

Проектирование систем противодымной вентиляции современных автостоянок закрытого типа с использованием математических моделей на основе числа Фруда

А. В. Свердлов, генеральный директор FläktGroup Россия

А. П. Волков, эксперт FläktGroup Россия

Современные системы противодымной вентиляции автостоянок закрытого типа имеют тенденцию к увеличению производительности вентиляторов дымоудаления, что справедливо как для традиционных канальных поперечных систем [1, 2], так и для более современных продольных систем вентиляции, использующих реверсивные и однонаправленные струйные вентиляторы [3].

В работе [1] показано, что в европейской практике принято использовать канальные системы противодымной вентиляции автостоянок с производительностью примерно в 1,5–2,0 раза большей, чем в России. Последнее обстоятельство заметно влияет на выбор схемы системы противодымной вентиляции. Использование более крупногабаритных воздухопроводов системы дымоудаления в больших помещениях современных автостоянок может быть затруднено из-за незначительной высоты потолочных перекрытий — 2,5–3,5 м.

Расчет системы противодымной 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. Плаваемость горячих дымовых газов есть гравитационная сила, поэтому число Фруда является очень важным элементом физического моделирования 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:

$$Fr = \frac{U^2}{gl}, (1)$$

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

Основные представления, касающиеся числа Фруда и соотношений подобия при моделировании по Фрудру, одинаковы независимо от того, какой вариант написания формулы данного критерия используется. Моделирование по Фрудру 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. Обычно рассматривается пожар одного автомобиля с тепловой мощностью очага горения 4 МВт (5 МВт для России), когда сам очаг пожара можно представить как точечный, размеры которого малы по сравнению с площадью автостоянки, оснащенной автоматической (спринклерной) системой пожаротушения [4].

Моделирование по Фрудру (Fr) используется при определении основных параметров продольных, струйных систем дымоудаления в автостоянках закрытого типа. При продольном дымоудалении высота потолочных перекрытий не является фактором риска.

При возникновении пожара включаются приточная и вытяжная системы противодымной вентиляции. Поток холодного приточного воздуха, подаваемый в нижнюю часть помещения автостоянки, должен обеспечить удержание нижней границы горячих дымовых газов на высоте Y , которая должна быть, в соответствии с нормативными требованиями, не менее 2 м. Включение группы струйных вентиляторов осуществляется с задержкой, необходимой для эвакуации людей из задымленной зоны автостоянки. Формирование дымовых зон при использовании однонаправленных и реверсивных продольных систем дымоудаления автостоянок рассмотрено в работе [3].

На рис. 1 показан механизм формирования разноразностных и разноплотностных потоков воздуха и дымовых газов.

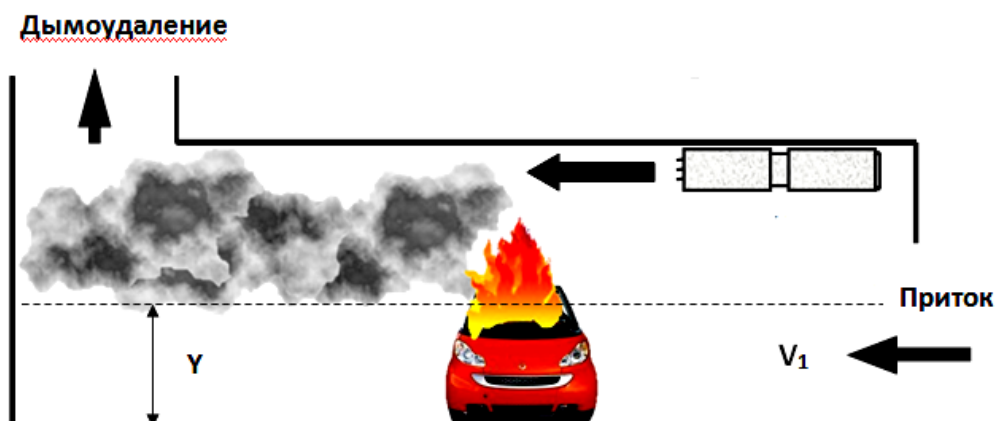


Рис. 1. Схема продольной, струйной системы дымоудаления автостоянки

В зоне очага горения разделение потоков холодного приточного воздуха и горячих дымовых газов без перемешивания и обратного движения газовой смеси обеспечивается при значениях Fr от 4,5 до 6,0 [5]. Обычно при расчетах принимают значение $Fr = 4,5$ или менее при наличии больших пожарных рисков.

Значение Fr для рассматриваемой модели может быть вычислено по формуле:

$$Fr = \frac{9,8Y(T_m - T_0)}{T_m V_1^2}, \quad (7)$$

где T_0 — температура холодного приточного воздуха, К;

T_m — температура газовой смеси за очагом горения, К;

V_1 — скорость приточного воздуха перед очагом горения, м/с.

Приняв условия по температурам T_m и T_0 100 и 15 °С, построим график (см. рис. 2) скорости V_1 в близких к критическим значениям числа Fr .

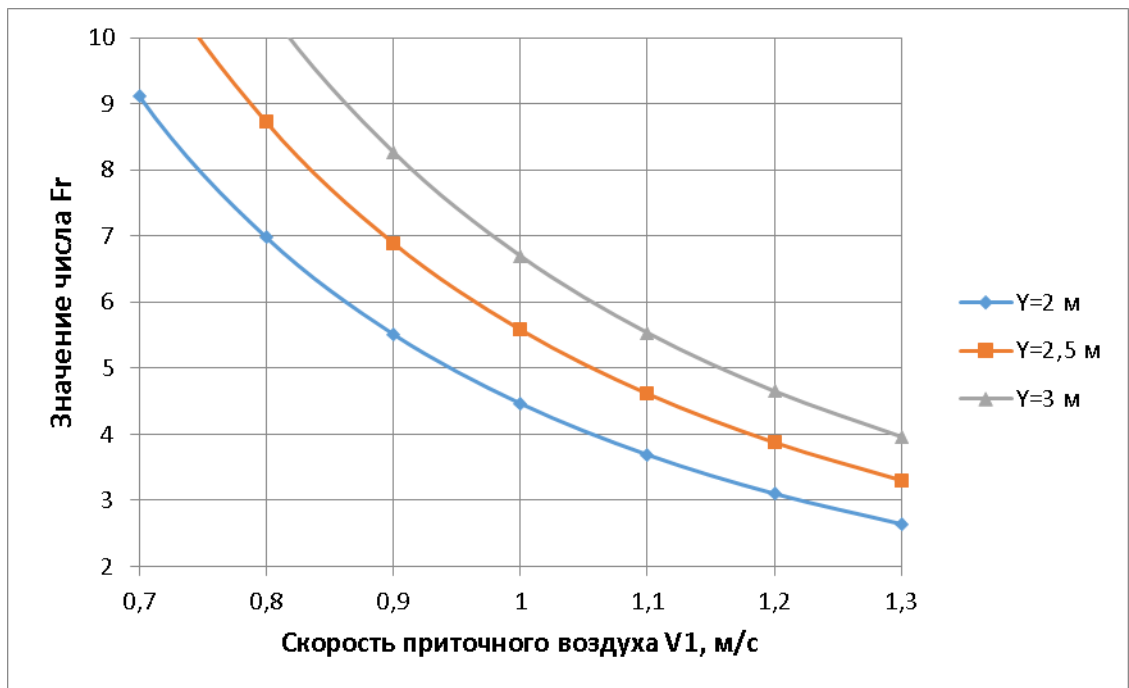


Рис. 2. График зависимости значения числа Fr от скорости приточного воздуха V_1 при заданных значениях высоты нижней границы горячих дымовых газов Y

В работе [6] показано, что дополнительным фактором риска при пожаре в подземной многоярусной автостоянке является возможный локальный перегрев в зоне пожара, поскольку в данном случае ограждающие конструкции не являются эффективным стоком теплоты. Продольные струйные системы дымоудаления обеспечивают удаление избытков теплоты за счет увеличения производительности приточной и вытяжной систем противодымной вентиляции. Струйные вентиляторы охлаждают зону перегрева на потолочном перекрытии. Снижение температура газовой смеси происходит по мере движения дымовых газов от очага горения к отверстиям дымоудаления при перемешивании с приточным воздухом.

Влияние температуры газовой смеси на выбор скорости приточного воздуха при $Y = 2$ м показано на рис. 3.

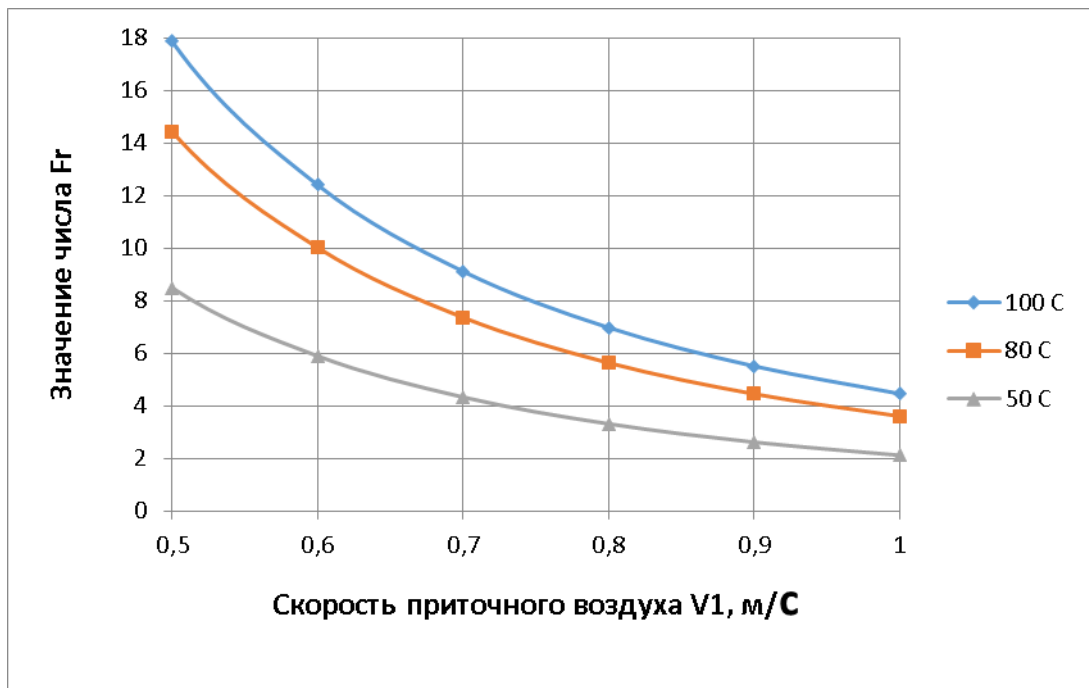


Рис. 3. График зависимости значения числа Fr от скорости приточного воздуха V_1 при заданных значениях температуры газовоздушной смеси T_m

Из представленных данных (см. рис. 2 и 3) следует, что оптимальное значение скорости воздуха V_1 находится в пределах от 0,7 до 1,0 м/с.

Однако приближенная оценка значения V_1 недостаточна. При проектировании необходимо определить минимально допустимое значение V_1 , которое считается критическим $V_{1кр}$. Данный параметр определяет производительность вентиляторов дымоудаления и размер вентиляционных шахт, одновременно являясь гарантией безопасности и защиты путей эвакуации при пожаре.

Основной нормируемый параметр пожара на автостоянке — это конвективная мощность очага горения Q_k . Пожар одного автомобиля $Q_k = 2,7$ МВт при наличии автоматической системы пожаротушения. При ее отсутствии предполагается пожар двух автомобилей $Q_k = 5,4$ МВт.

Используя (7), можно получить выражение для $V_{1кр}$:

$$V_{1кр} = \sqrt{\frac{9,8Y(T_m - T_0)}{FrT_m}}. \quad (8)$$

Для замены T_m используем выражение:

$$T_m = T_0 + \frac{Q_k}{\rho_E C_p B Y V_{1kp}}, \quad (9)$$

где C_p — удельная изобарная теплоемкость продуктов сгорания и воздуха, кДж/(кг·К); принимают равной 1,09;

ρ_E — плотность приточного воздуха, кг/м³;

B — ширина парковки, перпендикулярная вентиляционному воздушному потоку, м.

После ряда операций получим кубическое уравнение:

$$V_{1kp}^3 + D V_{1kp}^2 - DA = 0, \quad (13)$$

где

$$D = \frac{Q_k}{T_0 \rho_E C_p B Y}; \quad A = \frac{9,8Y}{Fr}.$$

Для решения уравнения (13) используем метод Кардано:

$$V_{1kp} = \sqrt[3]{-\frac{M}{2} + \sqrt{\frac{M^2}{4} + \frac{L^3}{27}}} + \sqrt[3]{-\frac{M}{2} - \sqrt{\frac{M^2}{4} + \frac{L^3}{27}} - \frac{D}{3}}, \quad (14)$$

где

$$L = -\frac{D^2}{3}; \quad M = D \left(\frac{2D^2}{27} - A \right).$$

Уравнение (14) имеет важное практическое значение. Показано влияние на искомое значение V_{1kp} не только константы Q_k , Y , Fr , но и параметров наружного воздуха. Для практических целей важно показать влияния параметра B , который называют размером зоны локализации очага горения. На стадии принятия объемно-планировочных решений следует учитывать, что за счет уменьшения поперечного сечения помещения автостоянки B и правильного расположения вентиляционных шахт можно существенно уменьшить производительность вентиляторов дымоудаления и размер сечения вентиляционных шахт.

На рис. 4 показано влияние B на V_{1kp} при $Y = 2$ м и $Fr = 4,5$ при пожаре одного и двух автомобилей.

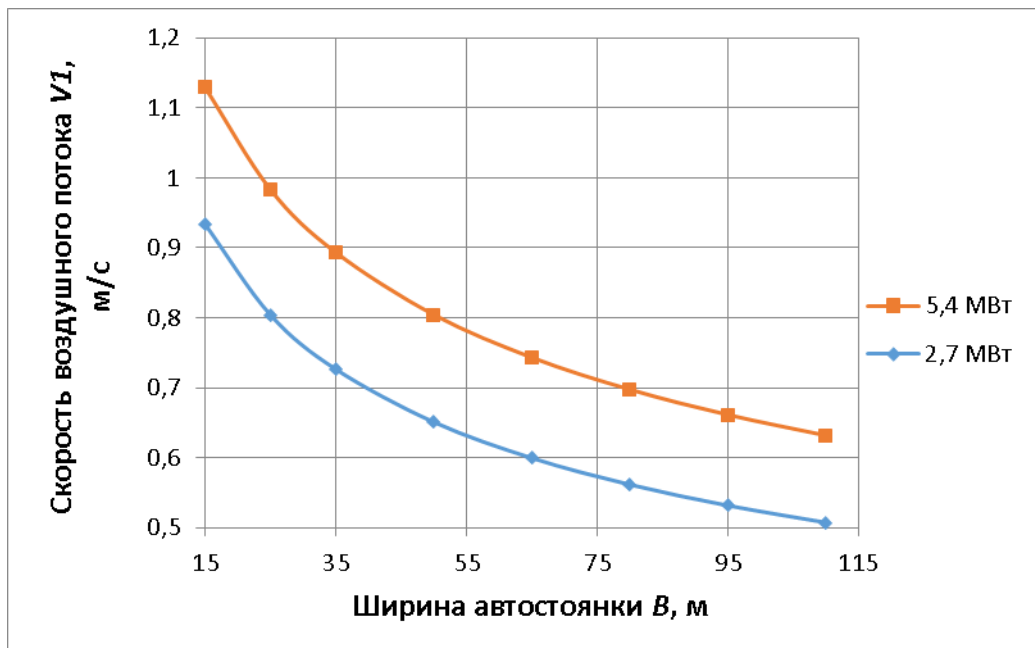


Рис. 4. График зависимости скорости $V_{1кр}$ от ширины помещения автостоянки B при пожаре одного и двух автомобилей

Температура продуктов горения T_m (К) за очагом горения перед вентилятором дымоудаления не должна превышать 673 К:

$$T_m = T_0 \left(1 + \frac{D}{V_{кр}} \right). \quad (15)$$

При повышенных пожарных нагрузках конфигурация помещения оказывает влияние на температурный режим автостоянки во время пожара, что показано на рис. 5.

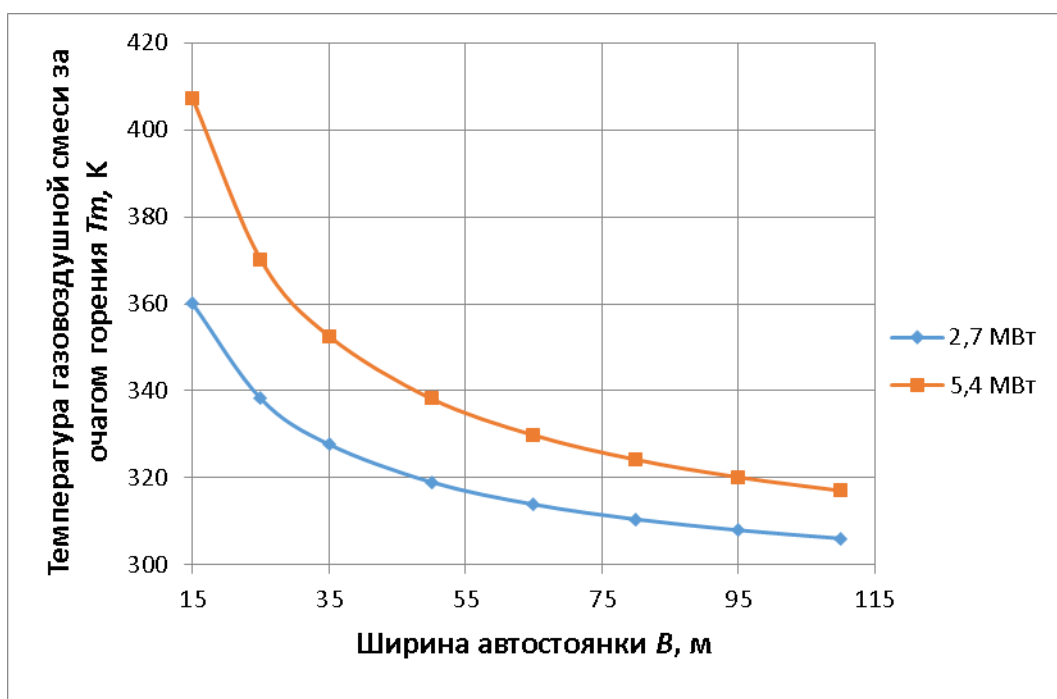


Рис. 5. График зависимости температуры T_m от ширины помещения автостоянки B при пожаре одного и двух автомобилей

Минимальная производительность вентилятора дымоудаления, $\text{м}^3/\text{час}$:

$$V_{\text{в.х}} = 3600V_{\text{к.р}} \text{BY} \frac{T_m}{T_0}, \quad (16)$$

V_{ex} представлена на рис. 6.

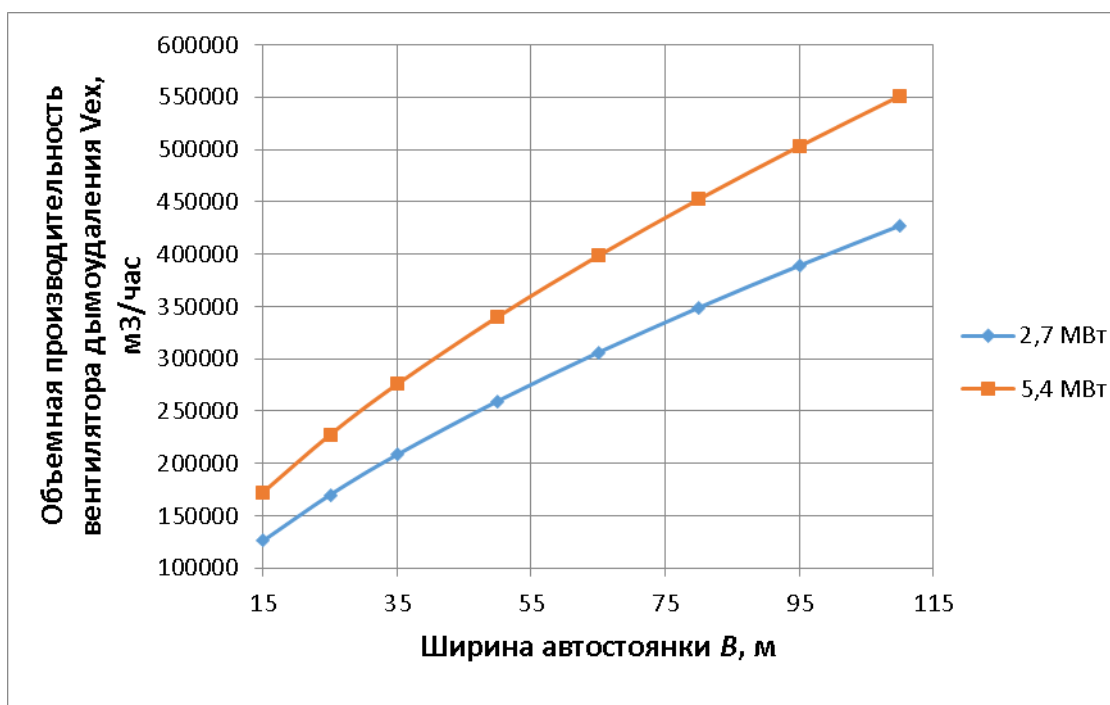


Рис. 6. График зависимости объемной производительности вентилятора дымоудаления V_{ex} от ширины помещения автостоянки B при пожаре одного и двух автомобилей

Литература

1. Свердлов А. В., Волков А. П. Анализ европейских и российских правил проектирования традиционных канальных систем противодымной вентиляции автостоянок закрытого типа//АВОК Вентиляция. Отопление. Кондиционирование. — 2017, № 6, с. 34–37.
2. Wojciech Vengzhinsky, Grzegorz Krajewski. Systemy wentylacji pożarowej garaże. Projektowanie, ocena, akceptacja / Системы противопожарной вентиляции гаражей. Проектирование, оценка, приемка. Пособие //Instytut Techniki Budowlanej. Warszawa 2015 — ISBN 987 — 83 — 249 — 6792 — 6. <http://www.flaktwoods.ru/about-us/media/news/sistemy-protivopozharnej-ventilyatsii-garazhej/>

3. 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.
4. 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.
5. Вишневский Е. П., Волков А. П. Системы струйной (импульсной) вентиляции крытых и подземных автостоянок // Мир строительства и недвижимости. — 2012, № 43, с. 54–57 с.
6. Вишневский Е. П., Волков А. П. Противодымная защита крытых и подземных автопарковок, оборудованных струйной (импульсной) вентиляцией // Мир строительства и недвижимости. — 2012, № 44, с. 54–56.