С. П. КАЛМЫКОВ, канд. техн. наук, научный сотрудник
Учебно-научного комплекса проблем пожарной безопасности
в строительстве Академии ГПС МЧС РФ, г. Москва, Россия

УДК 614.841

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ИМПУЛЬСНОЙ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЗАКРЫТЫХ АВТОСТОЯНОК В СЛУЧАЕ ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ НЕСКОЛЬКИХ ВЕНТИЛЯТОРОВ

На основании численных экспериментов проведена количественная оценка распространения опасных факторов пожара в помещении автостоянки закрытого типа при работе системы импульсной противодымной вентиляции в случае выхода из строя одного, двух и трех вентиляторов в зоне очага пожара.

Ключевые слова: струйная противодымная вентиляция; противодымная защита; закрытые автостоянки.

Последние 10–15 лет в крупных городах нашей страны интенсивно ведется строительство многофункциональных зданий и комплексов жилого и общественного назначения. Практически в каждом из этих зданий предусматриваются подземные автостоянки для хранения автомобилей. В противопожарной защите подобных объектов ключевую роль играют системы противодымной защиты.

В настоящее время альтернативой существующей классической системе дымоудаления и вентиляции автостоянок закрытого типа с использованием воздуховодов является применение струйных вентиляторов. Система струйной вентиляции в качестве противодымной защиты автостоянок закрытого типа используется с целью создания скорости потока воздуха, превышающей скорость дымовых газов, образующихся при пожаре автомобиля, для перемещения потока дыма в заданном направлении.

Эти системы имеют ряд преимуществ перед классическими системами дымоудаления, такие как, например, возможность уменьшения высоты автостоянки или увеличения полезного объема помещения за счет отсутствия воздуховодов большого сечения в подпотолочном пространстве, возможность частичного дымоудаления из помещения автостоянки, работа системы дымоудаления в реверсивном режиме и др. [1, 2].

Однако при работе импульсной (струйной) противодымной вентиляции существует высокая вероятность выхода из строя одного или нескольких вентиляторов в результате огневого воздействия на них от очага пожара.

В рамках представленной статьи проведена проверка работоспособности системы импульсной противодымной вентиляции при выходе из строя одного, двух и трех струйных вентиляторов вследствие огневого воздействия на них от очага пожара или по иным причинам.

В качестве инструмента исследования была принята полевая модель пожара в помещении с применением программного комплекса FDS [3].

Основные уравнения математической модели приведены согласно [3]:

- уравнение неразрывности:

$$\partial\rho/\partial t + \nabla\rho u = m_b''';$$

- уравнение движения:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u) + \nabla\rho uu + \nabla p = \rho g + f_b + \nabla\tau_{ij};$$

- уравнение энергии:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h_s) + \nabla\rho h_s u = \frac{Dp}{Dt} + q''' - q_b''' - \nabla q'' + \varepsilon;$$

- уравнение неразрывности для компонентов газовой среды:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_\alpha) + \nabla\rho Y_\alpha u = \nabla\rho D_\alpha \nabla Y_\alpha + m_\alpha''' + m_{b,\alpha}''';$$

- уравнение состояния идеального газа для замыкания системы уравнений, выражающих законы сохранения:

$$p = \rho RT\sum_\alpha \frac{Y_\alpha}{M_\alpha}.$$

Реализация процессов турбулентного переноса осуществлялась при помощи метода крупных вихрей LES (Large Eddy Simulation) [4].

© *Калмыков С. П., 2012*

Коэффициент турбулентной вязкости рассчитывался как:

$$\mu_{LES} = \rho(C_S\Delta)^2\left(2\bar{S}_{ij}\bar{S}_{ij} - \frac{2}{3}(\nabla\bar{u})^2\right)^{1/2}.$$

Коэффициенты турбулентной теплопроводности и турбулентной диффузии связаны с коэффициентом турбулентной вязкости уравнениями:

$$\lambda_{LES} = \frac{\mu_{LES}\,c_p}{\mathrm{Pr}_t}; \quad pD_{l,LES} = \frac{\mu_{LES}}{\mathrm{Sc}_t}.$$

Здесь ρ — плотность; t — время; ∇ — оператор Гамильтона; u — составляющая скорости; m_b''' — скорость образования газообразных или твердых химических компонентов; p — давление; g — ускорение свободного падения; f_b — источниковый член; τ_{ij} — тензор вязких напряжений; h_s — энтальпия смеси газов; D — коэффициент диффузии; q''' — удельная скорость тепловыделения; q_b''' — энергия, затрачиваемая на газификацию горючего материала; q'' — член уравнения, учитывающий конвективный и радиационный теплоперенос; ε — скорость диссипации кинетической энергии турбулентности; Y_α — массовая концентрация химического компонента; D_α — коэффициент диффузии химического компонента; m_α''' — удельная массовая скорость образования химического компонента; $m_{b,\alpha}'''$ — массовая скорость образования газообразных или твердых химических компонентов; R — универсальная газовая постоянная; T — температура; M_α – молярная масса химического компонента; μ_{LES} — коэффициент турбулентной вязкости; C_S — эмпирическая константа; Δ — размер расчетной сетки; S_{ij} — тензор скоростей деформации; λ_{LES} — коэффициент турбулентной теплопроводности; D_{LES} — коэффициент турбулентной диффузии; c_p — удельная изобарная теплоемкость; Pr_t — турбулентное число Прандтля; Sc_t — турбулентное число Шмидта.

В качестве модели горения использовалась модель доли в смеси (mixture fraction) [5]. Лучистый теплообмен включен в модель посредством решения уравнения переноса излучения для серого газа [6]. Уравнение решается с помощью метода, аналогичного методу конечных объемов для конвективного переноса. Коэффициенты поглощения сажей и дымом вычислены с помощью узкополосной модели RADCAL [7].

Расчеты проведены для реально проектируемой автостоянки, которая представляет собой трехэтажный подземный гараж, расположенный в г. Москве. Гараж по горизонтали разделен на два пожарных отсека: площадь первого — 1860 м^2, второго — 2289 м^2. Высота этажей автостоянки составляет 2,8 м.

Рассматривался больший по площади пожарный отсек типового этажа автостоянки, рассчитанный на 76 машиномест. На рис. 1 приведена схема моделируемого помещения закрытой автостоянки.

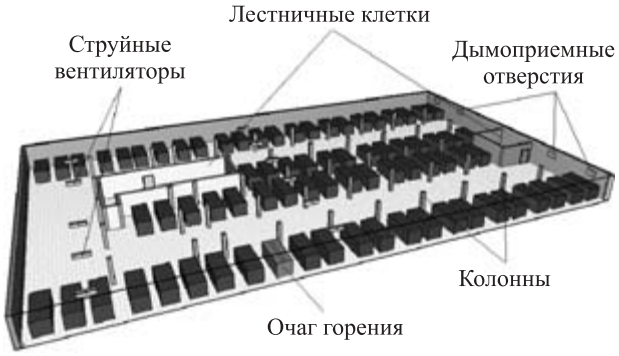

Рис. 1. Схема моделируемого помещения закрытой автостоянки

Размеры моделируемого помещения закрытой автостоянки составляют 62,0×36,8×2,8 м. В нем предполагалась установка 11 струйных вентиляторов в два ряда. Расстояние между параллельно расположенными вентиляторами составляло 6 м, между последовательно расположенными — 24 м. Струйные вентиляторы принимались с размерами входных и выбросных патрубков 0,4×0,4 м. Скорость струй на выбросных патрубках струйных вентиляторов принималась 15 м/с. Очаг горения моделировался как горелка размерами 1,6×4,0 м с максимальной мощностью тепловыделения 4,0 МВт. Изменение мощности тепловыделения принято согласно экспериментальным данным [8].

Основной функцией системы противодымной защиты является предотвращение или ограничение воздействия опасных факторов пожара на людей при пожаре для обеспечения их безопасной эвакуации, а условие наступления опасных факторов пожара проверяется на уровне рабочей зоны. Высота рабочей зоны согласно [9] составляет 1,7 м.

При моделировании работы системы противодымной защиты с использованием струйных вентиляторов в помещении автостоянки в случае пожара отмечается только наступление повышенной температуры (более 70 °С) и снижение дальности видимости в дыму (менее 20 м). Причем наступление опасного фактора пожара по повышенной температуре отмечается не во всех случаях и на меньшей площади по сравнению с задымленностью. Наступление других опасных факторов пожара наблюдается лишь в зоне очага горения, поэтому эффективность работы импульсной противодымной вентиляции оценивалась на основе полей дальности видимости.

На основании численных экспериментов проведена количественная оценка распространения опасных факторов пожара в помещении автостоянки закрытого типа при работе системы импульсной про-

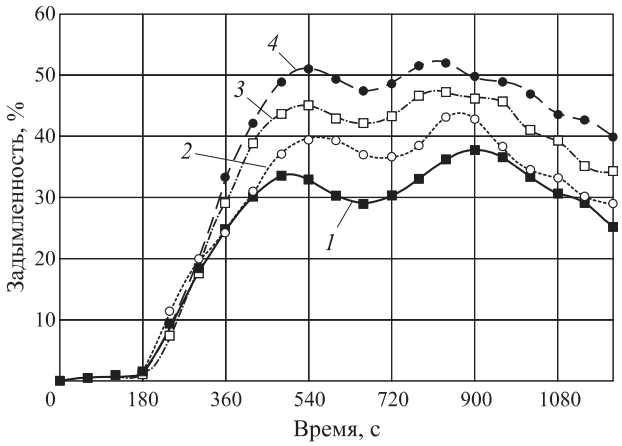

Рис. 2. Изменение площади зоны задымления в помещении автостоянки в зависимости от количества работающих струйных вентиляторов: *1* — все вентиляторы работают; *2* — не работает один вентилятор; *3* — то же, два; *4* — то же, три

тиводымной вентиляции в случае выхода из строя одного, двух и трех вентиляторов в зоне очага пожара.

На рис. 2 показано изменение площади задымления в процентном отношении к площади автостоянки при нескольких неработающих струйных вентиляторах.

При работе системы противодымной защиты с использованием струйных вентиляторов полностью избежать задымления не удается, так как дым перемещается от очага пожара в горизонтальном направлении к дымоприемным отверстиям вытяжных шахт и в результате образуется задымленная зона.

Минимальная площадь зоны пониженной видимости в помещении автостоянки закрытого типа при работе системы противодымной защиты с использованием струйных вентиляторов на уровне рабочей зоны составляет 30–40 % от площади помещения на протяжении всего пожара.

Выводы

По результатам исследования установлено, что выход из строя каждого последующего вентилятора приводит к увеличению площади пониженной видимости на 6–8 % от площади помещения автостоянки.

В целом, выход из строя нескольких (от одного до трех) вентиляторов не приводит к существенному снижению эффективности работы всей системы импульсной противодымной вентиляции и позволяет ей сохранять свою работоспособность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Есин В. М., Калмыков С. П.* Импульсная противодымная вентиляция подземных автостоянок // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. — 2010. — № 1. — С. 44–47.
2. *Есин В. М., Калмыков С. П.* Обоснование основных параметров, обеспечивающих эффективную работу системы дымоудаления и вентиляции автостоянки закрытого типа при помощи струйных вентиляторов // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 3. — С. 54–62.
3. *McGrattan K.* Fire Dinamics Simulator (Version 5) : Technical Reference Guide // NIST Special Publication 1018-5. — Washington : National Institute of Standards and Technology, 2007.
4. *Smagorinsky J.* General Circulation Experiments with the Primitive Equations. I. The Basic Experiment // Monthly Weather Review. — 91(3):99–164. — March 1963.
5. *Raman V., Pitsch H., Fox R. O.* Hybrid Large-Eddy Simulation / Lagrangian Filtered-Density-Function Approach for Simulating Turbulent Combustion // Combustion and Flame. — 143:56–78. — 2005.
6. *Siegel R., Howell J. R.* Thermal Radiation Heat Transfer. — 4th edition. — New York : Taylor & Francis, 2002.
7. *Grosshandler W.* RadCal: A Narrow Band Model for Radiation Calculations in a Combustion Environment // NIST Technical Note TN 1402. — Gaithersburg, Maryland : National Institute of Standards and Technology, 1993.
8. *Steinert C.* Experimental Investigation of Burning and Fire Jumping Behavior of Automobiles (in German) // VFDB. — Vol. 49. — P. 163–172.
9. ГОСТ 12.1.004–91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. — Введ. 01.07.92 г. — М. : Изд-во стандартов, 1991; 2002. — 54 с.

Материал поступил в редакцию 12 марта 2012 г.
Электронный адрес автора: k_sp@bk.ru.