жилого (здание 1-й и 2-й степеней огнестойкости; мебель + ткани) и торгового (промтовары; текстильные изделия) зданий. Количество пожарной нагрузки принималось согласно [16].

Это влияние усиливается с увеличением длины коридора для угловой и прямолинейной конфигураций по сравнению с кольцевой в случае среднего или наиболее удаленного положения дымового клапана. При расположении дымового клапана вблизи дверного проема для всех вариантов расстояние между ними неизменно.

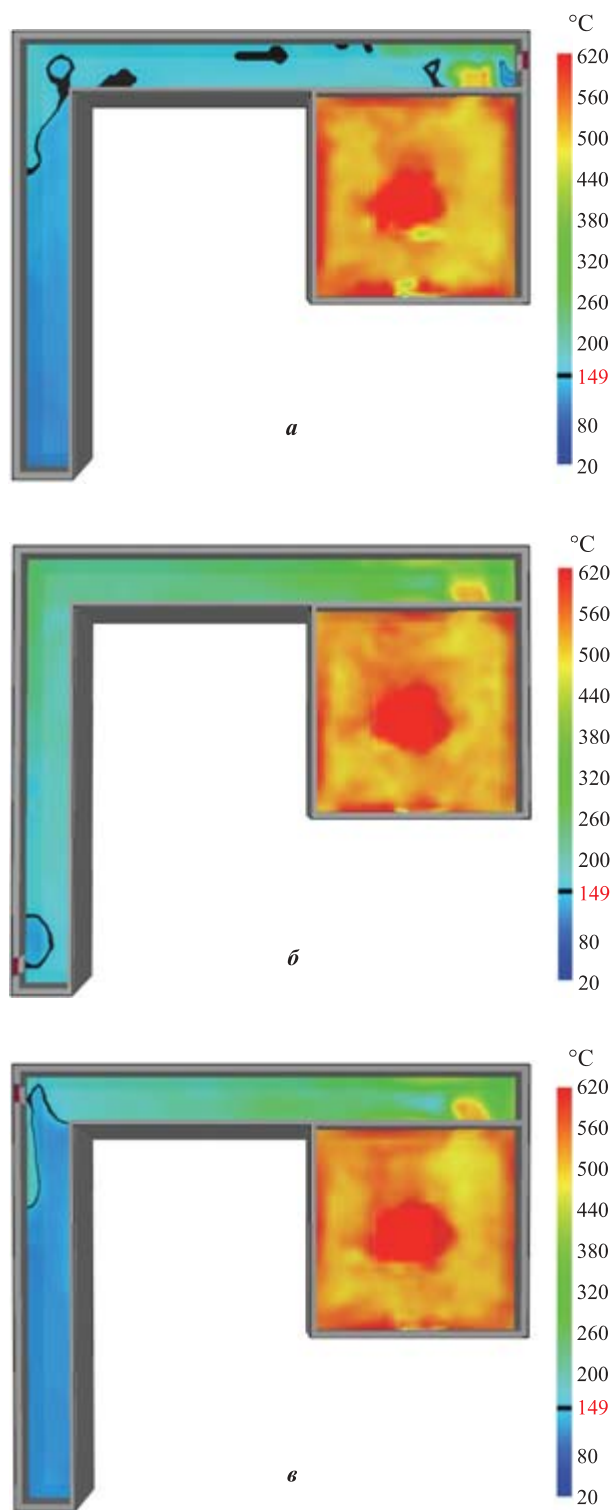


Рис. 4. Поле температуры на высоте 2 м от пола при пожаре в жилом здании с коридором угловой конфигурации при расположении дымового клапана на минимальном (а), максимальном (б) расстоянии от дверного проема из горящего помещения в коридор и посередине между этими двумя положениями (в)

В таблице представлены результаты расчетов по всем рассматриваемым вариантам.

Данные расчетов, полученные по методике [7], удовлетворительно согласуются с результатами чис-

ленных экспериментов для всех трех типов зданий с коридорами различной конфигурации при расположении дымового клапана на максимальном расстоянии от дверного проема, ведущего из горящего помещения в коридор. Для этого варианта площадь ограждающих конструкций коридора, участвующих в теплообмене, наибольшая по сравнению с другими вариантами и сопоставима с площадью  $A_c$ , принимаемой по формуле (1) для всей длины коридора. Расхождение при этом составляет от 2 до 29 %, причем для кольцевой и угловой конфигураций коридора оно не превышает 13 %.

При установке дымового клапана в среднем положении расхождение увеличивается до 34 %, а вблизи дверного проема — до 57 %.

Для практических расчетов расхода дыма, удаляемого при пожаре из коридора, по мнению авторов, целесообразно принимать не локальные значения температуры, а среднее по площади дымового клапана значение.

В свою очередь, значения температуры, полученные по методике [7] для полной длины коридора, являются существенно заниженными по сравнению с результатами численных экспериментов, что может привести к выбору вентилятора системы противодымной защиты с недостаточной производительностью.

На рис. 4 приведены результаты моделирования в виде полей температуры на высоте 2 м от пола при пожаре в жилом здании. Данные результаты подтверждают предположение о том, что при расположении дымового клапана на максимальном рассто-

янии от двери помещения с очагом пожара большая часть дымовой струи из горящего помещения по пути к клапану перемешивается с дымовоздушной смесью и температура удаляемого через клапан дыма снижается. При небольшом расстоянии от двери горящего помещения до клапана дымоудаления большая часть струи дыма, выходящей из двери горящего помещения, подходит к клапану дымоудаления с высокой температурой, и температура удаляемого дыма превышает среднюю температуру в коридоре.

### Выводы

1. Проведенные численные эксперименты подтверждают предположение о влиянии расположения дымовых клапанов относительно дверных проемов помещений очага пожара на температуру дымовых газов, удаляемых из коридора.

2. Результаты расчетов позволили выявить наилучший с точки зрения работы систем вытяжной противодымной вентиляции сценарий пожара. Таковым является вариант, при котором дымовой (противопожарный) клапан находится на минимальном расстоянии от двери помещения с очагом пожара и температура продуктов горения, удаляемых из коридора, максимальная.

3. При проведении практических расчетов, в том числе по [7, 14], следует учитывать минимальное расстояние от дверного проема помещения очага пожара (помещения, где возможно возникновение пожара) до дымового (противопожарного) клапана системы вытяжной противодымной вентиляции.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Klote J. H., Milke J. A. Principles of smoke management. — Atlanta : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2002. — 377 p.
2. Klote J. H., Milke J. A., Turnbull P. G., Kashef A., Ferreira M. J. Handbook of Smoke Control Engineering. — Atlanta : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2012. — 512 p.
3. Maddox J. A. Smoke control and high-rise office buildings with operable windows: two case studies // Conference Proceeding by ASHRAE. — 2004. — Vol. 110, Part 1. — P. 646–651.
4. Есин В. М., Ерофеев А. Н., Валеев Г. Н. Температурные режимы в помещениях на этаже, где происходит пожар // Огнестойкость строительных конструкций : сб. науч. тр. — М. : ВНИИПО, 1987. — С. 53–62.
5. Есин В. М., Калмыков С. П. Сравнение методик расчета требуемых параметров вентиляционных систем противодымной защиты многоэтажных зданий // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 6. — С. 47–52.
6. СП 7.13130.2013. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности. — М. : ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2013.
7. Расчетное определение основных параметров противодымной вентиляции зданий. Методические рекомендации к СП 7.13130.2013. — М. : ВНИИПО МЧС РФ, 2013.
8. Казиев М. М., Зубкова Е. В. Пожароустойчивость светопрозрачных строительных конструкций // Стекло и бизнес. — 2014. — № 2. — С. 60–63.

9. McGrattan K. et al. Fire Dynamics Simulator (Version 5). Technical Reference Guide. NIST Special Publication 1018-5. — Washington : National Institute of Standards and Technology, 2007.
10. Mayfield C., Hopkin D. Design Fires for Use in Fire Safety Engineering (FB 29). — Bracknell : IHS BRE Press, 2011. — 82 p.
11. Heskestad G., Hill J. P. Experimental Fires in Multiroom / Corridor Enclosures. — Gaithersburg : National Bureau of Standards; NBS GCR-86-502, 1986. — 130 p.
12. Yau R., Cheng V., Yin R. Treatment of fire source in CFD models in performance-based fire design // International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes. — 2003. — Vol. 5, No. 3. — P. 54–68.
13. Казиев М. М., Подгрушный А. В., Дудунов А. В. Разрушение светопрозрачных строительных конструкций при тепловом воздействии в условиях пожара // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2009. — № 2. — С. 5–10.
14. Расчет параметров систем противодымной защиты жилых и общественных зданий. Рекомендации АВОК 5.5.1–2015. — М. : НП “АВОК-Пресс”, 2014.
15. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении : учебное пособие. — М. : Академия ГПС МВД России, 2000.
16. Молчадский И. С. Пожар в помещении. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2005.

*Материал поступил в редакцию 10 сентября 2015 г.*

**Для цитирования:** Есин В. М., Калмыков С. П. К вопросу расчета температуры продуктов горения, удаляемых из коридоров зданий // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 1. — С. 47–53. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.47-53.

English

## TO THE QUESTION OF CALCULATION OF TEMPERATURE OF THE PRODUCTS OF BURNING DELETED FROM CORRIDORS OF BUILDINGS

**ESIN V. M.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Fire Safety in Construction, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: vm-yesin@mail.ru)

**KALMYKOV S. P.**, Candidate of Technical Sciences, Lecturer of Department of Fire Safety in Construction, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: k\_sp@bk.ru)

### ABSTRACT

An inspection of the assumption of incomplete participation in heat exchange of the protecting corridor designs at the fire with a research objective of influence of an arrangement of smoke valves in relation to doorways of placements of the seat of fire on temperature of the combustion gases deleted from a corridor, and definition of the worst scenario of the fire from the point of view of work of systems of exhaust smoke ventilation is carried out. The values of temperature received by the existing settlement techniques for the full length of a corridor, are significantly underestimated in relation to results of the numerical experiments received in article that can cause a choice of the fan of system of smoke control system with an insufficient productivity. Results of calculations allowed to reveal the worst scenario of the fire from the point of view of work of systems of exhaust smoke ventilation from corridors; that is the option, when temperature of the products of burning deleted from a corridor maximum, i. e. when the smoke (fire-prevention) valve is at the minimum distance from a room door with the seat of fire. It is noted that for carrying out practical calculations it is necessary to consider the minimum distance from a doorway of the room of the seat of fire (the room where fire emergence) to the smoke valve (fire-prevention) of system of exhaust smoke ventilation.

**Keywords:** smoke ventilation; smoke control system; fire safety; temperature of products of burning; smoke valve; heat exchange.

## REFERENCES

1. Klote J. H., Milke J. A. Principles of smoke management. Atlanta, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2002. 377 p.
2. Klote J. H., Milke J. A., Turnbull P. G., Kashaf A., Ferreira M. J. Handbook of Smoke Control Engineering. Atlanta, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2012. 512 p.
3. Maddox J. A. Smoke control and high-rise office buildings with operable windows: two case studies. *Conference Proceeding by ASHRAE*, 2004, vol. 110, part 1, pp. 646–651.
4. Esin V. M., Erofeev A. N., Valeev G. N. Temperaturnyye rezhimy v pomeshcheniyakh na etazhe, gde proiskhodit pozhar [Temperature conditions in rooms on a floor where there is a fire]. *Ognestoykost stroitelnykh konstruksiy. Sbornik nauchnykh trudov* [Fire-resistance of building constructions. Collected scientific papers]. Moscow, All-Union Research Institute for Fire Protection of the Ministry of Internal Affairs of the USSR, 1987, pp. 53–62.
5. Esin V. M., Kalmykov S. P. Sravneniye metodik rascheta trebuyemykh parametrov ventilyatsionnykh sistem protivodymnoy zashchity mnogoetazhnykh zdaniy [Comparison of method of calculation of demanded parameters of ventilating systems of smoke control of multistoried buildings]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 6, pp. 47–52.
6. Set of rules 7.13130.2013. Heating, ventilation and conditioning. Fire safety requirements. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2013 (in Russian).
7. Settlement determination of main parameters of smoke ventilation of buildings. Methodical recommendations to Set of rules 7.13130.2013. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2013 (in Russian).
8. Kaziev M. M., Zubkova E. V. Pozharoustoychivost svetoprozrachnykh stroitelnykh konstruksiy [Fire resistance of translucent construction designs]. *Steklo i biznes — Glass & Business*, 2014, no. 2, pp. 60–63.
9. McGrattan K. et al. *Fire Dynamics Simulator (Version 5). Technical Reference Guide. NIST Special Publication 1018-5*. Washington, National Institute of Standards and Technology, 2007.
10. Mayfield C., Hopkin D. *Design Fires for Use in Fire Safety Engineering (FB 29)*. Bracknell, IHS BRE Press, 2011. 82 p.
11. Heskestad G., Hill J. P. *Experimental Fires in Multiroom/Corridor Enclosures*. Gaithersburg, National Bureau of Standards; NBS GCR-86-502, 1986. 130 p.
12. Yau R., Cheng V., Yin R. Treatment of fire source in CFD models in performance-based fire design. *International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes*, 2003, vol. 5, no. 3, pp. 54–68.
13. Kaziev M. M., Podgrushnyj A. V., Dudunov A. V. Razrusheniye svetoprozrachnykh stroitelnykh konstruksiy pri teplovom vozdeystvii v usloviyakh pozhara [A pane of glass destruction under thermal influence in the conditions of a fire]. *Pozhary i schezvychnyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya — Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2009, no. 2, pp. 5–10.
14. Calculation of smoke protection systems for residential and commercial buildings. Recommendations AVOK 5.5.1–2015. Moscow, NP ABOK-Press Publ., 2014.
15. Koshmarov Yu. A. Prognozirovaniye opasnykh faktorov pozhara v pomeshchenii. Uchebnoye posobiye [Modeling and analysis of human movements in various buildings. Schoolbook]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2000.
16. Molchadskiy I. S. Pozhar v pomeshchenii [Fire indoors]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2005.

**For citation:** Esin V. M., Kalmykov S. P. K voprosu rascheta temperatury produktov goreniya, udalyayemykh iz koridorov zdaniy [To the question of calculation of temperature of the products of burning deleted from corridors of buildings]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 1, pp. 47–53. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.47-53.