УДК 697.9

Расчетные методы проектирования продольных струйных систем вентиляции автостоянок закрытого типа

Свердлов А.В. alexander.sverdlov@flaktwoods.com
Волков А.П. alex78477@ya.ru
Air Comfort & Fire Safety Europe
117418, Россия, Москва, ул. Профсоюзная, 23
Канд. техн. наук **Рыков С.В.** togg1@yandex.ru
Климович М.В. togg1@yandex.ru
Университет ИТМО
191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9
Волков М.А. alex78477@ya.ru
Санкт-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров
198095, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4

Проведен анализ струйных продольных систем вентиляции автостоянок закрытого типа. Рассмотрена математическая модель вентиляционных процессов, протекающих в таких системах. На основе данной модели показано наличие обратных воздушных потоков, а именно отрицательных значений скоростей. При этом показано, что чем выше скорость в выходном патрубке вентилятора, тем меньше проявляются обратные воздушные потоки. Рассмотрены различные сценарии пожара и схемы системы дымоудаления.
Ключевые слова: системы вентиляции, системы дымоудаления, автостоянки закрытого типа.

DOI:10.17586/2310-1148-2016-9-4-23-32

Computational methods design longitudinal jet ventilation systems in parking lots of closed type

Sverdlov A.V. alexander.sverdlov@flaktwoods.com
Volkov A.P. alex78477@ya.ru
Air Comfort & Fire Safety Europe
117418, Russia, Moscow, Profsoyuznaya St., 23
Ph.D. **Rykov S.V.** togg1@yandex.ru
Klimovich M.V. togg1@yandex.ru
ITMO University
191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9
Volkov M.A. alex78477@ya.ru
Saint Petersburg State Technological University of Plant Polymers
198095, Russia, St. Petersburg, Ivan Chernykh St., 4

The analysis of the jet longitudinal ventilation systems in parking lots of closed type. The mathematical model of ventilation processes occurring in such systems. Based on this model show the presence of a reverse air flow, namely negative values of velocities. It is shown that the higher the speed in the fan outlet, the less manifest the reverse air flow. Considered various scenarios of fire and schematics smoke extraction systems.
Keywords: ventilation, smoke exhaust system, gated car park.

Преимущества струйных продольных систем вентиляции автостоянок закрытого типа достаточно подробно описаны в работах [1–6] и признаны как за рубежом, так и в России. В странах ЕС такие системы вентиляции считаются типовым техническим решением для крытых и подземных автостоянок жилых и общественных зданий [7].

В России, в настоящее время, струйные системы вентиляции применяются только в тоннелях. Рекомендации АВОК [8] в наибольшей степени соответствуют современному подходу к проектированию продольных сис-

тем вентиляции автодорожных тоннелей. В отечественных автостоянках закрытого типа струйная вентиляция до сих пор не применялась по причинам нормативного характера.

Европейские стандарты [9] сформулировали наиболее важные требования по безопасности людей, находящихся на автостоянке в обычном и аварийном режимах работы. Но в стандартах отсутствуют методики расчета пригодные для проектирования струйных вентиляционных систем. Последнее объясняется сложностью разработки струйных вентиляционных систем применительно к автостоянкам. Если в тоннеле вентиляционный поток, создаваемый струйными вентиляторами, движется вдоль линии, то в автостоянке процесс развивается на плоскости, что существенно усложняет расчет и проектирование системы струйной вентиляции.

Струйная вентиляционная система включает в себя собственно струйные вентиляторы, размещенные на потолочных перекрытиях и приточно-вытяжную (аварийную и штатную) вентиляцию. В настоящее время вентиляторы приточной и вытяжной вентиляции часто совмещают функции противодымной и штатной вентиляции. В этом случае дымоудаление при пожаре является для них режимом максимальной нагрузки, а штатный режим обычно требует мощности вентиляторов равной около 25 % от максимальной.

Аварийный режим (пожар) является наиболее ответственным и тяжелым для вентиляционной системы автостоянки, определяющий уровень мощности противодымных приточных и вытяжных вентиляторов, количество и тип струйных вентиляторов [10]. В настоящее время приточно-вытяжная и струйная вентиляция, используемая как в режиме штатной общеобменной вентиляции так и в аварийном режиме, часто использует реверс воздушного потока [11].

Основным инструментом, применяемым для проектирования струйных систем вентиляции автостоянок, является численное моделирование, базирующееся на фундаментальных закономерностях механики жидкости и газов [12].

Математическое моделирование вентиляционных процессов основано на решении системы уравнений.

1. Уравнение неразрывности, выражающее закон сохранения вещества:

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

2. Уравнение движения или импульса Новье-Стокса:

$$\rho \frac{d\vec{v}}{dt} = \rho \vec{F} + div\bar{\bar{P}}\,. \tag{2}$$

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

$$\rho \frac{dU}{dt} = \bar{\bar{P}}\bar{\bar{S}} + \rho q\,, \tag{3}$$

где ρ – плотность; $\vec{v}$ – вектор скорости; t – время; $\vec{F}$ – вектор силы в трехмерных координатах; $\bar{\bar{P}}$ – тензор напряжений; U – удельная внутренняя энергия; $\bar{\bar{S}}$ – тензор скоростей деформации.

Представленные уравнения (1)–(3) обычно преобразуют в систему из пяти скалярных уравнений в частных производных в декартовой или криволинейной системе координат.

Кроме того существует тензорное реологическое уравнение для ньютоновских сред, связывающее касательные напряжения с вязкостью среды и скоростью деформаций:

$$\bar{P} = -p\bar{\bar{E}} + \bar{\bar{T}}\,, \tag{4}$$

в котором

$$\bar{\bar{T}} = 2\mu\bar{\bar{S}} - \frac{\bar{\bar{E}}}{3} div\ \overrightarrow{v}\,,$$

где p – давление; $\bar{\bar{E}}$ – тензорная единица; $\bar{\bar{T}}$ – тензор вязких напряжений; μ – динамическая вязкость.

На основе уравнения (4) составляют систему из шести уравнений в декартовой или криволинейной системе координат, связывающую касательные и нормальные напряжения с составляющими тензора скоростей деформации.

Решение данных систем уравнений, разработка математических моделей применительно к процессам распределения воздуха в системах вентиляции и кондиционирования воздуха в жилых и общественных зданиях, спортивных сооружениях и промышленных объектах достаточно полно и на современном уровне рассмотрено в монографии [13].

Математическое моделирование процессов тепло и массообмена при вентиляции автостоянок закрытого типа осуществляется в процессе проектирования применительно к режиму удаления продуктов горения от очага пожара.

Такие математические модели принято называть CFD (Computer Fluid Dynamics) моделями. В настоящее время CFD модели разработаны и применяются ведущими компаниями, специализирующимися на инжиниринговых услугах в части вентиляционных систем подземных и крытых автостоянок. В отечественной практике также известны работы в данном направлении [14]

Кроме собственно исследования процесса воздухораспределения рассматриваются физические и математические модели, перечисленные ниже:

– полевая математическая модель пожара;
– модель процесса турбулентности;
– модель горения;
– модель распространения пламени;
– модель радиационного теплопереноса.

1. В России исследования с использованием методов вычислительной гидродинамики применительно к сценарию пожара на подземной автостоянке было выполнено в Академии МЧС [15].

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 кинетической энергии турбулентности и скорости диссипации энергии.

Моделирование производилось в трехмерной нестационарной постановке в декартовой системе координат. Реализация процессов турбулентного переноса осуществлялась с помощью стандартной *k*-ε модели турбулентности, учитывающей эффекты плавучести. В ней решаются два уравнения переноса: одно для турбулентной кинетической энергии *k* и второе для вязкостной диссипации этой энергии ε во внутреннюю энергию жидкости.

Консервативные величины Φ, коэффициенты переноса Γ_ϕ и источниковые члены S_ϕ, соответствующие каждому уравнению, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры и коэффициенты основной системы уравнений

Φ	Γ_ϕ	S_ϕ
1	0	0
u_i	$\mu + \mu_\tau$	$\rho g_i - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\mu + \mu_\tau \frac{\partial \mu_j}{\partial x_i} \right)$
h	$\frac{\mu + \mu_\tau}{\mathrm{Pr}}$	0
k	$\frac{\mu + \mu_\tau}{\sigma_k}$	$G_k + G_B - \rho\varepsilon$
ε	$\frac{\mu + \mu_\tau}{\sigma_\varepsilon}$	$\frac{G_1\varepsilon \ G_k + G_B \ - G_2\rho\varepsilon^2}{k}$

В табл. 1:

$$\mu_\tau = \frac{\rho C_\mu k^2}{\varepsilon},\ G_k = \mu_\tau \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j},\ \beta = -\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p,\ G_B = -\beta g_i \frac{\mu_\tau}{\sigma_\tau} \frac{\partial T}{\partial x_i}.$$

Стандартная модель турбулентности *k*–ε, являющаяся полуэмпирической, позволяет определить ряд величин из опытных данных:

$$C_{\mu} = 0{,}09;\ C_1 = 1{,}44;\ C_2 = 1{,}92;\ \sigma_k = 1{,}0;\ \sigma_{\varepsilon} = 1{,}3;\ \sigma_t = 1{,}3;$$

$$Pr = Sc_{fu} = Sc_f = 0{,}7.$$

Плотность газа вычислялась из уравнения состояния идеального газа. Давление определялось с использованием уравнения для поправок давления согласно итерационной схеме SIMPLEC.

Аналитические расчеты значений скорости производились в цилиндрических координатах по формуле для затопленных турбулентных осесимметричных струй, создаваемых струйными вентиляторами:

$$u^2 = U_{\infty}^2 + \sum_{i=1}^{n} \alpha_i \left(\frac{k_{0i} D_i U_{0i}}{x - x_i} \right)^2 \exp \frac{r_i^2}{k_i^2 \left(x - x_i \right)^2}, \qquad (5)$$

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.

Расчет температурных, скоростных и концентрационных полей в зоне действия струйного вентилятора выполнялся в трехмерной декартовой системе координат. Для определения полей переменных использовалась совмещенная сетка. При моделировании рассматривался пожарный отсек автостоянки 900 м^2. Количество контрольных объёмов 67500 (90x15x50).

На рис. 1 показана схема моделируемого помещения автостоянки закрытого типа оснащенного струйным вентилятором.

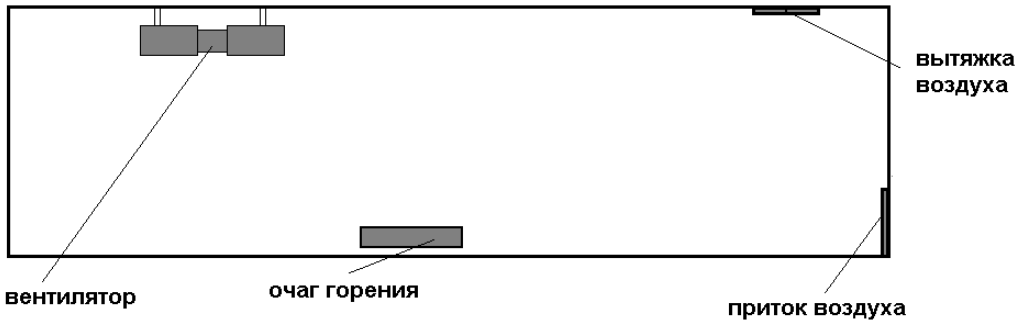

Рис. 1. Схема моделируемого помещения

Расчеты проводились с временным шагом 0,1 с и сходимостью по разности масс 0,1%.

На рис. 2 и 3 приведены профили скоростей воздушного потока в вертикальной и горизонтальной плоскостях на расстоянии 16 м от выходного отверстия вентилятора.

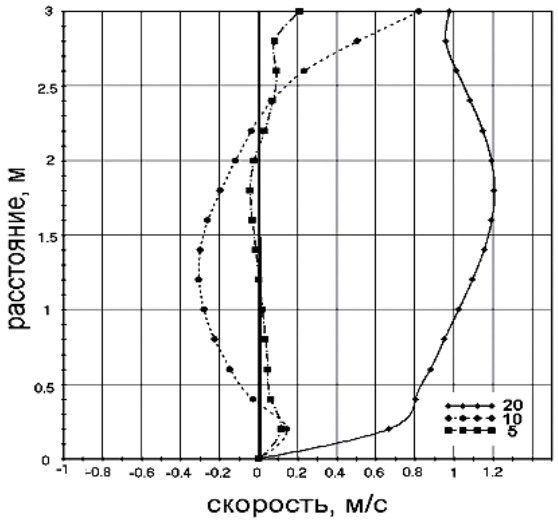

Рис. 2. Профили скорости воздушного потока в вертикальной плоскости на расстоянии 16 м от выходного патрубка вентилятора

Скорость в выходном отверстии струйного вентилятора U_{0i} варьировалась в пределах 5, 10 и 20 м/с.

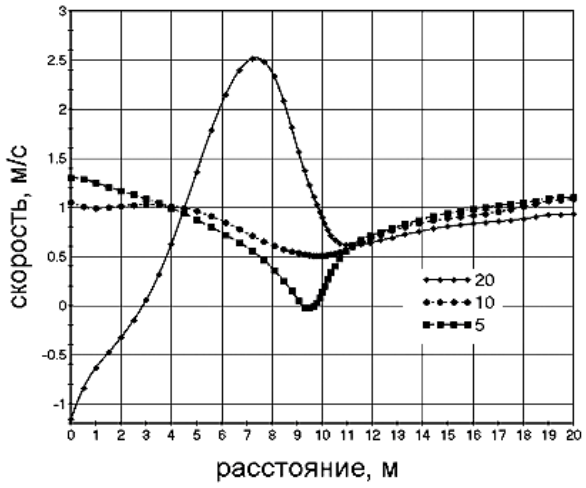

Рис. 3. Профили скорости воздушного потока в горизонтальной плоскости на расстоянии 16 м от выходного патрубка вентилятора

Профили скоростей не являются симметричными относительно оси вала вентилятора. Это объясняется тем, что в рассматриваемых задачах моделируется очаг горения, центр которого находится в плоскости оси вентиляторов, а также наличием отверстий в помещении для притока и вытяжки воздуха.

Важным результатом моделирования воздушных потоков, создаваемых струйными вентиляторами, является наличие обратных воздушных потоков, а именно отрицательных значений скоростей. Чем выше скорость в выходном патрубке вентилятора, тем меньше проявляются обратные воздушные потоки. Правильнее говорить о подборе струйного вентилятора по значению осевой реактивной тяги.

Теоретическая (идеальная) тяга вентилятора без учёта потерь может быть определена по формуле, вытекающей из закона сохранения импульса:

$$F_f = M_0 U_{0i} = A_0 \rho_0 U_{0i}^2, \quad (6)$$

где M_0 – массовый расход (массовая скорость) воздуха в выходном сечении, кг/с; $A_0 = \pi \cdot D_i^2 / 4$ – площадь сечения выходного патрубка вентилятора, м^2; ρ_0 – плотность воздуха, кг/м^3.

Получены результаты моделирования воздушной струи осевого вентилятора с осевой номинальной реактивной тягой $F_н$ = 50 Н применительно к автостоянкам площадью 900 и 1800 м^2. Средняя скорость воздушного потока в сторону отверстий дымоудаления принималась 1,2 м/с.

Применительно к данным моделям сформулирован ряд практических рекомендаций :

1. При оснащении системой струйной вентиляции автостоянок подземных и надземных закрытого типа, имеющих несложную конфигурацию и высоту этажа не более 3 м, расстояние между параллельно расположенными вентиляторами не должно превышать 10 м.

2. Расстояние между последовательно (в струе) расположенными вентиляторами не должно превышать 30 м, причем скорость потока воздуха на выходных патрубках вентиляторов должна составлять не менее 20 м/с (при значении осевой реактивной тяги 50 Н – по условиям моделирования).

Разработанная модель позволила выполнить анализ полей скоростей воздушных потоков рис. 2 и концентраций продуктов горения при возникновении и развитии пожара рис. 3 для автостоянки с заданными параметрами по объемно-планировочным решениям и системе струйной вентиляции, включая производительность вентиляторов дымоудаления, типоразмер и расположение струйных вентиляторов.

Таким образом, осуществляется проверка конкретных проектных решений по системе вентиляции автостоянки. В литературе такое моделирование иногда называется испытанием с использованием методов вычислительной гидродинамики. Оптимизация [16] проектных решений требует проведения сравнительного анализа различных вариантов струйной системы вентиляции. При этом определяющими являются следующие параметры:

– производительность вентилятора дымоудаления;

– выбор типоразмера струйных вентиляторов;

– определение количества и взаиморасположения струйных вентиляторов.

Точность полученных результатов моделирования [16–18], обусловленная допущениями принятыми при разработке математической модели может составлять 10–15 %. Кроме того, при постановке задачи следует учитывать, что важнейшим фактором, влияющим на воздухораспределение является заполнение парковочного пространства автомашинами. На современных автостоянках высота потолочных перекрытий составляет 3,5–2,5 м, причем имеется тенденция к снижению высоты потолков, что позволяет более эффективно использовать подземное пространство.

На рис. 4–7 показаны варианты парковки автомобилей, затеняющих площадь сечения помещения автостоянки и препятствующих вентиляционному воздушному потоку.

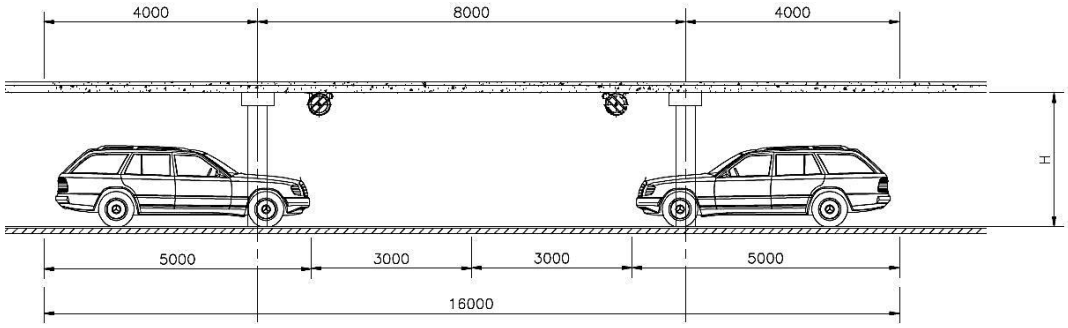

Рис. 4. Расположение автомашин боком к вентиляционному воздушному потоку и струйных вентиляторов у колонн

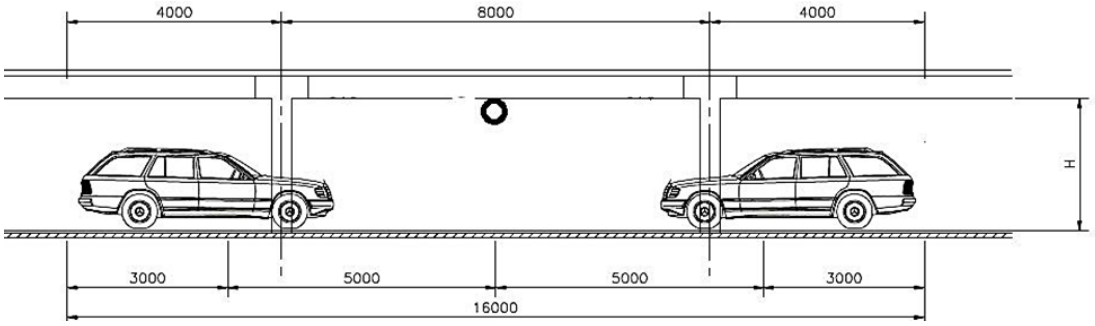

Рис. 5. Расположение автомашин боком к вентиляционному воздушному потоку и струйных вентиляторов над центром дорожного полотна

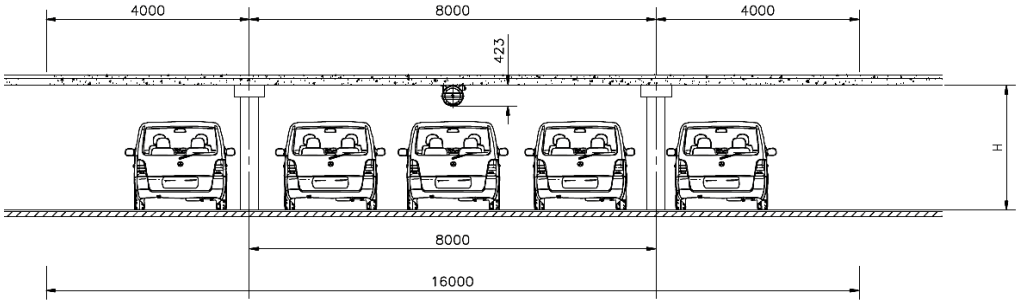

Рис. 6. Расположение автомашин вдоль вентиляционного воздушного потока и струйных вентиляторов над парковочными местами

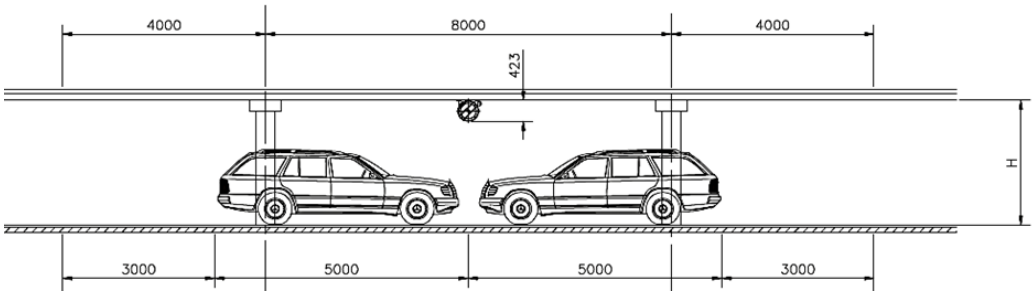

Рис. 7. Расположение автомашин боком к вентиляционному воздушному потоку и струйных вентиляторов над парковочными местами

Очевидно, что заполнение транспортом автостоянки носит случайный характер, поэтому обычно принимают наиболее тяжелый для вентиляционной системы вариант, когда на стоянке максимальное количество автомашин.

Использование CFD моделей для многовариантных расчетов вентиляционной системы автостоянки затруднительно по ряду причин:

– высокая стоимость программных продуктов;

– большие затраты времени и денежных средств на выполнение расчетов с использованием CFD моделей;

– недостаточная квалификация персонала и большие затраты на его обучение.

Поэтому к CFD моделированию прибегают при сложных объемно-планировочных решениях и возникновении конкретных проблем с системой вентиляции автостоянки. Как правило, CFD моделирование используют на завершающей стадии проектирования для проверки принятых проектных решений перед проведением экспертизы.

Расчет струйной системы вентиляции автостоянки на стадии эскизного проектирования или при составлении технико-коммерческого предложения предпочтительно выполнять на базе упрощенной аналитической модели. При этом необходимо оценить погрешность полученных результатов по сравнению с базовой CFD моделью.

Наиболее распространенным подходом при моделировании движения дымовых газов в помещении, где произошел пожар, является моделирование по числу Фруда.

Число Фруда определяет соотношение между силами инерции и гравитационными силами. Так как плавучесть горячих дымовых газов есть гравитационная сила, то число Фруда является очень важным при физическом моделировании распространения дыма при возникновении пожара.

В зависимости от особенностей сценария пожара и схемы системы дымоудаления существуют различные формы представления данного критерия. Наиболее распространенная форма представления числа Фруда следующая:

$$Fr = \frac{U^2}{gl}, \tag{7}$$

где U – скорость, м/с; $.l$ – характерный размер, м.

При расчете противодымной защиты в соответствии с [19] используют форму представления числа Фруда как корень квадратный из (7), а именно:

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{gl}}. \quad (8)$$

Основные представления, касающиеся числа Фруда и соотношений подобия при моделировании по Фруду одинаковы независимо от того какой вариант написания формулы данного критерия используется.

Моделирование по Фруду приемлемо для описания распространения дыма вдали от очага пожара, где пламя достигает потолочного перекрытия. Такой подход допустим исходя из нормативных требований к сценарию пожара в закрытой автостоянке. Рассматривается пожар одного автомобиля с тепловой мощностью очага горения 4 МВт (5 МВт для России), когда сам очаг пожара можно рассматривать как точечный, размеры которого несоизмеримо малы по сравнению с площадью автостоянки, оснащенной автоматической (спринклерной) системой пожаротушения. В случае если пожаром охвачено все помещение, а продукты горения вырываются в проемы, моделирование по Фруду не даст достоверного результата. Учет прочности конструкций может быть проведен с учетом результатов, полученных в [20, 21].

При использовании традиционной канальной системы вентиляции автостоянок дымоудаление осуществляется по поперечной схеме. В этом случае при возникновении пожара в подпотолочном пространстве создается резервуар дыма, а задачей противодымной вентиляции является удержание нижней границы дыма на уровне, обеспечивающем безопасную эвакуацию людей из автостоянки.

Анализ зарубежного опыта свидетельствует, что разработка упрощенной аналитической модели для предварительного (приблизительного) расчета параметров системы струйной вентиляции автостоянки является актуальной задачей.

Литература

1. *Вишневский Е.П., Волков А.П.* Противодымная защита крытых и подземных автопарковок, оборудованные струйной (импульсной) вентиляцией // Мир строительства и недвижимости. – 2012, № 44, С. 54 –56.
2. *Свердлов А.В., Волков А.П., Рыков С.В., Волков М.А*. Реверсивная струйная вентиляция и рекуперация как новое энергоэффективное проектное решение для крупных многоуровневых автостоянок // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2016. № 1. С. 9–16.
3. *Волков А.П., Свердлов 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. С. 27–36.
4. *Волков А.П., Свердлов А.В., Рыков С.В.* Управление экологической безопасностью подземных транспортных сооружений при различных режимах движения транспортных средств // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2015. № 3. С. 179–192.
5. *Волков А.П., Свердлов А.В., Рыков С.В.* Экология и расчет воздухообмена подземных автостоянок // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2014. № 3. С. 9-16.
6. *Волков А.П., Гримитлин 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.
7. *Йос Виссник, Карлос Вогет.* Вентиляция в подземных гаражах. Опыт Германии // Мир строительства и недвижимости. – 2012, № 43, С. 58.
8. Р НП «АВОК» 7.6 – 2013. Определение параметров продольной системы вентиляции автодорожных тоннелей.
9. 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.
10. *Волков А.П.* Продольная система дымоудаления в подземных сооружениях, оснащенных струйными вентиляционными системами // С.О.К. Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2013, № 8, С. 82–88.
11. *Волков А.П., Свердлов А.В.* Реверс воздушного потока при продольной вентиляции и дымоудалении подземных и крытых автостоянок // АВОК Вентиляция. Отопление. Кондиционирование. – 2015. № 1, С. 34–38.
12. *Ден Г.Н.* Введение в термогазодинамику реальных газов. Курс лекций. СПб. Изд-во СПбГТУ 1998.
13. Математическое моделирование в проектировании систем вентиляции и кондиционирования /А.М. Гримитлин, Т.А. Дацюк, Д.М. Денисихина – СПб: АВОК Северо – Запад, 2013. – 192с

14. *Есин В.М., Калмыков С.П.* Дымоудаление и вентиляция автостоянок закрытого типа при помощи струйных вентиляторов. Обоснование основных параметров, обеспечивающих эффективную работу струйных вентиляторов // Актуальные проблемы пожарной безопасности: Материалы Международной науч. – практ. конф. – Ч. 1. – М.: ВНИИ ПО, 2008. – С. 176 – 178.
15. *Калмыков С.П.* Моделирование процессов тепло- и массопереноса при работе системы струйной вентиляции автостоянок закрытого типа: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.26.03. — М., 2008. — 24 с.
16. Методы оптимизации в примерах в пакете MathCad 15. Ч. II: Учеб. пособие / С.В. Рыков, И.В. Кудрявцева, С.А. Рыков, В.А. Рыков. – СПб.: Университет ИТМО, 2015. – 178 с.
17. *Буткарев А.Г., Рыков С.А.* Формирование чертежа по твердотельной модели в autocad // Учеб. пособие. Федер. агентство по образованию, Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования С.-Петерб. гос. ун-т низкотемператур. и пищ. технологий". СПб., 2004.
18. *Рыков С.В., Кудрявцева И.В., Янорская А.Н., Камоцкий В.И.* Использование пакета MathCad при подготовке студентов экологических и экономических направлений // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2014. № 2. С. 16.
19. *Клоут Дж., Милке Дж.* «Принципы противодымной защиты», 2002 / Klote J. and Milke J. Principles of Smoke Management, 2002.
20. *Рыков С.А., Кудрявцева И.В., Рыков С.В.* Мобильные широкополосные демпферы для демпфирования колебаний пластинчатых конструкций // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2014. № 3. С. 90–97.
21. *Рыков С.А., Рыков С.В.* Выбор рациональной конструкции мобильного демпфера для пластинчатых конструкций холодильных машин // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2015. № 1. С. 51–58.

References

1. Vishnevsky E.P., Volkov A.P. Antismoke protection of the covered and underground autoparkings, equipped with jet (pulse) ventilation//*the World of construction and the real estate.* – 2012, No. 44, P. 54 – 56.
2. Sverdlov A.V., Volkov A.P., Rykov S.V., Volkov M.A. Reversive jet ventilation and recovery as the new energy efficient design decision for large multilevel parkings//*the NIU ITMO Scientific magazine. Series: Refrigerating equipment and conditioning.* 2016. No. 1. P. 9–16.
3. Volkov A.P., Sverdlov A.V., Rykov S.V., Volkov M.A. An energy efficiency factor at the choice of parameters of system of ventilation of parking of the closed type // *the NIU ITMO Scientific magazine. Series: Refrigerating equipment and conditioning.* 2015. No. 3. P. 27–36.
4. Volkov A.P., Sverdlov A.V., Rykov S.V. Management of ecological safety of underground transport constructions at various modes of the movement of vehicles // *the NIU ITMO Scientific magazine. Series: Economy and ecological management*. 2015. No. 3. P. 179–192.
5. Volkov A.P., Sverdlov A.V., Rykov S.V. Ekologiya and calculation of air exchange of underground parkings // *NIU ITMO Scientific magazine. Series: Refrigerating equipment and conditioning.* 2014. No. 3. P. 9–16.
6. Volkov A.P., Grimitlin A.M., Rykov S.V. A method of calculation of ventilating system of the parking of the closed type // *the NIU ITMO Scientific magazine. Series: Refrigerating equipment and conditioning*. 2014. No. 2 (15). P. 45–57.
7. Jos Vissnik, Carlos Voget. Ventilation in underground garages. Experience of Germany // *World of construction and real estate*. – 2012, No. 43, P. 58.
8. P NP AVOK 7.6 – 2013. Determination of parameters of longitudinal system of ventilation of road tunnels.
9. 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.
10. Volkov A. P. Longitudinal system of smoke removal in the underground constructions equipped with jet ventilating systems // *S.O.K. Plumbing fixtures, heating, conditioning*. – 2013, No. 8, P. 82–88.
11. Volkov A.P., Sverdlov A.V. Revers of an air stream at longitudinal ventilation and smoke removal of the underground and covered parkings // *AVOK Ventilation. Heating. Conditioning.* – 2015. No. 1, P. 34–38.
12. Den G.N. Introduction to thermogas dynamics of real gases. Course of lectures. SPb. Publishing house SPbGTU of 1998.
13. Mathematical modeling in design of systems of ventilation and conditioning/A.M. Grimitlin, T.A. Datsyuk, D.M. Denisikhina – SPb: Severo's AVOK – the West, 2013. – 192 p.
14. Yesin V.M., Kalmyks S.P. Smoke removal and ventilation of parkings of the closed type by means of jet fans. Justification of the key parameters ensuring effective functioning of jet fans//Urgent problems of fire safety: Materials International– P.1. – M.: The All-Russian Research Institute ON, 2008. – P. 176 – 178.

15. Kalmyks S.P. Modeling of processes warm and a mass transfer during the work of system of jet ventilation of parkings of the closed type: автореф. yew. Cand.Tech.Sci.: 05.26.03. — M, 2008. — 24 pages.
16. Optimization methods in examples in a MathCad 15 package. P. II: Studies. grant / S.V. Rykov, I.V. Kudryavtseva, S.A. Rykov, V.A. Rykov. – SPb.: ITMO university, 2015. – 178 p.
17. Butkarev A.G., Rykov S.A. Formation of the drawing on solid-state model in autocad//Studies. grant. Feder. agency by training, State. to form. establishment высш. the prof. of education of S. - Peterb. state. un-t of low-temperatures. and пищ. technologies". SPb., 2004.
18. S.V., Kudryavtsev I. V. roars., Yanorskaya A. N., Kamotsky V. I. Use of a MathCad package when training students of the ecological and economic directions // *the NIU ITMO Scientific magazine. Series: Economy and ecological management.* 2014. No. 2. P. 16.
19. Klout Dzh., Milke Dzh. "Principles of antismoke protection", 2002/Klote J. and Milke J. Principles of Smoke Management, 2002.
20. S. A., Kudryavtsev I. V. roars., Rykov S. V. Mobile broadband dampers for damping of fluctuations of lamellar designs // *the NIU ITMO Scientific magazine. Series: Refrigerating equipment and conditioning.* 2014. No. 3. P. 90–97.
21. Roars S. A., Rykov S. V. The choice of a rational design of a mobile damper for lamellar designs of refrigerators // *the NIU ITMO Scientific magazine. Series: Refrigerating equipment and conditioning*. 2015. No. 1. P. 51–58.

Статья поступила в редакцию 13.10.2016 г.