

УДК 697.9

## Эффективность системы общеобменной вентиляции автостоянок закрытого типа

Канд. техн. наук А. В. СВЕРДЛОВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук А. П. ВОЛКОВ<sup>1</sup>,  
канд. техн. наук С. В. РЫКОВ<sup>2</sup>, М. А. ВОЛКОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>FläktGroup

<sup>2</sup>Университет ИТМО

E-mail: alex78477@ya.ru

*В статье выполнен сравнительный анализ эффективности традиционной поперечной канальной и продольной струйной систем общеобменной вентиляции. Рассмотрены особенности работы общеобменной вентиляции автостоянок закрытого типа. Анализ результатов численного моделирования (CFD моделирования) показал преимущество продольной струйной системы вентиляции, обеспечивающей равномерное проветривание помещений автостоянки и отсутствие застойных зон. Показано, что раздельное удаление воздуха из верхней и нижней зоны автостоянки в соответствии с требованиями, не решает проблему неравномерности концентрации окиси углерода (СО) в объеме помещения автостоянки ни при продольной, ни при поперечной направленности вентиляционного потока воздуха. Преимущество струйной вентиляции, кроме того, в энергоэффективности и качестве воздушной среды, вентилируемого помещения, что может быть отражено в рейтинговой оценке по нормам «Зеленого строительства».*

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

### Информация о статье:

Поступила в редакцию 10.11.2021, принята к печати 11.02.2022

DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-1-3-10

Язык статьи — русский

### Для цитирования:

Свердлов А. В., Волков А. П., Рыков С. В., Волков М. А. Эффективность системы общеобменной вентиляции автостоянок закрытого типа. // Вестник Международной академии холода. 2022. № 1. С. 3–10. DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-1-3-10

## Efficiency of general ventilation systems in closed parking areas

Ph. D. A. V. SVERDLOV<sup>1</sup>, Ph. D. A. P. VOLKOV<sup>1</sup>, Ph. D. S. V. RYKOV<sup>2</sup>, M. A. VOLKOV<sup>1</sup>

<sup>1</sup>FläktGroup

<sup>2</sup>ITMO University

E-mail: alex78477@ya.ru

*The article presents a comparative analysis of the efficiency of traditional cross-channel and longitudinal jet systems of general ventilation. The features of the general ventilation of closed parking areas are considered. Analysis of numerical modeling (CFD modeling) results showed the advantage of the longitudinal jet ventilation system, which provides uniform ventilation of the parking area and the absence of dead zones. It is shown that separate removal of air from the upper and lower zones of the parking area, in accordance with the requirements, does not solve the problem of uneven CO concentration in the volume of the parking space, either in the case of longitudinal or transverse direction of the ventilation air flow. The advantage of jet ventilation, in addition, is the energy efficiency and the quality of the air environment, the ventilated room, which can be reflected in the rating according to the norms of green building.*

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

### Article info:

Received 10/11/2021, accepted 11/02/2022

DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-1-3-10

Article in Russian

### For citation:

Sverdlov A. V., Volkov A. P., Rykov S. V., Volkov M. A. Efficiency of general ventilation systems in closed parking areas. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2022. No 1. p. 3–10. DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-1-3-10

## Введение

При проектировании новых автостоянок, в условиях холодного климата в России, отдается предпочтение автостоянкам закрытого типа, обеспечивающим комфортное хранение автомобилей и пребывание человека в данном помещении. Закрытыми автостоянками могут быть как надземные, так и подземные помещения. Следует отметить тенденцию к массовому проектированию и строительству многоуровневых подземных автостоянок, находящихся в цокольных этажах зданий.

При нахождении человека в замкнутом помещении такой автостоянки возникают риски, связанные с эмиссией в атмосферу вредных веществ в составе выхлопных газов автомобилей в штатном режиме работы общеобменной вентиляции и высокими пожарными нагрузками в аварийной ситуации.

Данная работа выполнена с целью анализа проектных решений канальной и струйной вентиляции автостоянок, что является актуальной задачей.

Научная новизна работы заключается в использовании численного моделирования для исследований воздухораспределения и поля концентраций CO при движении транспорта в помещении автостоянки при канальной (поперечной) и струйной (продольной) системах вентиляции.

В статье показано, что использование струйной вентиляции позволяет одновременно улучшить качество воздуха в помещении автостоянки и повысить энергоэффективность системы вентиляции. Последнее положение является наиболее значимым научным результатом, полученным в данном исследовании.

## Особенности проектирования общеобменной вентиляции автостоянок закрытого типа

В автодорожных тоннелях при расчете воздухообмена учитываются ПДК CO, NO<sub>x</sub> (в пересчете на NO<sub>2</sub>) и сажи, что связано с работой дизельных двигателей большегрузных автомобилей.

Основным фактором загрязнения воздуха в автостоянке для легковых автомобилей является угарный газ (или окись углерода) CO. В работах [1, 2, 3, 4] показано, что в закрытых автостоянках для легковых автомобилей (преимущественно с бензиновыми двигателями) именно снижение концентрации CO требует наибольший объем приточного воздуха. В соответствии с [5] система газ-контроля автостоянки должна обладать «перекрестной» чувствительностью и к другим вредным компонентам выхлопных газов, с чем более подробно можно ознакомиться в работе [6].

Общеобменная вентиляция рассчитывается на обеспечение разбавления и удаление CO, исходя из требований [7] и технического задания.

$C_{об}$ , (мг/м<sup>3</sup>) — ПДК CO в помещении автостоянки принимается не более:

- 50 мг/м<sup>3</sup> при нахождении человека не более 1 ч;
- 100 мг/м<sup>3</sup> при нахождении человека не более 0,5 ч.

Европейские нормы [5] допускают для автостоянок значение ПДК CO не более 70 мг/м<sup>3</sup>.

Согласно [8] кратность воздухообмена в час должна быть не менее 2, причем расход вытяжного воздуха на одно машиноместо принимается не менее 150 м<sup>3</sup>/ч.

Однако, на практике важным фактором, определяющим расчетный воздухообмен, является проектный трафик (интенсивность) движения транспорта в автостоянке и рампах. В [5, 6] показано, что при одинаковой площади и количестве парковочных мест расчетное значение воздухообмена может отличаться примерно в два раза из-за различной интенсивности движения транспорта на автостоянках жилого дома и торгового центра.

На рис. 1 показано, что плотность CO и воздуха приблизительно равны, причем CO немного легче воздуха.

Температура выхлопных газов разогретого двигателя составляет 200–300 °С, при запуске из холодного состояния 50–100 °С. Таким образом гравитационные силы заставляют CO подниматься. Однако, выхлопные газы быстро охлаждаются до температуры окружающего воздуха, и гравитационная сила снижается до минимального значения. Поэтому в случае недостаточного или неравномерного проветривания возникают условия для создания малоподвижных зон с повышенной концентрацией CO.

Что бы обеспечить равномерное проветривание помещения автостоянки расход вытяжного воздуха  $V_a$ , м<sup>3</sup>/ч, вычисляемого по формуле (1), с запасом:

$$V_a = \frac{1000 G_{CO}}{(CO_{об} - CO_{об пр.возд})} k_G, \quad (1)$$

где  $G_{CO}$  — среднее значение эмиссии CO в помещении автостоянки, г/ч;  $CO_{об пр.возд}$  — значение объемной концентрации CO в приточном воздухе за пределами автостоянки, мг/м<sup>3</sup>;  $k_G$  — коэффициент, учитывающий неравномерность вентиляции помещения автостоянки, обычно принимают значение 1,25.

Рассмотрим особенности применяемых на автостоянках систем приточно-вытяжной общеобменной вентиляции.

## 2. Канальная поперечная общеобменная вентиляция автостоянок

Канальную вентиляцию автостоянок в России иногда называют традиционной. Это справедливо лишь частично, например во многих Европейских странах, Китае, Японии и других Азиатских странах в автостоянках уже

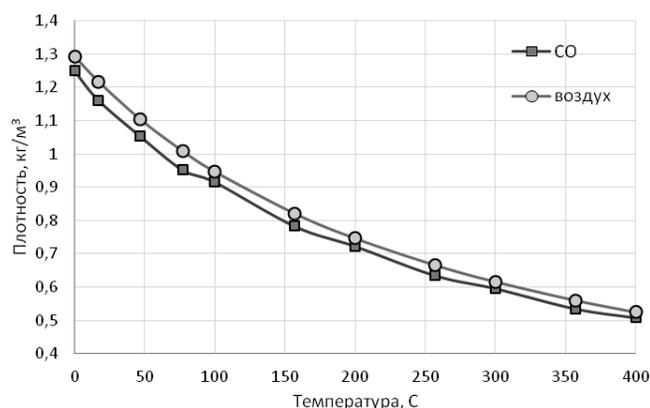


Рис. 1. График зависимости плотности воздуха и CO в зависимости от температуры

Fig. 1. Dependency of air and CO densities on temperature

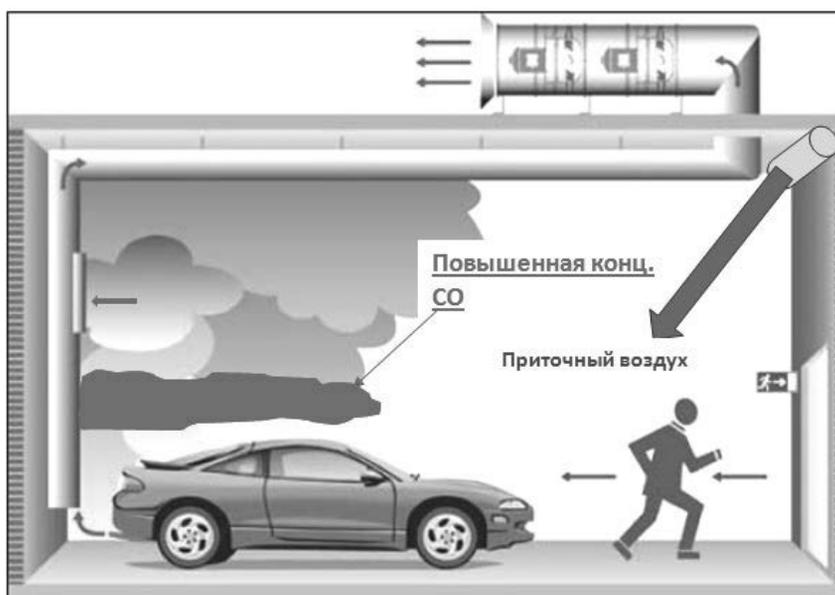


Рис. 2. Схема воздухораспределения в автостоянке, оснащенной каналной вентиляцией  
 Fig. 2. Air distribution in the parking area with channel ventilation

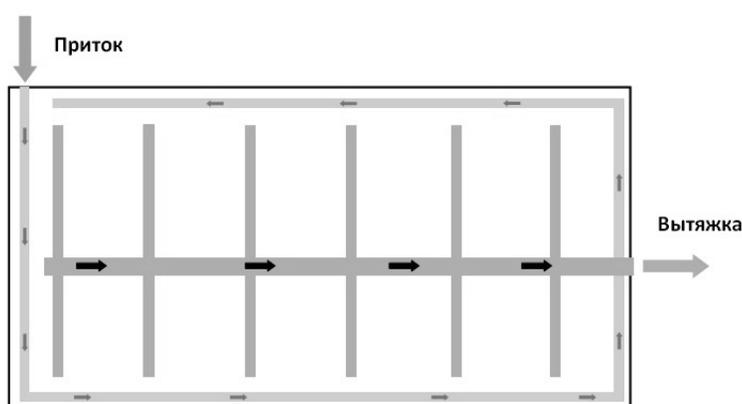


Рис. 3. Схема системы каналной вентиляции автостоянки с габаритами 50×80 м  
 Fig. 3. The system of channel ventilation for a parking area of 50×80 m

давно традиционно используют преимущественно струйные системы вентиляции.

На рис. 2 представлена схема каналной вентиляции автостоянки с предполагаемой областью с повышенной концентрацией CO.

Удаление воздуха осуществляется вытяжной вентиляцией из верхней и нижней зон помещения в соответствии с требованиями [1]. Относительно неподвижный воздух находится в пространстве между нижним и верхним вытяжными вентиляционными клапанами на высоте примерно 2 м от пола, а также, между нижними вытяжными клапанами, где образуются застойные зоны в результате нехватки тяги. Важным обстоятельством является то, что основной объем эмиссии CO, до 80–90%, происходит не на парковочном месте при включении двигателя, а возникает при движении по автостоянке, где удаленность вытяжных клапанов и недостаточность тяги сказывается еще больше.

Что бы проверить данное предположение было выполнено численное CFD моделирование автостоянки площадью 4000 м<sup>2</sup> (см. рис. 3).

На рис. 4, а и 4, б представлены результаты CFD моделирования для слоя воздуха на высоте 2,0 м от пола. В центре помещения образовалась застойная зона с повышенной концентрацией CO, как следствие недостаточно полного перемешивания приточного воздуха и выхлопных газов.

Аналогичный анализ выполним применительно к струйной продольной системе вентиляции автостоянки

### 3. Струйная продольная общеобменная вентиляция автостоянок

Проектируемые и введенные в эксплуатацию автостоянки в различных регионах России (Москве, Санкт-Петербурге, г. Казани [10], г. Тюмени) все чаще оснащаются струйными системами общеобменной и противодымной вентиляции.

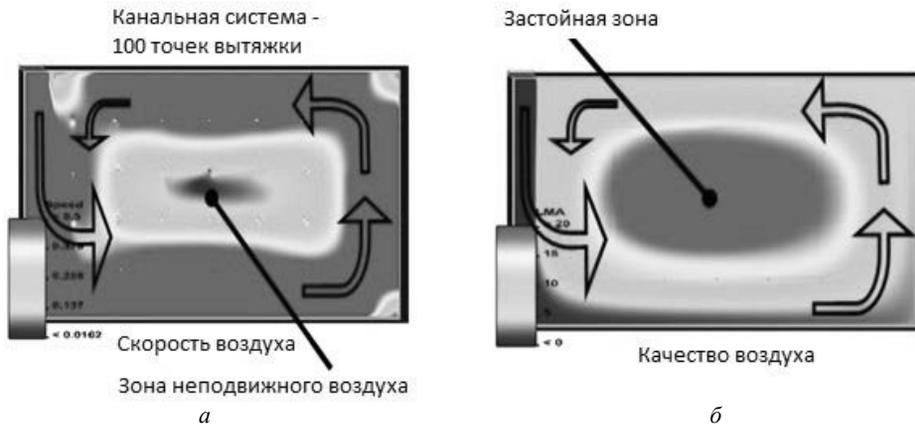


Рис. 4. CFD моделирование для слоя воздуха на высоте 2,0 м от пола: а — поле скоростей воздуха при работе вентиляции; б — поле распределения концентраций CO

Fig. 4. CFD modelling for the air layer at the height of 2.0 m above ground: а — the field of air velocities during ventilation; б — the field of CO consternation distribution

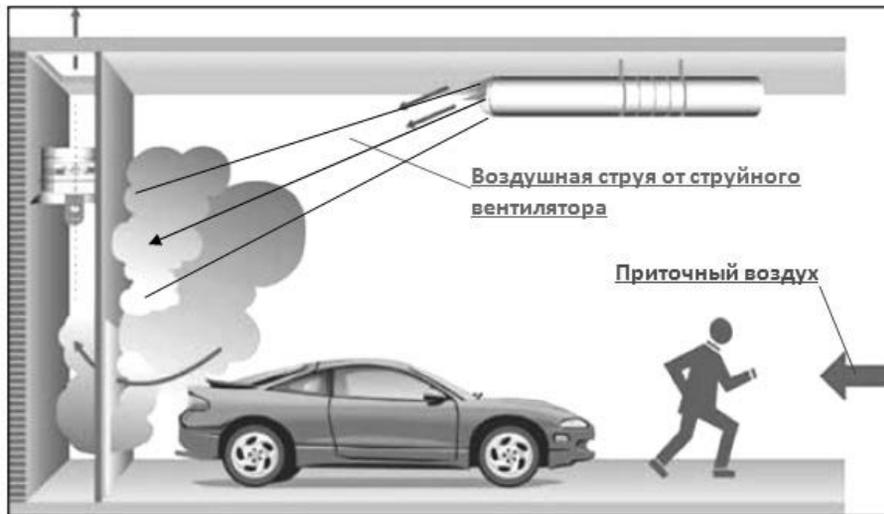


Рис. 5. Схема воздухораспределения в автостоянке, оснащенной струйной вентиляцией

Fig. 5. Air distribution in the parking area with jet ventilation

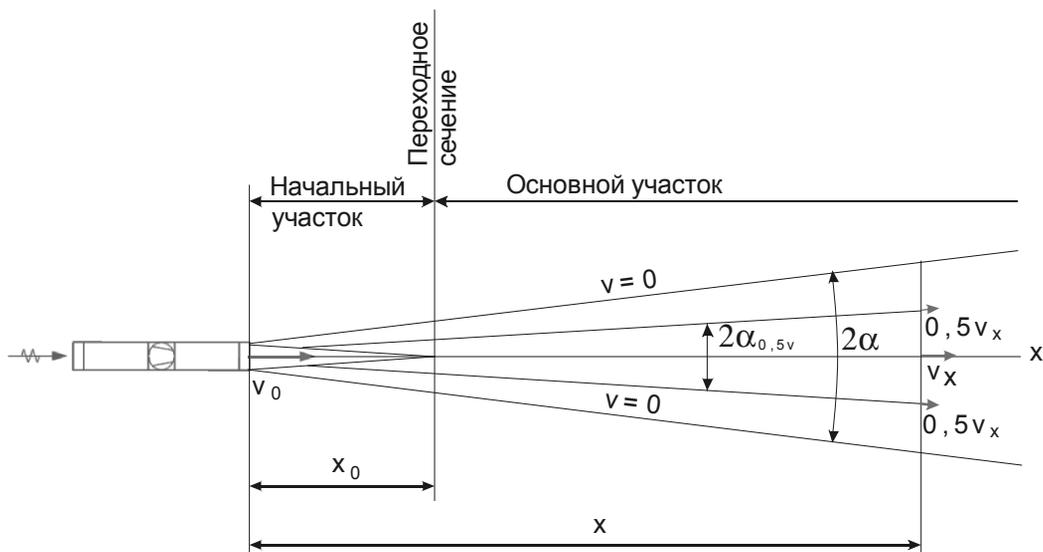


Рис. 6. Схема свободной осесимметричной струи

Fig. 6. The scheme of free axisymmetric jet

На рис. 5 показана схема воздухораспределения при работе струйной системы вентиляции. Наличие затопленных воздушных струй в помещении автостоянки коренным образом меняет ситуацию с качеством воздуха, усиливая интенсивность перемешивания чистого и загрязненного воздуха.

В работах [11, 12] предложена упрощенная модель осесимметричной слабо неизотермической *свободной струи* (рис. 6). Воздушная струя состоит из нескольких зон (участков) с различными режимами потоков и скоростями перемещения воздуха.

Основной участок свободной струи представляет наибольший практический интерес. На всем его протяжении осевая скорость (скорость воздуха на оси струи) является обратно пропорциональной расстоянию от выходного сечения вентилятора. Причем в любом произвольном сечении осевая скорость является максимальной именно для этого сечения. Воздушная струя полностью развивается на основном участке, и преобладающие здесь условия будут оказывать решающее воздействие на режим потоков в пространстве автостоянки.

Турбулентный характер течения свободной струи характеризуется наличием поперечных хаотичных перемещений (пульсаций) микрообъемов воздуха при его главном поступательном движении вдоль оси. Благодаря этому происходит интенсивное вовлечение масс неподвижного окружающего воздуха в поступательное движение по направлению струи и ее расширение. Угол расширения струи на всем ее протяжении остается практически постоянным и равным  $2\alpha \cong 20 \dots 25^\circ$ . Присоединение масс окружающего воздуха вызывает торможение периферийных слоев струи и образование пограничного слоя смешения.

Поскольку длина начального участка свободной струи незначительна, то в области струйной вентиляции практический интерес, как правило, представляют только параметры основного участка свободной струи.

$$v_x = v_0 k_w \frac{\sqrt{A_0}}{x}, \tag{2}$$

где  $A_0$  — площадь выходного сечения вентилятора,  $m^2$ ;  $v_0$  — скорость в выходном сечении,  $m/c$ ;  $k_w$  — коэффициент изменения скорости:

$$k_w = \frac{0,65}{\tan\alpha_{0,5v}} \sqrt{\frac{T_{окр}}{T_0}} \sqrt[4]{\xi}, \tag{3}$$

Как правило,  $2\alpha_{0,5v} \cong 10 \dots 12^\circ$ , следовательно,

$\tan\alpha_{0,5v} \cong 0,088 \dots 0,105$  и в среднем может быть при-

нят равным 0,1. Значит  $k_w$  может принимать следующие значения  $k_w = 5 \dots 6,5$ .

Объемный расход воздуха в произвольном сечении свободной струи на расстоянии  $x$  от вентилятора составляет,  $m^3/c$ :

$$Q_x = Q_0 \frac{x}{k_w \sqrt{A_0}}, \tag{4}$$

где  $Q_0$  — объемный расход воздуха в выходном сечении,  $m^3/c$ .

Рассмотрим пример работы струйной вентиляции в помещении автостоянки на рис. 7.

Струйные вентиляторы в штатном режиме общеобменной вентиляции имеют реактивную тягу  $F_{рш} = 9,8$  Н, в аварийном режиме дымоудаления  $F_{ра} = 38$  Н,  $A_0 = 0,099$   $m^2$ . Соответственно расходы воздуха  $Q_{0ш} = 0,97$   $m^3/c$  и  $Q_{0а} = 1,9$   $m^3/c$ .

В соответствии с правилами проектирования [9] площадь, вентилируемая одним струйным вентилятором, составляет 407  $m^2$  и имеет габариты 37×10,8 м.

На рис. 8 и 7 представлены результаты расчета основных характеристик воздушной струи вдоль оси  $X$  от 0 до 37 м (начальный участок 2 м).

Суммарный воздушный поток, создаваемый 10 струйными вентиляторами, находящимися друг от друга на расстоянии 37 м (по оси  $X$ ), составляет около 170  $m^3/c$ . Объем помещения автостоянки (рис. 7) составляет 12000  $m^3$ . Следовательно, примерно за 70 с в движе-

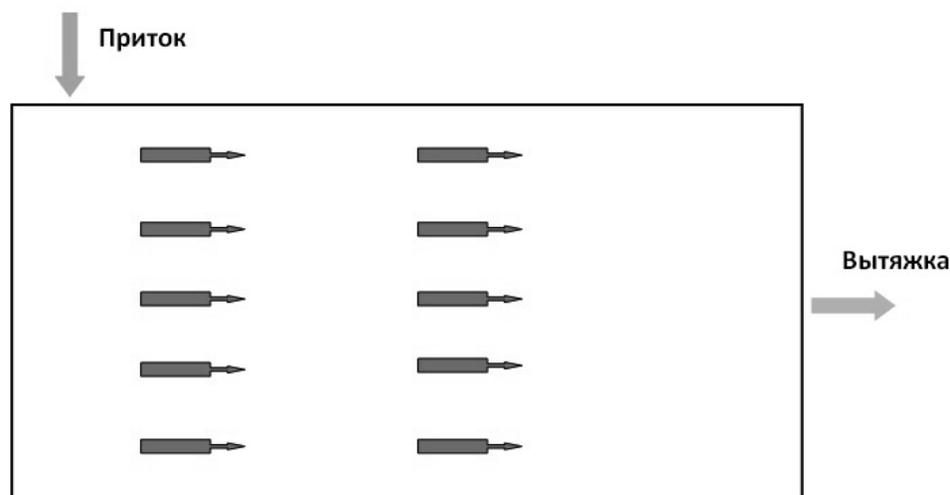


Рис. 7. Схема системы струйной вентиляции автостоянки с габаритами 50×80 м  
 Fig. 7. The system of jet ventilation for a parking area of 50×80 m

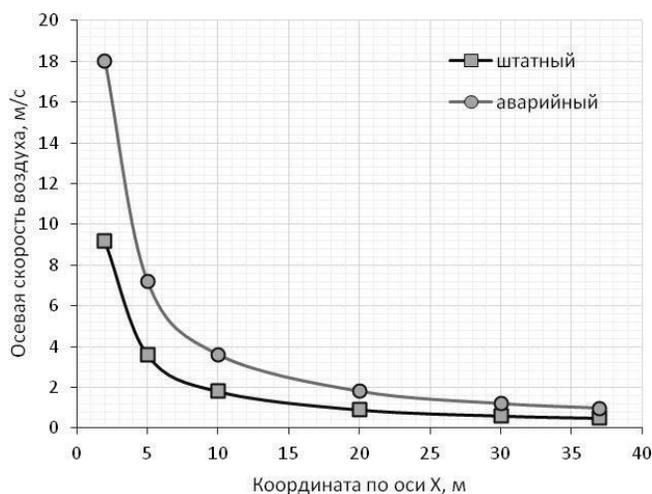


Рис. 8. График зависимости осевой скорости  $v_x$  струи вентилятора от координаты по оси X

Fig. 8. Dependency of axial velocity  $v_x$  of fan air stream on the X coordinate

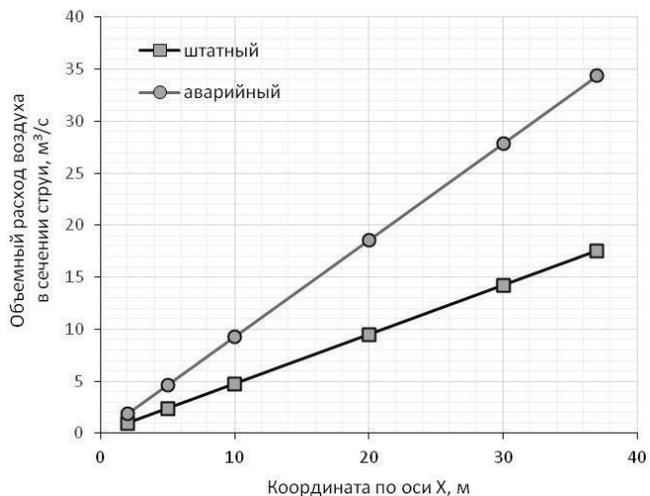
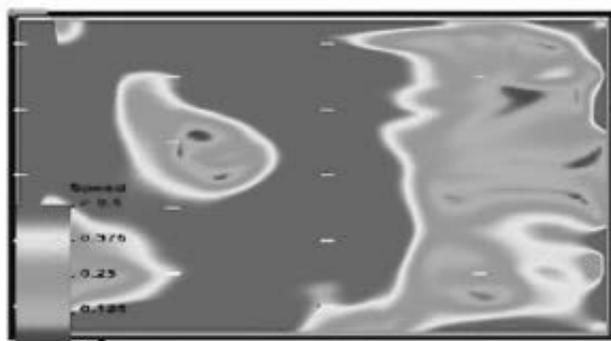


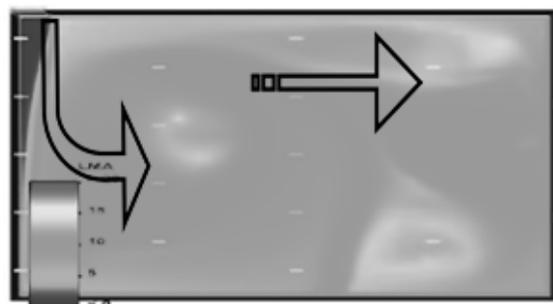
Рис. 9. График зависимости объемного расхода воздуха  $Q_x$  в сечении струи вентилятора от координаты по оси X

Fig. 9. Dependency of air-flow rate  $Q_x$  in a cross-section of fan air stream on the X coordinate



Скорость воздуха

a



Качество воздуха

b

Рис. 10. CFD моделирование для слоя воздуха на высоте 2,0 м от пола: а — поле скоростей при работе струйной вентиляции; б — поле распределения концентраций CO

Fig. 10. CFD modelling for the air layer at the height of 2.0 m above ground: a — the field of air velocities during jet ventilation; б — the field of CO consternation distribution

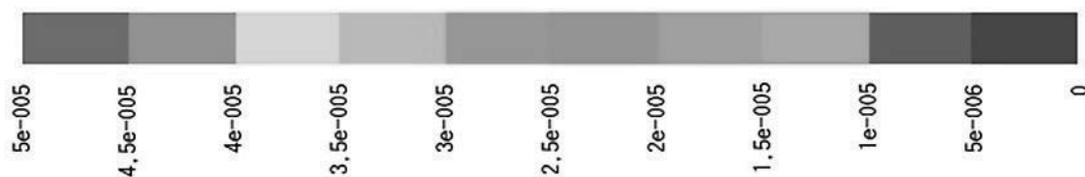
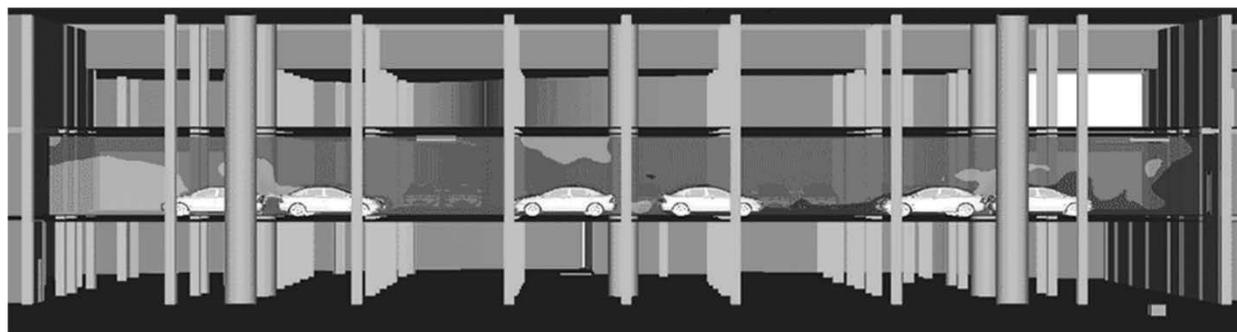


Рис. 11. Поле распределения концентраций CO в вертикальной плоскости

Fig. 11. The field of vertical distribution for CO concentration

ние будет вовлечен объем воздуха, равный объему помещения. Таким образом, создаются благоприятные условия для интенсивного перемешивания вредных выбросов выхлопных газов в объеме автостоянки.

Выполненный анализ позволяет лишь качественно судить о картине воздухораспределения в помещении. Численное моделирование струйной вентиляции осуществлялось на базе представлений, изложенных в работах [13, 14, 15].

На рис 10, а и 10, б представлены результаты CFD моделирования для слоя воздуха на высоте 2,0 м от пола.

Распределение CO в вертикальном сечении помещения представлено на рис. 11.

На рис. 11 отсутствуют зоны с повышенной концентрацией CO, что свидетельствует о качественном перемешивании воздуха по высоте помещения и отсутствии застойных зон.

Струйные вентиляторы создают воздушные струи, передающие свой импульс непосредственно (без потерь) окружающему воздуху, поэтому такую вентиляцию часто называют *импульсной*.

Для канальной вентиляции характерны потери напора, обусловленные аэродинамическим сопротивлением сети воздуховодов. При расчете производительности вентиляторов необходимо учитывать протечки воздуха через неплотности и технологические зазоры воздуховодов.

В работе [16] показано, что системы струйной вентиляции обладают энергоэффективностью на 10–15% выше, чем у канальной вентиляции.

Российский стандарт [17], устанавливающий правила рейтинговой системы оценки устойчивости среды обитания на основе принципов «Зеленого строительства», соответствующих международным рейтинговым систе-

мам LEED (США), REEAM (Великобритания), DGNB (Германия) и HQE (Франция), среди важнейших критериев оценки называет:

- комфорт и экология внутренней среды;
- энергосбережение и энергоэффективность.

Таким образом, выбор струйной системы вентиляции для автостоянок закрытого типа позволяет получить определенный бонус при оценке проектных решений по рейтинговой системе «Зеленого строительства».

## Выводы

Раздельная вытяжка воздуха, загрязненного CO, из верхней и нижней зоны автостоянки не является лучшим решением в силу физических особенностей CO и характере эмиссии CO в помещении автостоянки.

1. Приточно-вытяжная канальная вентиляция, обеспечивающая раздельное удаление загрязненного воздуха из верхней и нижней частей помещения автостоянки, не гарантирует отсутствие застойных зон с повышенной концентрацией CO.

2. Главным условием снижения концентрации CO в помещении автостоянки является интенсивное перемешивание загрязненного и чистого приточного воздуха в объеме помещения и его равномерное проветривание.

3. Системы струйной вентиляции позволяют обеспечить условия, указанные в п. 3 и повысить на 10–15% энергоэффективность вентиляции.

4. Выбор в пользу струйной вентиляции при проектировании автостоянок закрытого типа позволяет получить дополнительное конкурентное преимущество при рейтинговой оценке проекта по нормам «Зеленого строительства».

## Литература

1. СП 60.13330.2016 СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.
2. Zenger A., Gritsch T., Höpfner U., Sinn M., Rabl P., N. van der Pütten, Gabler H. Tiefgaragenabluft — analyse der luftqualität sowie entwicklung eines modells zur prognose der emissionen. Tagungsband der VDI-Tagung: Neuere entwicklungen bei der messung und beurteilung der luftqualität 7. — 29.4.1999 in Heidelberg. Düsseldorf: VDI Verlag.
3. Zenger A. Gesundheitliche Relevanz von Tiefgaragenemissionen. Wohnmedizin, Heft 5, Oktober 1999.
4. Knörr W., Höpfner U., Lambrecht U., Nagel H.-J., Patyk A. (IFEU) TREMOD: Transport emission estimation model; im rahmen des forschungsvorhabens «daten- und rechenmodell: energieverbrauch und schadstoffemissionen aus dem motorisierten verkehr in deutschland 1980 bis 2020» im auftrag des umweltbundesamtes. Berlin, 1999.
5. VDI 2053 Air treatment systems for car parcs. January 2004.
6. Волков А. П., Сverdlov A. V., Rykov S. V. Экология и расчет воздухообмена подземных автостоянок // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2014. № 3. С. 9–16.
7. ГОСТ 12.1.005–88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
8. МГСН 5.01–01. Стоянки легковых автомобилей.

## References

1. Set of rules SP 60.13330.2016 «SNiP 41-01-2003 Heating, ventilation and air conditioning».
2. Zenger A., Gritsch T., Höpfner U., Sinn M., Rabl P., N. van der Pütten, Gabler H. Tiefgaragenabluft — analyse der luftqualität sowie entwicklung eines modells zur prognose der emissionen. Tagungsband der VDI-Tagung: Neuere entwicklungen bei der messung und beurteilung der luftqualität 7. — 29.4.1999 in Heidelberg. Düsseldorf: VDI Verlag.
3. Zenger A. Gesundheitliche Relevanz von Tiefgaragenemissionen. Wohnmedizin, Heft 5, Oktober 1999.
4. Knörr W., Höpfner U., Lambrecht U., Nagel H.-J., Patyk A. (IFEU) TREMOD: Transport emission estimation model; im rahmen des forschungsvorhabens «daten- und rechenmodell: energieverbrauch und schadstoffemissionen aus dem motorisierten verkehr in deutschland 1980 bis 2020» im auftrag des umweltbundesamtes. Berlin, 1999.
5. VDI 2053 Air treatment systems for car parcs. January 2004.
6. Volkov A. P., Sverdlov A. V., Rykov S. V. Ecology and calculation of air exchange in underground parking lots. *Scientific journal NRU ITMO. Series: Refrigeration and Air Conditioning*. 2014. № 3. P. 9–16. (in Russian)
7. State standard 12.1.005–88 Occupational safety standards system. General sanitary and hygienic requirements for the air in the working area. (in Russian)
8. MGSN 5.01–01. Parking lots of cars. (in Russian)

9. СП 300.1325800.2017. Системы струйной вентиляции и дымоудаления подземных и крытых автостоянок. Правила проектирования.
10. Свердлов А. В., Волков А. П. Система реверсивной струйной вентиляции четырехэтажной подземной автостоянки в Казани // Инженерные системы. 2018. № 4. С. 20–22.
11. Гримитлин М. И. Распределение воздуха в помещениях. Санкт Петербург, 1994. 316 с.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. Гримитлин А. М., Дацюк Т. А., Денисихина Д. М. Математическое моделирование в проектировании систем вентиляции и кондиционирования. // АВОК Северо-Запад. 2013. Т. 192. С. 8.
16. 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 (15). С. 27–36.
17. СТО НОСТРОЙ 2.35.4–2011. Зеленое строительство. Здания жилые и общественные. Рейтинговая система оценки устойчивости среды обитания.
9. Set of rules SP 300.1325800.2017 Systems of jet ventilation and smoke removal of underground and covered parking lots. Design rules. (in Russian)
10. Sverdlov A. V., Volkov A. P. Reversible jet ventilation system for a four-storey underground car park in Kazan. Engineering systems. 2018. No 4. P. 20–22.
11. Gritmitlin M. I. Indoor air distribution. (St. Petersburg), 1994. 316 p.
12. 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)
13. Sverdlov A. V., Volkov A. P., Rykov S. V., Volkov M. A., Barafanova Ye. Yu. Modeling smoke removal processes in underground transport destination structures. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2019. No 1. P. 3–10. (in Russian)
14. 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)
15. Gritmitlin A. M., Datsyuk T. A., Denisikhina D. M. Mathematical modeling in the design of ventilation and air conditioning systems. AVOK North-West. 2013. V. 192. P. 8.
16. 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. № 3 (15). P. 27–36.
17. STO NOSTROY 2.35.4–2011. Green construction. Residential and public buildings. A rating system for assessing the sustainability of the environment.

### Сведения об авторах

#### Свердлов Александр Викторович

К. т. н., FläktGroup, 117418,  
Россия, Москва, ул. Профсоюзная, 23,  
alexander.sverdlov@flaktgroup.com

#### Волков Алексей Платонович

К. т. н., FläktGroup, 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

FläktGroup, 117418,  
Россия, Москва, ул. Профсоюзная, 23, alex78477@ya.ru

### Information about authors

#### Sverdlov Aleksandr V.

Ph. D., FläktGroup,  
23, Profsoyuznaya Str., Moscow, 117418, Russia,  
alexander.sverdlov@flaktgroup.com

#### Volkov Alexey P.

Ph. D., FläktGroup, 23, Profsoyuznaya Str., Moscow, 117418,  
Russia, alex78477@ya.ru

#### Rykov Sergey V.

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

#### Volkov Mikhail A.

FläktGroup, 23, Profsoyuznaya Str.,  
Moscow, 117418, Russia, alex78477@ya.ru