

УДК 536.71

## Методика расчета вентиляционной системы парковки закрытого типа

Канд. техн. наук **Волков А.П.** alex78477@ya.ru

д-р техн. наук, проф. **Гримитлин А.М.** grimitlin@avoknw.ru

АВОК Северо-Запад

197342, Санкт-Петербург, Сердобольская ул., д. 65, лит. А

канд. техн. наук **Рыков С.В.** togg1@yandex.ru

Университет ИТМО

191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

*Установлено, что вопросы безопасности при аварийной ситуации и в штатном режиме эксплуатации стали главным приоритетом при выборе проектных решений подземных парковок. В тоже время назначение струйной вентиляционной системы определяет допустимый предел огнестойкости и тип струйных вентиляторов и в наибольшей степени влияет на стоимость подбираемого вентиляционного оборудования. Показано, что, во-первых, струйная вентиляционная система является оптимальной с точки зрения безопасности современных подземных парковок, во-вторых, реализация преимуществ струйной вентиляции требует правильного подбора типоразмера струйных вентиляторов и их рационального размещения в помещении парковки. Показано, что выбор типоразмера используемого струйного вентилятора зависит от объемно планировочных решений помещения парковки. Получены расчетные формулы, обеспечивающие оптимальный выбор типоразмера струйного вентилятора, исходя из количества вентиляторов, необходимых для проветривания стоянки. Рассмотрены закономерности развития осесимметричной стесненной воздушной струи, возникающей при работе струйного вентилятора в помещении закрытой автопарковки.*

**Ключевые слова:** системы вентиляции, подземные парковки, струйный вентилятор, дымоудаление при пожаре.

---

## The method of calculation of the closed type parking ventilation system

Ph.D. **Volkov A.P.** alex78477@ya.ru

D.Sc., prof. **Grimitlin A.M.** grimitlin@avoknw.ru

AVOK Northwest

197342, St. Petersburg, Serdobolskaya St., 65, litas. A

Ph.D. **Rykov S. V.** togg1@yandex.ru

ITMO University

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

*It is established that the security in case of emergency and in a normal mode of operation became the main priority in the design choices of underground parking. At the same time assigning jet ventilation system determines the allowable limit of fire resistance and the type of jet fans and the greatest influence on the value selected ventilation equipment. It is shown that, firstly, the jet ventilation system is optimal from*

*the point of view of safety in modern underground parking, and secondly, the realization of the advantages of jet ventilation requires the proper selection of the size of jet fans and their rational allocation of indoor parking. It is shown that the choice of the size used jet fan depends on space planning solutions premises parking. The formulae are derived that provide optimal choice of the size of the jet fan, based on the number of fans required for ventilation of the parking lot. Regularities of the development of axisymmetric restricted air flow produced when the jet fan in the room, closed parking.*

**Key words:** ventilation system, underground parking, jet fan, smoke extraction in case of fire.

---

Струйные вентиляционные системы подземных многоуровневых парковок в настоящее время стали типовым техническим решением и в странах Евросоюза, Японии, Южной Кореи и Китае.

Термин – струйный вентилятор (Jet fan) был ранее использован применительно к осевым вентиляторам, оснащенным насадками – шумоглушителями на входе воздуха и нагнетании, применяемым в тоннельной вентиляции [8]. В дальнейшем эта терминология стала традиционной, а вентиляционные системы, сформированные на базе сети таких вентиляторов, установленных на потолочных перекрытиях подземных и крытых парковок стали называться струйной вентиляцией парковок.

Повышенные пожарные риски, обусловленные плотной компоновкой (уменьшенной до 2,5 м высотой потолочных перекрытий) подземных парковок и стремлением к размещению дополнительных коммерческих объектов (магазинов и рекламных баннеров), потребовали новых подходов к проектированию. Вопросы безопасности при аварийной ситуации и в штатном режиме эксплуатации стали главным приоритетом при выборе проектных решений подземных парковок.

Показано, что струйная вентиляционная система является оптимальной с точки зрения безопасности современных подземных парковок [1, 2, 3]. Именно приоритет вопросов безопасности стал решающим аргументом при выборе типа системы вентиляции парковок в Германии и других европейских странах [7].

Отказ от использования воздуховодов приточной, вытяжной вентиляции и системы дымоудаления в помещении парковки позволяет снизить затраты на оборудование и монтаж вентиляции примерно на 45% [9]. Снижаются энергозатраты на вентиляцию, обусловленные аэродинамическим сопротивлением воздуховодов и протечками воздуха. Исключаются ежегодные трудоемкие работы по очистке воздуховодов, характерные для канальной системы вентиляции, вследствие чего эксплуатационные затраты снижаются на 35...40% [5].

Реализация преимуществ струйной вентиляции требует правильного подбора типоразмера струйных вентиляторов и их рационального размещения в помещении парковки.

Важно понимать, что сами струйные вентиляторы не являются побудителями расхода воздуха, а обеспечивают перераспределение потоков воздуха внутри помещения автопарковки в зависимости от ситуации с загрязнением воздуха, как это, например, показано на рис. 1.

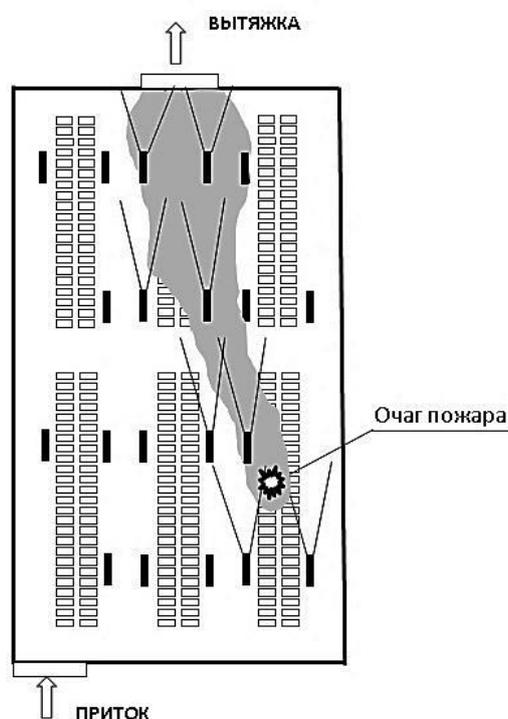


Рис. 1. Схема включения струйных вентиляторов при возникновении источника локального загрязнения воздуха при пожаре в парковке.

В представленном примере на полную мощность включаются только вентиляторы, создающие «жидкий коллектор», обеспечивающий отвод продуктов сгорания. Остальные вентиляторы выключены.

Обычно, в штатном режиме работы концентрация загрязняющих веществ относительно равномерно распределена по всему пространству парковки. По сигналу датчиков загазованности по СО происходит одновременное включение всех струйных вентиляторов. В этом случае вентиляторы работают на 50% от номинального расхода воздуха. При этом обеспечивается перемешивание всего объема воздуха в помещении автопарковки за счет эжекционного эффекта, когда струйный вентилятор вовлекает в движение объем воздуха в 10...15 раз больший номинального расхода воздуха собственно вентилятора.

При работе струйных вентиляторов необходимость применения местных отсосов воздуха из верхней и нижней части вентилируемого помещения не является очевидной. Например, продольная вентиляция автодорожных тоннелей с использованием струйных вентиляторов, устанавливаемых под сводом или подшивным потолком тоннеля, не

предусматривает организацию местных вытяжек из верхней и нижней части проветриваемого пространства [8]. Причем расчетные значения эмиссии вредных выбросов в тоннеле на порядок больше чем в закрытой парковке при самом интенсивном движении транспорта.

Струйные вентиляторы создают турбулентный воздушный поток от притока к вытяжке соответствующий объему воздуха, необходимого для проветривания парковки, поэтому для организации воздухообмена необходимо правильно расположить приток и вытяжку внутри автопарковки, так как это показано на рис. 2.

• **удачное расположение**



• **приемлемое расположение**



• **неудачное расположение**



■ – приток воздуха

■ – вытяжка

Рис. 2. Принципиальные схемы конфигурации пожарных отсеков парковки с различными вариантами расположения притока и вытяжки воздуха.

В исходных данных должны быть расчетные параметры приточной и вытяжной вентиляции:

- максимальная производительность приточных и вытяжных вентиляторов;
- возможность использования рампы, входов и выходов для притока воздуха;
- количество и местоположение вентиляционных шахт;
- количество и местоположение приточных и вытяжных отверстий.

В техническом задании необходимо определить назначение струйных вентиляторов:

- работа в штатном режиме и в режиме дымоудаления при пожаре;
- работа только в штатном режиме – при пожаре струйные вентиляторы отключены.

Назначение струйной вентиляционной системы определяет допустимый предел огнестойкости и тип струйных вентиляторов и в наибольшей степени влияет на стоимость подбираемого вентиляционного оборудования.

Кроме того, исходные данные должны включать сведения по зданию автопарковки:

- общий поэтажный план парковки;
- схема расположения парковочных мест и маршруты движения транспорта для каждого пожарного отсека;
- расположение рампы, пандусов, оконных проемов, шахт лифтов, пилонов;
- местоположение аварийных выходов;
- проектное количество припаркованных машин  $SP$ ;
- максимальная частота трафика  $f = N/SP$ , где  $N$  – количество машин, паркующихся в течение 1 часа;
- наличие спринклерной системы пожаротушения.

Типовая схема установки струйного вентилятора с креплением к потолочному перекрытию определяется исходя из типоразмеров вентилятора:  $D_f$  – диаметра и длины  $L_{\text{вент}}$ , а также конструктивных параметров помещения парковки, представленных на рис. 3. Необходимо учитывать класс и габариты автомобилей, паркующихся на закрытой стоянке, используя, например, данные СП 113.13330.2012.

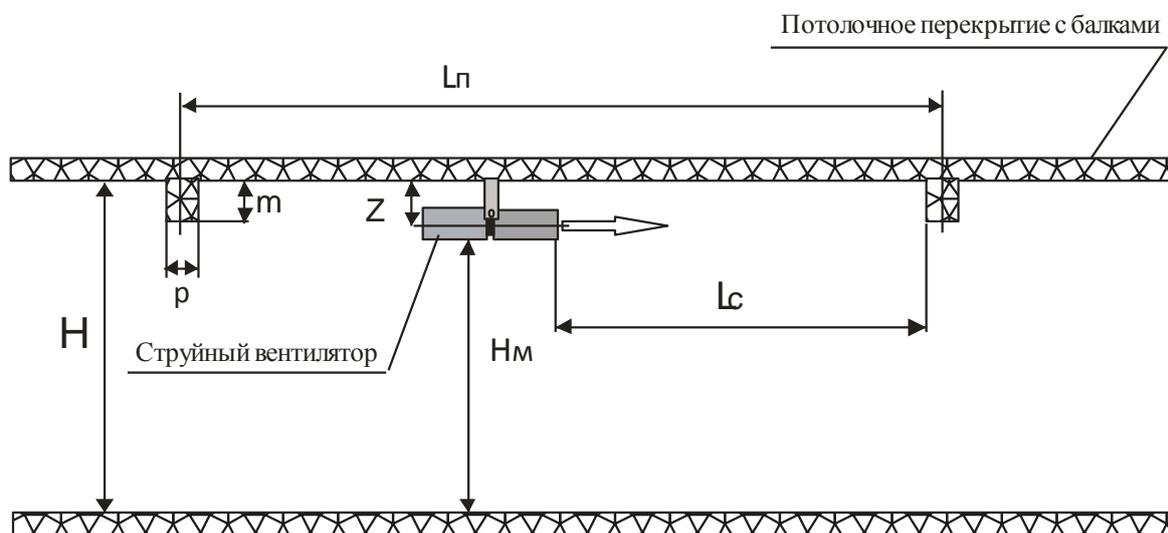


Рис. 3. Схема установки струйного вентилятора на потолочном перекрытии, где  $H$  – высота потолочного перекрытия, м;  $H_m$  – высота под оборудование и машины, м;  $p$  и  $m$  – ширина и высота балки, соответственно, м;  $z$  – расстояние между осью вентилятора и потолочным перекрытием, м;  $L_p$  – длина пролета между балками, м;  $L_c$  – расстояние (в струе) от плоскости сопла вентилятора до балки, м.

Количество струйных вентиляторов, необходимых для проветривания парковки, определяется максимальной дальностью воздушной струи и площадью, которую может проветривать один вентилятор. Обычно минимальное значение осевой скорости воздушной струи ограничивают значением около 1 м/с в режиме максимальной мощности. Более точно данное значение скорости рассчитывается исходя из проектной пожарной нагрузки [5]. В этом случае при максимальной мощности струйная вентиляционная система способна обеспечить бездымные зоны в районе аварийных выходов и штатный режим проветривания на пониженной мощности вентиляторов. Данное ограничение по значению минимальной осевой скорости позволяет сформировать струйную вентиляционную систему представленную в вариантах а и б на рис. 4.

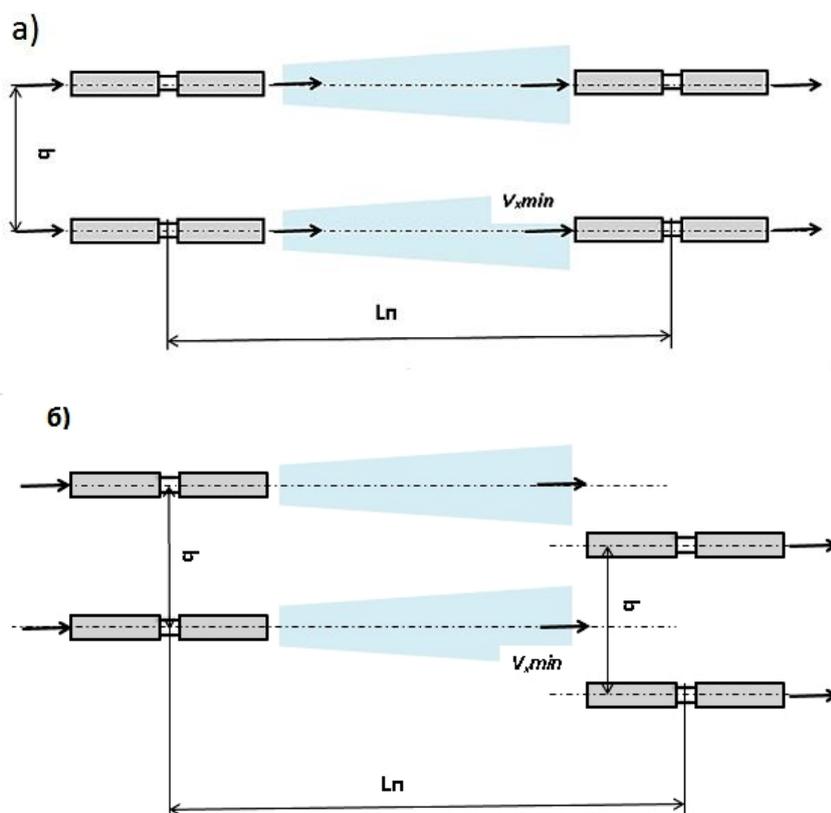


Рис. 4. Компонировочные решения струйной вентиляционной системы:

- а) соосная установка вентиляторов;
- б) параллельная установка вентиляторов.

Расстояние между вентиляторами  $L_n$  и  $b$  являются параметрами (шагом) сети вентиляторов, распределенных по площади парковки (Рис. 1) и зависят прежде всего от мощности и реактивной тяги вентилятора.

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

$$F_f = M_0 \cdot v_0 = A_0 \cdot \rho_0 \cdot v_0^2, \quad (1)$$

где  $M_0$  – массовый расход (массовая скорость) воздуха в выходном сечении, кг/с,  $v_0$  – средняя скорость воздуха в выходном сечении, м/с;  $A_0$  – площадь сечения выходного патрубка вентилятора, м<sup>2</sup>;  $\rho_0$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

$F_n$  – номинальная (по результатам заводских испытаний) тяга струйного вентилятора парковки, имеющей высоту потолочного перекрытия 2,5...3,5 м, не должна превышать 60 Н.

Важным фактором, определяющим расчетную дальность струи  $L_n$ , является принятое значение минимальной осевой скорости воздушной струи  $v_{x \min}$ , представленной на рис. 4 и 5 и зависящей от объема воздуха, необходимого для проветривания парковки.  $v_{x \min}$  должна быть не меньше средней скорости приточного воздуха в помещении парковки.

Расстояние  $L_n$ , отложенное по оси  $x$ , рассчитывается в соответствии с формулой (3) [4, 6]:

$$L_n = \frac{v_0 k_w \sqrt{A_0}}{v_{x \min}}, \quad (2)$$

где  $k_w$  – коэффициент изменения скорости свободной, осесимметричной, слабо не изотермической струи принимает значения от 6 до 7.

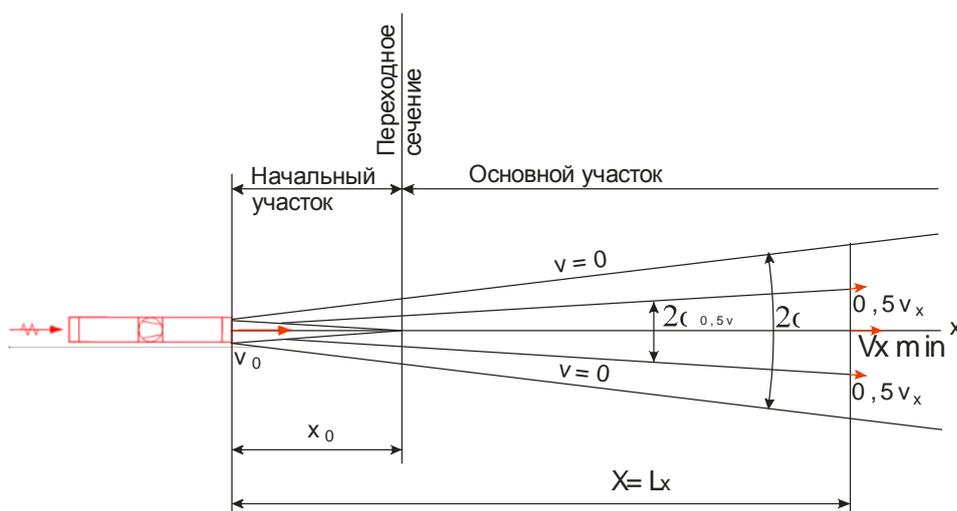


Рис. 5. Схема свободной осесимметричной струи, создаваемой струйным вентилятором [6].

На основе результатов расчетов параметров осесимметричной слабо не изотермической воздушной струи и усредненных данных, полученных при заводских

стендовых испытаниях [4] на рис. 6 и 7 представлены зависимости, позволяющие оценить искомые расстояния между вентиляторами в зависимости от расчетного значения реактивной тяги.

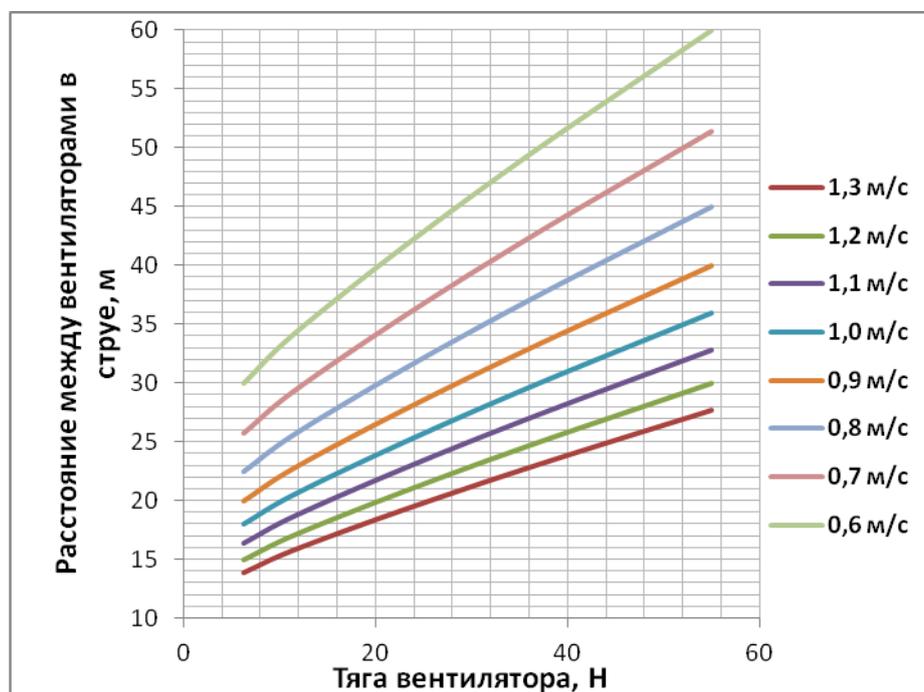


Рис. 6. График зависимости расстояния  $L_{\Pi}$  (в струе) от реактивной тяги вентилятора при различных значениях  $v_{x\min}$ .

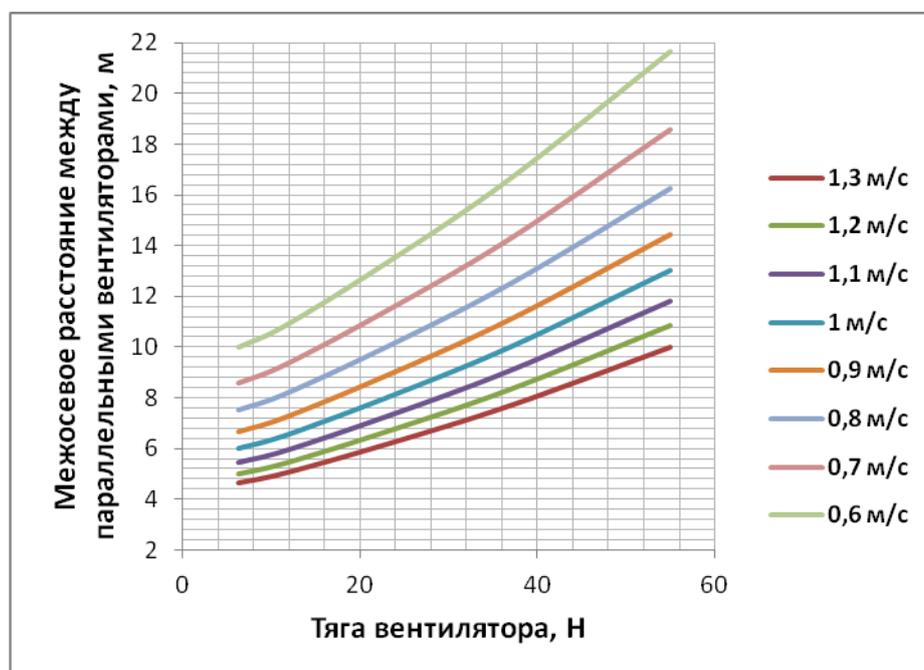


Рис. 7. График зависимости межосевого расстояния  $b$  (между параллельно установленными вентиляторами) от реактивной тяги вентилятора при различных значениях  $v_{x\min}$ .

Выбор типоразмера используемого струйного вентилятора зависит от объемно планировочных решений помещения парковки. Для больших прямоугольных отсеков, при высоте потолков не менее 3 м целесообразно использовать крупные вентиляторы с реактивной тягой 40...60 Н. При сложной конфигурации парковки с высотой потолков около 2,5 м, при наличие ломанного профиля стен и переменной высоты потолков применяют вентиляторы с меньшим типоразмером. Для крупных вентиляторов характерна меньшая адаптированность к форме помещения парковки, риск образования не проветриваемых зон, увеличение аэродинамических потерь при возникновении настилающейся на потолок стесненной струи. Наиболее универсальны небольшие струйные вентиляторы с реактивной тягой 6...12 Н, способные обеспечить проветривание парковок практически с любой самой сложной геометрией.

Рассмотрим вопрос об оптимальном выборе типоразмера струйного вентилятора, исходя из количества вентиляторов необходимых для проветривания стоянки.

Площадь зоны, проветриваемой одним вентилятором при известных параметрах струи будет составлять:

$$S_{B1} = L_{\pi} b. \tag{3}$$

Искомая величина  $S_{B1}$  в зависимости от реактивной тяги вентилятора представлена на рис. 8.

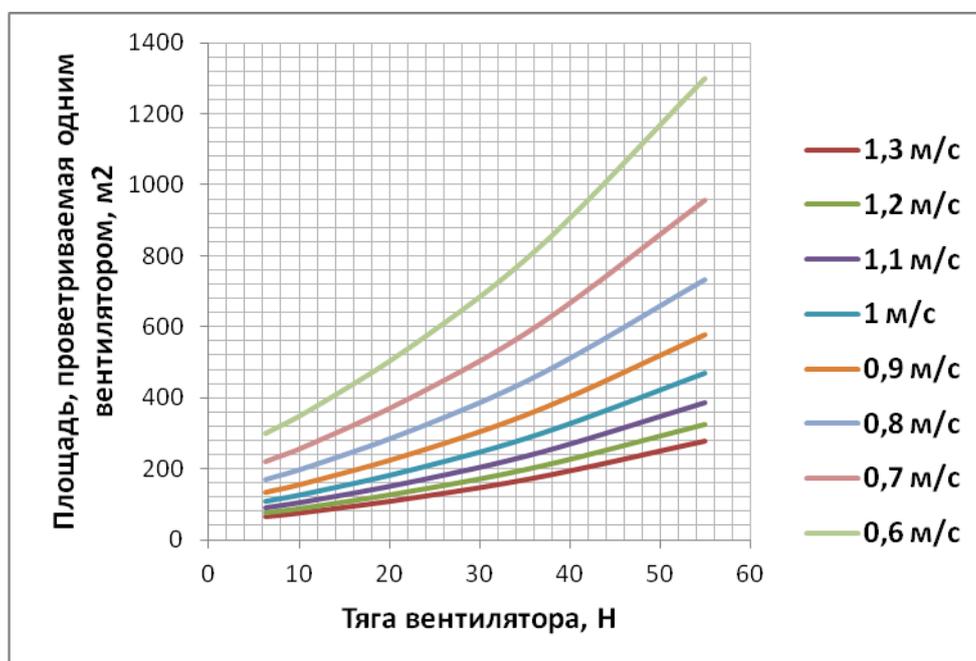


Рис. 8. Площадь, проветриваемая одним вентилятором, при различных значениях  $v_{x min}$ .

В рамках представленной упрощенной методики расчета тяга вентилятора может быть вычислена по формуле [8]:

$$F_p = F_n K_1 K_2 K_3, \tag{4}$$

где  $K_1$  – поправочный скоростной коэффициент,  $K_1 = 1 - \frac{V_1}{v_0}$ ;  $V_1$  – средняя скорость приточного воздуха, м/с;  $K_2$  – поправочный монтажный коэффициент, учитывающий влияние высоты подвеса вентилятора, зависящий от критерия  $2z / H - D_f$  (рис. 3) представлен на рис. 9;  $K_3$  – поправочный коэффициент, учитывающий отклонение воздушной струи от оси вентилятора (в случае применения направляющего аппарата) представлен на рис. 10.

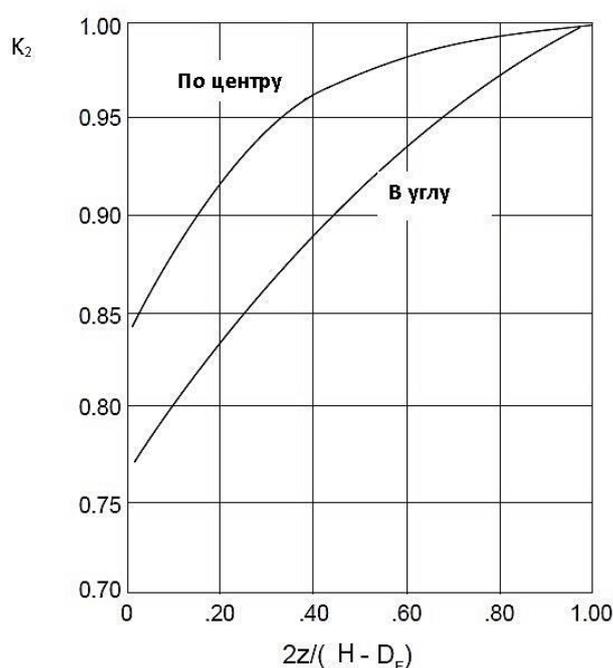


Рис. 9. График зависимости поправочного коэффициента  $K_2$  от конструктивных параметров подвеса на плоском потолке и в углу (около стены).

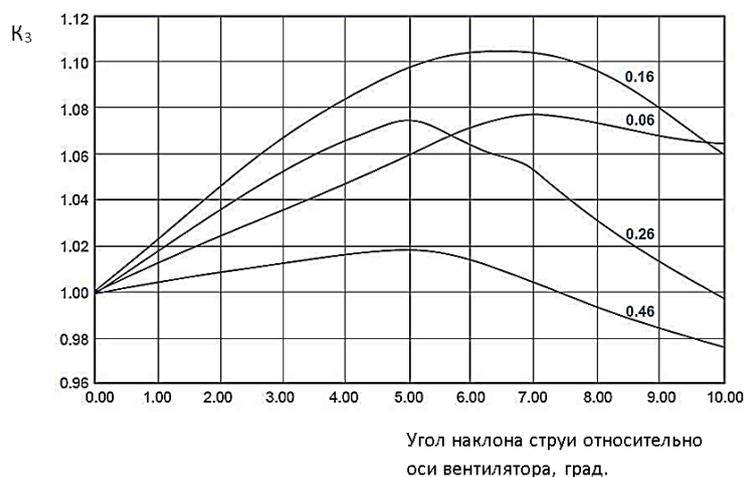


Рис. 10 График зависимости коэффициента  $K_3$  от угла наклона струи относительно оси вентилятора при различных значениях отношения  $2z/H - D_f$ .

С помощью графиков (рис 6, 7, 8) по  $F_p$  определяем расчетные значения  $L_{TP}$ ,  $b_p$ ,  $S_{BP}$ .

Расчетное количество вентиляторов, необходимое для проветривания пожарного отсека автопарковки площадью  $S_{II}$  можно определить по формуле:

$$n_{BP} = \frac{S_{II}}{S_{BP}}. \tag{5}$$

Количество вентиляторов, необходимое для проветривания автопарковки  $n_B$  получаем при округлении  $n_{BP}$  до целого значения.

Очевидно, что представленная методика содержит ряд допущений и является приближенной. Для оценки ее точности были сопоставлены результаты, полученные при вычислении  $L_{TP}$  по данной методике с результатами CFD моделирования.

Доказанная погрешность сходимости вычисления по приближенной методике с результатами числового моделирования 7...8% [4].

На основании выполненного анализа показано, что наиболее целесообразно размещение струйных вентиляторов около колонн и над проездами, как это показано на рис. 11 и 12.

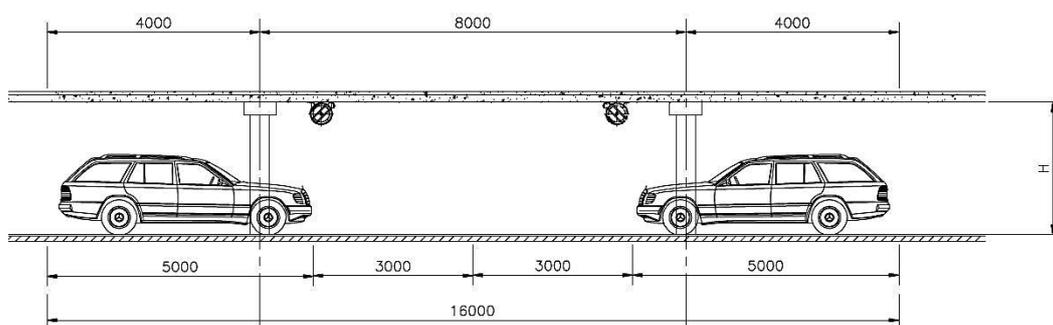


Рис. 11. Расположение струйных вентиляторов у колонн.

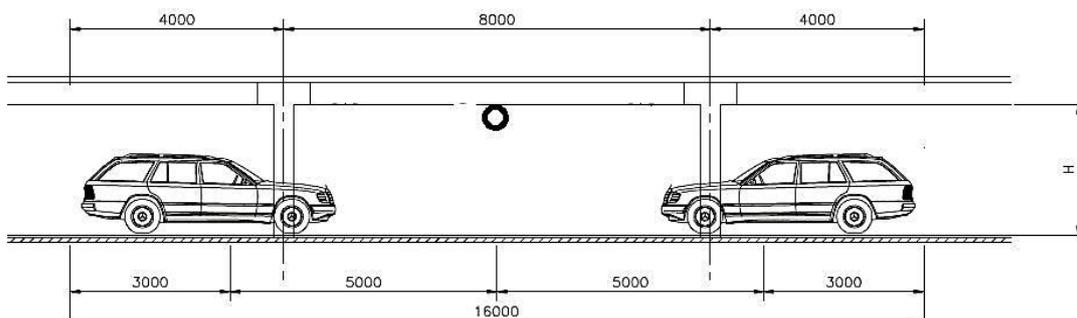


Рис. 12. Расположение струйных вентиляторов над центром дорожного полотна.

В данном случае наилучшим образом проветривается зона парковки, где движется транспорт и загрязнение воздуха имеет наибольшее значение. Влияние, оказываемое воздушными струями на водяную завесу при работе спринклерной системы, минимально.

Ранее было показано, что плотность сети струйных вентиляторов и их количество в помещении парковки зависит, прежде всего, от принятого значения пожарной нагрузки или расчетного значения конвективной мощности очага пожара  $Q_K$ . Чем выше принятое значение  $Q_K$ , тем выше  $v_{x\min}$  и в соответствии с графиками рис. 6, 7 и 8, меньше расчетное значение площади, проветриваемой одним вентилятором.

В случае если пожарная нагрузка не определена или не достаточно данных для расчета критической скорости воздушного потока, принимают  $v_{x\min} = 1$  м/с. Если струйная вентиляционная система не задействована при пожаре (поперечная система дымоудаления) допускается  $v_{x\min} = 0,8$  м/с.

Все расчеты выполнялись в программных пакетах [10, 11].

При сложной конфигурации помещения автопарковки или при возникновении проблем с размещением струйных вентиляторов применяют CFD моделирование для проверки правильности проектных решений. Результатом CFD моделирования являются графические отображения полей скоростей, температур и концентраций загрязняющих веществ. Полученные результаты позволяют в случае необходимости скорректировать положение и типоразмер устанавливаемых струйных вентиляторов. Однако, в настоящее время в зарубежных нормативных документах отсутствуют правила применения результатов CFD моделирования и их интерпретация часто носит субъективный характер. Поэтому представленная методика расчета струйной вентиляционной системы закрытой автопарковки может найти практическое применение при проектировании.

Выводы:

1. Строительство подземных многоярусных парковок является важным условием улучшения экологической ситуации в современных мегаполисах.

2. Показано, что струйная вентиляционная система является оптимальной с точки зрения безопасности современных подземных парковок и снижения затрат на строительство и эксплуатацию вентиляционного оборудования.

3. Рассмотрены закономерности развития осесимметричной стесненной воздушной струи, возникающей при работе струйного вентилятора в помещении закрытой автопарковки.

4. Предложена инженерная методика расчета струйной вентиляционной системы автопарковки.

## Список литературы

1. Вишневский Е.П., Волков А.П. Системы струйной (импульсной) вентиляции крытых и подземных автостоянок // Мир строительства и недвижимости. – 2012, № 43, с. 54–57.
2. 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.
3. Вишневский Е.П., Волков А.П. Особенности расчета параметров пожара крытой и подземной автопарковок, оснащенных струйной вентиляцией // Мир строительства и недвижимости. – 2012, № 44, с. 54–56.
4. Е.П. Вишневский, А.П. Волков Формирование струйной вентиляционной системы – инженерная методика приближенного расчета // НП «АВОК СЕВЕРО-ЗАПАД» Вентиляция общественных и промышленных зданий. Научные чтения, посвященные 85-й годовщине со дня рождения д.т.н., профессора М.И. Гримитлина с. 20–26.
5. Волков А.П. Продольная система дымоудаления в подземных сооружениях, оснащенных струйными вентиляционными системами // С.О.К. Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2013, № 8, с. 82–88.
6. Гримитлин М. И. Распределение воздуха в помещениях. Санкт Петербург, 1994 .- 316 с.
7. Йос Висник, 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. Центр Климатических Систем. Струйные вентиляторы для автостоянок /<http://cks.ds39.ru/articles/1161742/>
10. Буткарев А.Г., Рыков В.А., Рыков С.А. Эффективное использование редактора MS Word для оформления документов большого объема // Пособие для самостоятельной работы / Федеральное агентство по образованию, Санкт-Петербургский гос. ун-т низкотемпературных и пищевых технологий. Санкт-Петербург, 2007.
11. Рыков В.А., Рыков С.А., Кудрявцева И.В., Рыков С.В. Практические занятия в пакете MathCAD по исследованию систем линейных алгебраических уравнений: пособие. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2009. – 107 с.