

УДК 697.9

Моделирование процессов дымоудаления в подземных сооружениях транспортного назначения

А. В. СВЕРДЛОВ^{1,2}, канд. техн. наук А. П. ВОЛКОВ¹,
канд. техн. наук С. В. РЫКОВ², М. А. ВОЛКОВ², Е. Ю. БАРАФАНОВА²

¹FlaktGroup, ²Университет ИТМО

E-mail: alex78477@ya.ru

Вопросы жизнеобеспечения и безопасности человека, находящегося в подземных сооружениях, всегда имели первостепенное значение при проектировании данных объектов. В особенности это касается подземных сооружений транспортного назначения, а именно автотранспортных тоннелей и подземных автостоянок, где предусмотрено пребывание людей. В этом случае главными факторами риска являются эмиссия вредных веществ при работе двигателей и возможность задымления токсичными продуктами сгорания при возникновении пожара в замкнутом подземном пространстве. Причем именно значение проектной пожарной нагрузки является определяющим при выборе параметров системы вентиляции и дымоудаления. В данной работе проведено построение математических моделей для инженерных расчетов продольных вентиляционных систем дымоудаления в автодорожных тоннелях и подземных автостоянках.

Ключевые слова: системы вентиляции; системы дымоудаления; автостоянки закрытого типа; дымоудаление в тоннеле; струйные вентиляторы.

Информация о статье:

Поступила в редакцию 01.10.2018, принята к печати 26.01.2019

DOI: 10.17586/1606-4313-2019-18-1-3-10

Язык статьи — русский

Ссылка для цитирования:

Свердлов А. В., Волков А. П., Рыков С. В., Волков М. А., Барафанова Е. Ю. Моделирование процессов дымоудаления в подземных сооружениях транспортного назначения. // Вестник Международной академии холода. 2019. № 1. С. 3–10.

Modeling smoke removal processes in underground transport destination structures

A. V. SVERDLOV^{1,2}, Ph. D. A. P. VOLKOV¹, Ph. D. S. V. RYKOV²,
M. A. VOLKOV², Ye. Yu. BARAFANOVA²

¹FlaktGroup, ²ITMO University

E-mail: alex78477@ya.ru

The issues of life support and safety of a person located in underground structures have always been of paramount importance when designing such facilities. In particular, this applies to underground structures for transport purposes, namely motor transport tunnels and underground parking lots, where people are expected to stay. In this case, the main risk factors are the emission of harmful substances during engine operation and the possibility of smoke pollution by toxic combustion products in the event of a fire in a closed underground space. It is the value of the design fire load that determines choosing the parameters of the ventilation and smoke removal system. The article presents mathematical models for engineering calculations of longitudinal smoke exhaust systems in motor transport tunnels and underground parking lots.

Keywords: ventilation systems; smoke extraction systems; closed parking; smoke exhaust in the tunnel; jet fans.

Article info:

Received 01/10/2018, accepted 26/01/2019

DOI: 10.17586/1606-4313-2019-18-1-3-10

Article in Russian

For citation:

Sverdlov A. V., Volkov A. P., Rykov S. V., Volkov M. A., Barafanova Ye. Yu. Modeling smoke removal processes in underground transport destination structures. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2019. No 1. p. 3–10.

Введение

Массовое строительство подземных автостоянок характерно для всех мегаполисов. Стремление к более эффективному использованию подземного пространства

привело к существенному, до 2,6÷3,5 м, снижению высоты потолочных перекрытий автостоянок, увеличению площадей и этажности, что, как показано в [1], связано с дополнительными рисками при использовании тради-

ционных канальных систем дымоудаления [2, 3]. Широкое применение нашли продольные струйные системы вентиляции и дымоудаления. В таких системах используются струйные реверсивные и однонаправленные (импульсные) вентиляторы и отсутствуют воздухопроводы [4].

Проектирование струйных систем вентиляции требует исследования закономерностей воздухораспределения с учетом особенностей геометрии помещений и параметров вентиляционной системы на основе фундаментальных закономерностей механики жидкости и газов [5]. Основные уравнения, описывающие эти закономерности применительно к системам струйной вентиляции, представлены в работе [6], а именно:

1. Уравнение неразрывности, выражающее закон сохранения вещества

$$\frac{dp}{dt} + \rho \operatorname{div} \vec{v} = 0. \quad (1)$$

2. Уравнение движения или импульса Навье–Стокса

$$\rho \frac{d\vec{v}}{dt} = \rho \vec{F} + \operatorname{div} \vec{P}. \quad (2)$$

3. Уравнение энергетического и материального баланса на основе закона сохранения энергии Фурье–Кирхгофа и второго закона Фика

$$\rho \frac{dU}{dt} = (\vec{P}\vec{S}) + \rho q. \quad (3)$$

4. Тензорное реологическое уравнение

$$\vec{P} = -p\vec{E} + \vec{T}, \quad (4)$$

где ρ — плотность; \vec{v} — вектор скорости; t — время;

\vec{F} — вектор силы в трехмерных координатах; \vec{P} — тензор напряжений; U — удельная внутренняя энергия;

\vec{S} — тензор скоростей деформации.

В уравнении (4):

$$\vec{T} = 2\mu \left(\vec{S} - \frac{\vec{E}}{3} \operatorname{div} \vec{v} \right), \quad (5)$$

где p — давление; \vec{E} — тензорная единица; \vec{T} — тензор вязких напряжений; μ — динамическая вязкость.

Решение дифференциальных систем уравнений на базе уравнений (1)–(5) применительно к системам вентиляции достаточно полно представлено в работе [7].

Применительно к системам струйной вентиляции автостоянок, Академия МЧС разработала численную модель работы струйной системы вентиляции в аварийном режиме дымоудаления при пожаре [8, 9]. Исследование воздухораспределения в данной модели осуществлялось с учетом моделей пожара и турбулентности.

Разработанная модель включала в себя уравнение неразрывности, три уравнения сохранения количества движения вдоль каждой из декартовых координат, уравнение сохранения энтальпии, а также два уравнения для турбулентной кинетической энергии k и скорости диссипации ϵ этой энергии во внутреннюю энергию жидкости [10, 11].

Обобщенное уравнение переноса в трехмерной нестационарной постановке в декартовой системе координат имеет вид

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\Phi) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \Phi) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\Phi \frac{\partial \Phi}{\partial x_j} \right) + S_\Phi. \quad (6)$$

Консервативные величины Φ , коэффициенты переноса Γ_Φ и источниковые члены S_Φ , соответствующие каждому уравнению, более подробно представлены в работе [12].

Использовалась k - ϵ -модель турбулентности, учитывающая эффект плавучести [10, 11], что является общепринятым подходом при моделировании противодымной вентиляции [13].

Расчет поля скоростей воздушного вентиляционного потока осуществлялся с использованием формулы для затопленных турбулентных осесимметричных струй, создаваемых струйными вентиляторами [9]:

$$u^2 = U_\infty^2 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \left(\frac{k_{0i} D_i U_{0i}}{x - x_i} \right)^2 \exp \left(- \frac{r_i^2}{k_i^2 (x - x_i)^2} \right), \quad (7)$$

где U_{0i} — скорость в выходном отверстии струйного вентилятора, м/с; U_∞ — средняя скорость потока, м/с; D_i — диаметр выходного отверстия струйного вентилятора, м; x — координата по оси, совпадающей с осью вращения струйного вентилятора, м; r_i — радиальная координата, м; x_i — координата начала отсчета струи, м; α_i , k_{0i} , k_i — модельные константы.

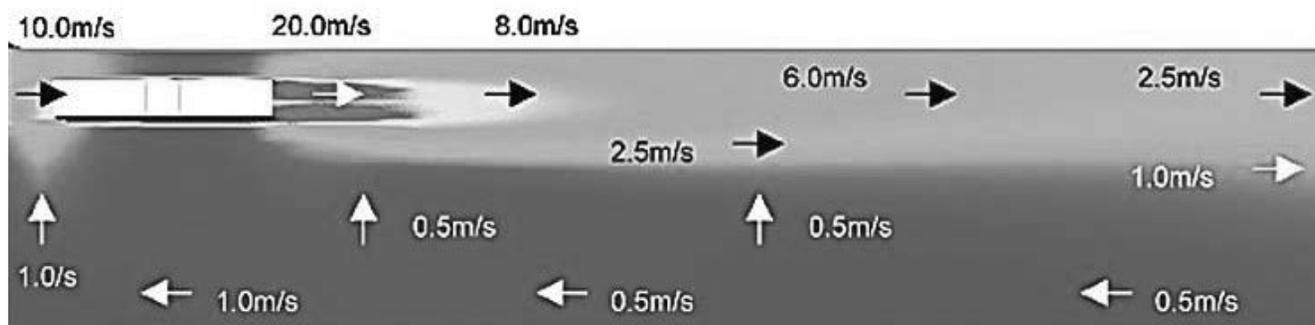


Рис. 1. Результаты численного моделирования осесимметричной затопленной струи вентилятора в помещении автостоянки

Fig. 1. Numerical simulation of axially-symmetrical flooded fan jet in parking lot

Расчеты выполнялись в цилиндрической системе координат.

Было показано, что при работе струйных вентиляторов на максимальной нагрузке возможно образование обратных, по отношению к основному вентиляционному потоку воздуха, течений [11]. Такая ситуация может привести к полному задымлению помещения автостоянки. Результаты численного моделирования, представленные на рис. 1 показывают образование обратных токов воздуха.

Как показал опыт использования таких CFD (Computer Fluid Dynamics) численных моделей связан со значительными затратами времени, денежных средств и высококвалифицированного труда. Поэтому традиционно CFD модели используются для итоговой проверки принятых проектных решений и результаты моделирования предъявляются представителю заказчика для подтверждения правильности принятых проектных решений. В европейской практике CFD моделирование называют испытаниями вентиляционной системы методами численной гидродинамики [14, 15].

Целью данной работы является построение математических моделей для инженерных расчетов продольных вентиляционных систем дымоудаления в автостоянках тоннелей и подземных автостоянках.

Для вариативных вычислений при проектировании систем струйной вентиляции целесообразно использовать упрощенные модели, учитывающие эффект плавучести горячих продуктов сгорания. В этом случае значение критерия Фруда (Fr) позволяет определить границы устойчивости дымового слоя в подпотолочном пространстве при изменении параметров вентиляционного потока.

Проектирование противодымной вентиляции в тоннелях

Существует два подхода к организации процесса продольного дымоудаления при пожаре в транспортных подземных сооружениях.

I подход. В тоннеле создают мощный воздушный поток, обеспечивающий в соответствии с заданной пожарной нагрузкой 100÷200 МВт перенос всех дымовых газов в сторону ближайшего портала или шахты дымоудаления. Для этого используются струйные вентиляторы с реактивной тягой от 200 до 2000 Н, обычно уста-

навливаемые под сводом тоннеля (см. рис. 2). На рис. 3 представлен процесс дымоудаления в тоннеле.

Минимальное значение скорости вентиляционного потока, обеспечивающее перенос дымовых газов в направлении ближайшего портала или шахты дымоудаления, называется критической скоростью $V_{кр}$.

Значение $V_{кр}$ для автодорожных тоннелей может быть определено по формуле [18]:

$$V_{кр} = A \left(\sqrt[3]{M \left(1 + 2\sqrt{1 - \frac{2}{M}} \right)} + \sqrt[3]{M \left(1 - 2\sqrt{1 - \frac{2}{M}} \right)} \right), \quad (8)$$

где $A = \frac{Q_k}{3\rho_b C_p F_T T_0}$, здесь Q_k — конвективная мощность пожара, кВт; ρ_b — плотность воздуха при температуре T_0 , кг/м³; C_p — теплоемкость воздуха, кДж/(кг·К); F_T — площадь сечения тоннеля, м²; $M = \frac{1,5gH_T K_1^3 K_g^3}{A^2}$; H_T — высота тоннеля в месте возникновения пожара; $K_1 = 0,606$; K_g — коэффициент, учитывающий дорожный уклон тоннеля.

Как следует из формулы (8), практически все основные конструктивные параметры тоннеля и наружного воздуха оказывают влияние на определение значения $V_{кр}$, но наибольшее влияние оказывает выбранное значение Q_k (пожарная нагрузка) и наличие отрицательных уклонов тоннеля (направление воздушного потока против гравитационных сил). На рис. 4 показано влияние последних двух параметров на расчетное значение $V_{кр}$.

Проектирование противодымной вентиляции подземных автостоянок

Просто перенести опыт проектирования противодымной вентиляции тоннелей на подземные автостоянки не представляется возможным.

Если в тоннеле процесс развивается вдоль линии, в автостоянке то же происходит на плоскости. При проектировании системы струйной вентиляции в штатном режиме предполагается, что ассимиляция вредных примесей выхлопных газов происходит относительно равномерно по всей площади автостоянки. В аварийной ситуации при пожаре возникает мощный точечный источник загрязнения воздуха и тепловыделения. Поэтому расчет системы продольной вентиляции подземной автостоянки существенно различается в штатном и ава-



Рис. 2. Установка струйных (осевых) вентиляторов под сводом тоннеля
Fig. 2. Installation of jet (axial-flow) fans under tunnel crown

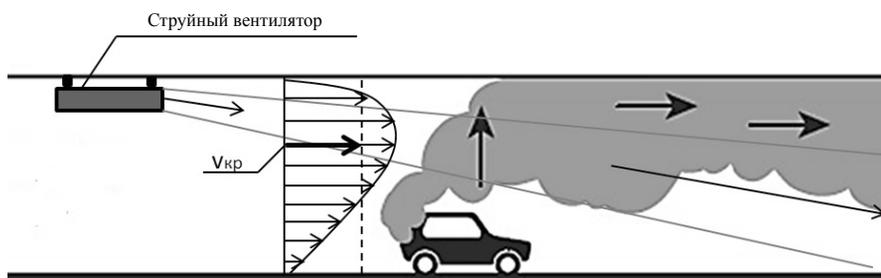


Рис. 3. Схема процесса дымоудаления в тоннеле
Fig. 3. Smoke exhaust in tunnel

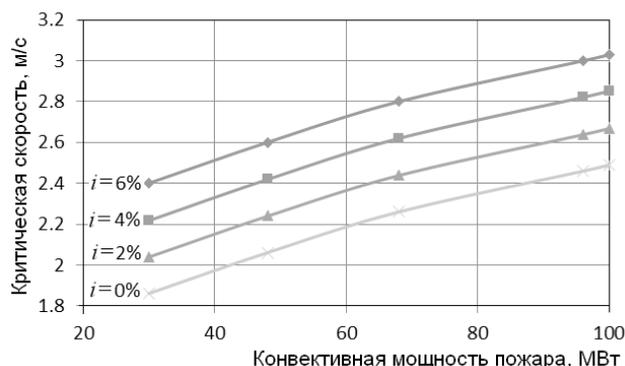


Рис. 4. Зависимости расчетного значения критической скорости воздушного потока $V_{кр}$ от уклона тоннеля i и конвективной мощности пожара Q_k

Fig. 4. Dependencies of calculated value for air flow critical velocity $V_{кр}$ on tunnel inclination i and convection power of fire Q_k

рийном режиме, причем именно аварийный режим определяет состав системы вентиляции.

II подход. Процесс дымоудаления при возникновении пожара в автостоянке разделяется на два этапа:

а) при обнаружении пожара в подземной автостоянке включается реверсивная приточно-вытяжная противодымная вентиляция в направлении ближайших отверстий дымоудаления [4], струйные вентиляторы выключаются. За счет притока наружного холодного воздуха и плавучести горячих дымовых газов, в течение 5–10 мин после обнаружения пожара обеспечивается удержание дымовых газов в подпотолочном пространстве, обычно на высоте не менее 2 м от пола. На данном этапе осуществляется эвакуация людей.

На рис. 5 представлена схема работы системы противодымной вентиляции после обнаружения пожара.

Горячие дымовые газы удерживаются в подпотолочном пространстве за счет притока холодного наружного воздуха на высоте Y ниже расчетной границы дыма (рис. 5).

Предельное, максимально допустимое значение Fr определяется по формуле [1, 3]

$$Fr = \frac{9,8Y(T_m - T_0)}{T_m V_{кр}^2}, \quad (9)$$

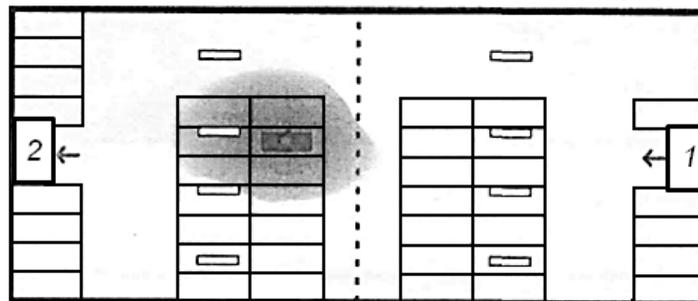
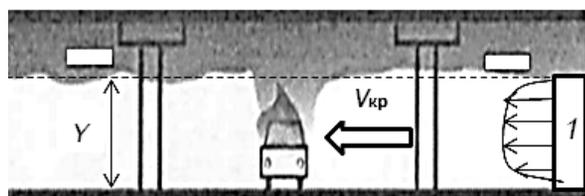


Рис. 5. Работа противодымной вентиляции при обнаружении пожара и эвакуации людей: 1 — приточная противодымная вентиляция; 2 — вытяжная противодымная вентиляция

Fig. 5. Operation of smoke ventilation system when fire detecting and people evacuation: 1 — draw-in smoke ventilation; 2 — exhaust smoke ventilation

где T_m и T_0 — температуры дымовых газов и наружного воздуха, соответственно, К.

Обычно, число $Fr=4,5$, меньшие значения применимы для особо ответственных объектов.

Практический интерес представляет значение $V_{кр}$, определяющее минимальную производительность вентиляторов дымоудаления [13]:

$$V_{1кр} = \sqrt[3]{-\frac{M}{2} + \sqrt{\frac{M^2}{4} + \frac{L^3}{27}}} + \sqrt[3]{-\frac{M}{2} - \sqrt{\frac{M^2}{4} + \frac{L^3}{27}}} - \frac{D}{3}, \quad (10)$$

где

$$D = \frac{Q_k}{T_0 \rho_B C_p B Y}; \quad A = \frac{9,8Y}{Fr}; \quad L = -\frac{D^2}{3}; \quad M = D \left(\frac{2D^2}{27} - A \right);$$

B — ширина парковки, перпендикулярная вентиляционному воздушному потоку (ширина зоны локализации пожара), м.

Температура дымовых газов T_m (К) за очагом горения перед вентилятором дымоудаления

$$T_m = T_0 \left(1 + \frac{D}{V_{кр}} \right). \quad (11)$$

Производительность вентилятора дымоудаления V_{ex} , обеспечивающая эвакуацию людей, должна быть не меньше значения, рассчитанного по формуле

$$V_{ex} = 3600 V_{1кр} B \cdot Y \frac{T_m}{T_0}. \quad (12)$$

На графике рис. 6 показана граница устойчивости $Fr=4,5$, ниже которой снижение производительности вентиляторов дымоудаления является фактором риска.

б) после окончания эвакуации людей из помещения автостоянки включается группа струйных вентиляторов, обеспечивающих нераспространение дымовых газов на все помещения автостоянки. Задача второго этапа — обеспечить видимость очага горения для пожарных расчетов и удалить дымовые газы после ликвидации очага горения.

На рис. 7 представлена схема работы системы противодымной вентиляции при аварийно-спасательных работах.

В результате работы струйных вентиляторов, в подпотолочном пространстве возникает высокоскоростной вентиляционный воздушный поток дымовых газов. Таким образом, формируется сдвиговое течение разноско-

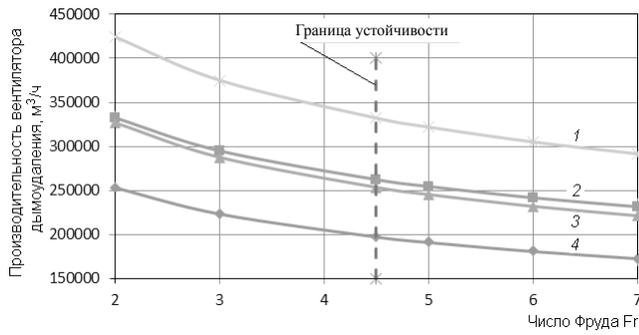


Рис. 6. Зависимости производительности вентиляторов дымоудаления от выбранного значения Fr при различных габаритах автостоянки и мощности очага горения при пожаре одного или двух автомобилей: 1 — $Q_k = 5400$ кВт; $B = 48$; 2 — $Q_k = 5400$ кВт; $B = 32$; 3 — $Q_k = 2700$ кВт; $B = 48$; 4 — $Q_k = 2700$ кВт; $B = 32$

Fig. 6. Dependencies of smoke exhaust fan performance on the selected value of Fr for different parking lot sizes and the power of base of fire in case of one or two cars firing: 1 — $Q_k = 5400$ кВт; $B = 48$; 2 — $Q_k = 5400$ кВт; $B = 32$; 3 — $Q_k = 2700$ кВт; $B = 48$; 4 — $Q_k = 2700$ кВт; $B = 32$

ростных, разноплотностных воздушных потоков (см. рис. 7).

Высокоскоростная струя воздуха в подпотолочном пространстве обеспечивается при условии $V_{x \min} \geq V_{кр}$, где $V_{x \min}$ — минимальное значение осевой скорости осесимметричной слабо неизотермической воздушной струи. Последнее условие достигается за счет выбора расстояния между последовательно установленными струйными вентиляторами (рис. 8).

В отличие от модели (7), для вариативных расчетов применена упрощенная модель осесимметричной свободной струи, представленной на рис. 9, описанная в работах [16, 17].

Осевая скорость V_x может быть представлена в виде уравнения:

$$V_x = v_0 k_w \frac{\sqrt{A_0}}{x}, \quad (13)$$

где k_w — коэффициент изменения скорости

$$k_w = \frac{0,65}{\tan \alpha_{0,5v}} \sqrt{\frac{T_{окр}}{T_{0в}}} \sqrt[4]{\xi}. \quad (14)$$

Обычно, $2\alpha_{0,5v} \approx 10...12^\circ$, следовательно, $\tan \alpha_{0,5v}$ в среднем может быть принят равным 0,1; v_0 — скорость в выходном сечении вентилятора, м/с; A_0 — площадь выходного сечения вентилятора.

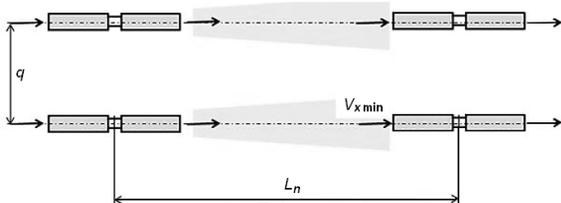


Рис. 8. Схема расположения струйных вентиляторов
Fig. 8. Locations of jet fans

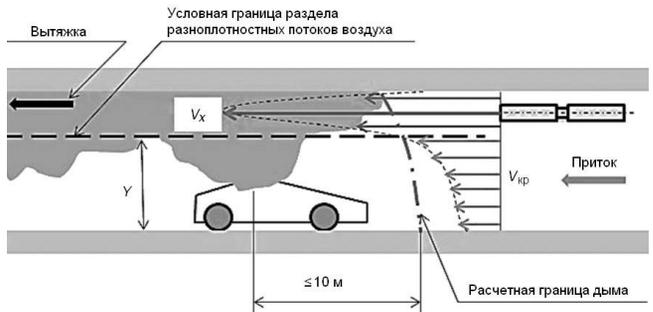
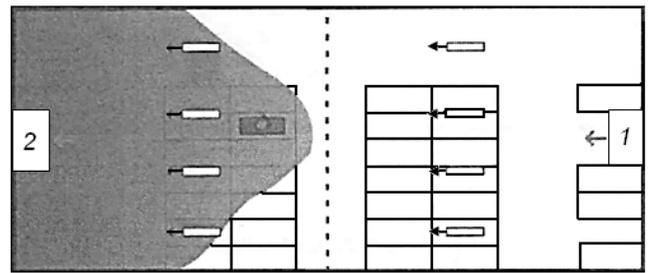


Рис. 7. Схема аварийно-спасательных работ при одновременной работе противодымной и струйной вентиляции
Fig. 7. Emergency rescue under the conditions of smoke and jet ventilations working simultaneously

Принято допущение $\frac{T_{окр}}{T_{0в}} = 1$ о равенстве температур на входе и выходе из вентилятора, $\xi = 1$ — коэффициент аэродинамических потерь вентилятора.

В результате были получены расчетные данные для оценки максимально возможного расстояния L_n (см. рис. 8), представленные на графике рис. 10.

Итак, наиболее ответственный параметр, как для тоннелей, так и подземных автостоянок — это минимальное или критическое значение скорости воздушного потока $V_{кр}$, направленного к очагу горения, обеспечивающее безопасную эвакуацию людей. На основе представленных выше моделей для продольных струйных систем вентиляции тоннелей и автостоянок были разработаны своды правил [18, 19].

Кроме численного моделирования, для проверки принятого значения $V_{кр}$ и других параметров вентиляционной системы автостоянки осуществляют экспериментальное испытание системы вентиляции с использованием горячего дыма (дымовой тест), описанные в ра-

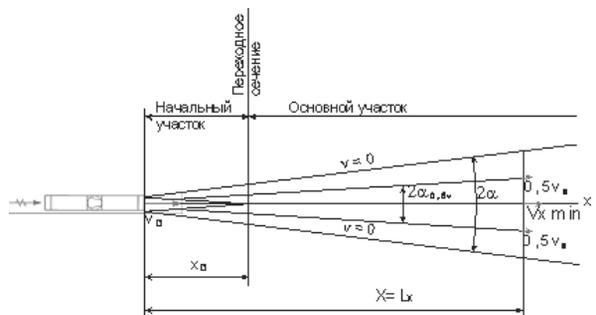


Рис. 9. Схема осесимметричной свободной струи струйного вентилятора
Fig. 9. Axially-symmetrical free fan jet

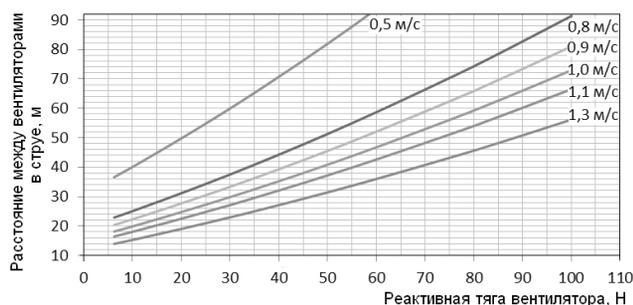


Рис. 10. Зависимости расстояния L_n (в струе) от расчетной реактивной тяги F_p вентилятора при различных значениях V_{xmin}

Fig. 10. Dependencies of distance between jet fans L_n on calculated reaction thrust F_p of fan for different values of V_{xmin}

боте [20]. В настоящее время в России отсутствует нормативная база для проведения таких работ. В мировой практике испытания горячим дымом проводятся на большинстве крупных подземных автостоянок, руководствуясь стандартом [21].

Другой важной проблемой является тушение пожара на автостоянке при низких температурах наружного

воздуха, когда невозможно применить спринклерную водяную защиту. Целесообразно рассмотреть возможность применения на автостоянках безопасные для человека газовые системы пожаротушения, предусмотренные в СП 5.13130.2009 [22]. Такими газами в соответствии с [22] могут быть: хладон 125, хладон 23, хладон 227ea, хладон 218, хладон 318Ц, азот, аргон, инерген, двуокись углерода, шестифтористая сера.

Выводы

1. Рассмотрены математические модели для вариативных инженерных расчетов продольных вентиляционных систем дымоудаления в автостоянках, на основе которых разработаны новые своды правил [18, 19].

2. Показана актуальность разработки отечественного нормативного документа, устанавливающего правила проведения испытаний горячим дымом систем вентиляции подземных автостоянок.

3. Показана актуальность научно-исследовательских работ по использованию газовых систем пожаротушения [22] подземных автостоянок, находящихся в регионах с холодным климатом.

Литература

- Вишневский Е. П., Волков А. П. Противодымная защита крытых и подземных автостоянок, оборудованные струйной (импульсной) вентиляцией // Мир строительства и недвижимости. 2012. № 44, с. 54–56.
- Вишневский Е. П., Волков А. П. Особенности расчета параметров пожара крытой и подземной автостоянок, оснащенных струйной вентиляцией // Мир строительства и недвижимости. 2012. № 45. с. 43–44.
- BS 7346–7:2006. Components for smoke and heat control systems — Part 7: Code of practice on functional recommendations and calculation methods for smoke and heat control systems for covered car parks ICS 13.220.20
- Волков А. П., Свердлов А. В. Реверс воздушного потока при продольной вентиляции и дымоудалении подземных и крытых автостоянок // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика (АВОК). 2015. № 1. С. 34–38.
- Ден Г. Н. Введение в термогазодинамику реальных газов: курс лекций. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998. 139 с.
- Свердлов А. В., Волков А. П., Рыков С. В., Климович М. В., Волков М. А. Расчетные методы проектирования продольных струйных систем вентиляции автостоянок закрытого типа // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2016. № 4. С. 23–32.
- Гримитлин А. М., Дацюк Т. А., Денисыкина Д. М. Математическое моделирование в проектировании систем вентиляции и кондиционирования. СПб.: АВОК Северо-Запад, 2013. 192 с.
- Есин В. М., Калмыков С. П. Дымоудаление и вентиляция автостоянок закрытого типа при помощи струйных вентиляторов. Обоснование основных параметров, обеспечивающих эффективную работу струйных вентиляторов // Ак-

References

- Vishnevsky E. P., Volkov A. P. Anti-smoke protection of the covered and underground avtoparkovok, equipped with jet (pulse) ventilation. *Mir stroitel'stva i nedvizhimosti*. 2012, No 44. P. 54–56. (in Russian)
- Vishnevsky E. P., Volkov A. P. Features of calculating the fire parameters of a covered and underground auto-park, equipped with jet ventilation. *Mir stroitel'stva i nedvizhimosti*. 2012, No 45. P. 43–44. (in Russian)
- BS 7346–7:2006 Components for smoke and heat control systems — Part 7: Code of practice on functional recommendations and calculation methods for smoke and heat control systems for covered car parks ICS 13.220.20.
- Volkov A. P., Sverdlov A. V. Reverse air flow for longitudinal ventilation and smoke removal of underground and covered parking lots. *Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics*. 2015. No 1. P. 34–38. (in Russian)
- Den G. N. Introduction to real-gas thermodynamics. Lecture course. St. Petersburg: Publishing house SPbSTU, 1998. 139 p. (in Russian)
- Sverdlov A. V., Volkov A. P., Rykov S. V., Klimovich M. V., Volkov M. A. Calculation methods for designing longitudinal spray jet systems for parking spaces of a closed type. *Scientific journal NRU ITMO. Series "Refrigeration and Air Conditioning"*. 2016. No 4. P. 23–32. (in Russian)
- Grimitlin A. M., Datsyuk T. A., Denysikhyna D. M. Mathematical modeling in the design of ventilation and air conditioning systems. St. Petersburg: AВОK-PRESS, 2013. 192 p. (in Russian)
- Yesin V. M., Kalmykov S. P. Smoke removal and ventilation of parking lots of a closed type with the help of jet fans. Substantiation of the main parameters that ensure efficient operation of jet fans. International scientific-practical conference

- туальные проблемы пожарной безопасности: материалы МНПК. Ч. 1. М.: ВНИИ ПО, 2008. С. 176–178.
9. Калмыков С. П. Моделирование процессов тепло- и массо-переноса при работе системы струйной вентиляции автостоянок закрытого типа: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.26.03. М., 2008. 24 с.
 10. Hanjalic K., Launder B. E. Contribution Towards a Reynolds-stress Closure for Low-Reynolds-Number Turbulence // *Journal of Fluid Mechanics*. 1976. Vol. 74. No 4. P. 593–610.
 11. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1987. 840 с.
 12. Волков А. П., Сverdlov А. В., Рыков С. В., Волков М. А. Фактор энергоэффективности при выборе параметров системы вентиляции автостоянки закрытого типа // *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование*. 2015. № 3 (15). С. 27–36.
 13. Сverdlov А. В., Волков А. П., Рыков С. В., Гордеева Э. А., Волков М. А. Проектирование систем противодымной вентиляции современных автостоянок закрытого типа с использованием математических моделей процессов тепло- и массообмена на основе числа Фруда // *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование*. 2018. № 1. С. 47–56.
 14. Йос Висник, Карлос Вогет. Вентиляция в подземных гаражах. Опыт Германии // *Мир строительства и недвижимости*. 2012. № 43. С. 58.
 15. Joel H. Ferziger, Milovan Peric. *Computarional Methods for Fluid Dynamics*, third, rev. edition. — Berlin; Heidelberg; New York; Barcelona; Hong Kong; London; Milan; Paris; Tokyo: Springer, 2002. 431 p.
 16. Волков А. П., Гримилин А. М., Рыков С. В. Методика расчета вентиляционной системы парковки закрытого типа // *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование*. 2014. № 2 (15). С. 45–57.
 17. Гримилин М. И. *Распределение воздуха в помещениях*. Санкт Петербург, 1994. 316 с.
 18. СП 298.1325800.2017. Системы вентиляции тоннелей автомобильных. Правила проектирования.
 19. СП 300.1325800.2017. Системы струйной вентиляции и дымоудаления подземных и крытых автостоянок. Правила проектирования.
 20. Сverdlov А. В., Волков А. П. Почему проводят испытания горячим дымом при пусконаладочных работах системы струйной вентиляции и дымоудаления автостоянок // *Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика (АВОК)*. 2018. № 3. С. 20–23.
 21. AS 4391–1999 Australian Standard™ Smoke management systems — Hot smoke test. Reconfirmed 2016.
 22. Свод правил СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Actual problems of fire safety. Book of Abstracts. V. 1. 2008. P. 176–178. (in Russian)
 9. Kalmykov S. P. Modeling of processes of heat and mass transfer during operation of the system of jet ventilation of parking lots of a closed type. PhD thesis, Moscow, 2008. 24 p. (in Russian)
 10. Hanjalic K., Launder B. E. Contribution Towards a Reynolds-stress Closure for Low-Reynolds-Number Turbulence. *Journal of Fluid Mechanics*. 1976. Vol. 74. No. 4. P. 593–610.
 11. Loytsyanskiy L. G. *Mechanics of fluid and gas*. Moscow: Nauka, 1987. 840 p. (in Russian)
 12. Volkov A. P., Sverdlov A. V., Rykov S. V., Volkov M. A. The factor of energy efficiency when choosing the parameters of a closed parking ventilation system. *Scientific journal NRU ITMO. Series "Refrigeration and Air Conditioning"*. 2015. No 3 (15). P. 27–36. (in Russian)
 13. Sverdlov A. V., Volkov A. P., Rykov S. V., Gordeyeva E. A., Volkov M. A. The design of smoke ventilation systems of modern parking lots of a closed type using mathematical models of heat and mass transfer processes based on the Froude number. *Scientific journal NRU ITMO. Series "Refrigeration and Air Conditioning"*. 2018. No 1. P. 47–56. (in Russian)
 14. Jos Wissnik, Carlos Voget. Ventilation in underground garages. Experience of Germany. *Mir stroitel'stva i nedvizhivosti*. 2012. No 43. P. 58. (in Russian)
 15. Joel H. Ferziger, Milovan Peric. *Computarional Methods for Fluid Dynamics*, third, rev. edition. — Berlin; Heidelberg; New York; Barcelona; Hong Kong; London; Milan; Paris; Tokyo: Springer, 2002. 431 p.
 16. Volkov A. P., Gritmitlin A. M., Rykov S. V. Method for calculating the ventilation system of closed parking. *Scientific journal NRU ITMO. Series "Refrigeration and Air Conditioning"*. 2014. No 2 (15). P. 45–57. (in Russian)
 17. Gritmitlin M. I. *Indoor air distribution*. St. Petersburg, 1994. 316 p. (in Russian)
 18. Set of rules SP 298.1325800.2017 Ventilation systems for road tunnels. Design rules. (in Russian)
 19. Set of rules SP 300.1325800.2017 Systems of jet ventilation and smoke removal of underground and covered parking lots. Design rules. (in Russian)
 20. Sverdlov A. V., Volkov A. P. Why do tests with hot smoke during commissioning of the system of jet ventilation and smoke removal of car parks. *Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics*. 2018. No 3. P. 20–23. (in Russian)
 21. AS 4391–1999 Australian Standard™ Smoke management systems — Hot smoke test. Reconfirmed 2016.
 22. Set of rules SP 5.13130.2009 Fire protection systems. Fire alarm and fire extinguishing systems are automatic. (in Russian)

Сведения об авторах**Свердлов Александр Викторович**

генеральный директор, Air Comfort & Fire Safety Europe, 117418, Россия, Москва, ул. Профсоюзная, 23, аспирант факультета низкотемпературной энергетики Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, alexander.sverdlov@flaktwoods.com

Волков Алексей Платонович

к. т. н., эксперт по системам вентиляции подземных сооружений Air Comfort & Fire Safety Europe, 117418, Россия, Москва, ул. Профсоюзная, 23, alex78477@ya.ru

Рыков Сергей Владимирович

к. т. н., доцент факультета низкотемпературной энергетики Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, togg1@yandex.ru

Волков Михаил Алексеевич

студент факультета низкотемпературной энергетики Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, alex78477@ya.ru

Барафанова Елена Юрьевна

инженер факультета низкотемпературной энергетики Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, alex78477@ya.ru

Information about authors**Sverdlov Aleksandr Viktorovich**

General Director of Air Comfort & Fire Safety Europe, Russia, 117418, Moscow, Profsoyuznaya str., 23, Postgraduate Student of Faculty of Cryogenic Engineering of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, alexander.sverdlov@flaktwoods.com

Volkov Aleksey Platonovich

Ph. D., expert on ventilation systems of underground structures of Air Comfort & Fire Safety Europe, Russia, 117418, Moscow, Profsoyuznaya str., 23, alex78477@ya.ru

Rykov Sergey Vladimirovich

Ph. D., associate professor of Faculty of Cryogenic Engineering of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, togg1@yandex.ru

Volkov Mikhail Alekseyevich

Student of Faculty of Cryogenic Engineering of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, alex78477@ya.ru

Barafanova Yelena Yuryevna

Engineer of Faculty of Cryogenic Engineering of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, alex78477@ya.ru



<http://www.md-expo.ru>

18-я Международная выставка оборудования и технологий для молочного производства

DairyTech | Dairy & Meat 2020

18–21 февраля 2020 г.

Международная выставка оборудования и технологий для животноводства, молочного и мясного производств «DairyTech | Dairy & Meat 2020» — это ведущее бизнес-мероприятие, демонстрирующее оборудование и технологии для агропромышленного производства полного цикла: от репродукции племенных животных, их выращивания, содержания и откорма до переработки и упаковки продукции животноводства: как для молочной индустрии, так и для мясной.

РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ:

- ❖ Оборудование и технологии для выращивания и содержания сельскохозяйственных животных;
- ❖ Оборудование и технологии для производства молока и молочной продукции;
- ❖ Оборудование для производства и розлива напитков.

Место проведения:

Россия, Москва, МВЦ «Крокус Экспо», павильон 1
<http://www.crocus-expo.ru>

Организатор выставки: ITE Москва

+7 (499) 750-08-28, 750-08-30
md@ite-expo.ru
www.ite-expo.ru