

# ПРОДОЛЬНАЯ СТРУЙНАЯ СИСТЕМА ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЗАКРЫТЫХ АВТОСТОЯНОК — АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

*А. М. Гримитлин, д. т. н., профессор кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»  
СПбГАСУ*

*А. В. Свердлов, к. т. н., член президиума НП «АВОК»*

*А. П. Волков, к. т. н., представитель АС «СЗ Центр АВОК»*

*Выбор параметров системы противодымной вентиляции закрытых автостоянок зависит от множества факторов. Важнейшими из них являются объемно-планировочные решения помещения автостоянки. В работе [1] показано, что выбор типа системы противодымной вентиляции зависит главным образом от высоты потолочных перекрытий и от площади автостоянки.*

Традиционная (для России) канальная, поперечная противодымная вентиляция — вентиляция, обеспечивающая удаление дыма из слоя под потолком и сохранение свободного от дыма пространства, в котором можно проводить эвакуацию, аварийно-спасательные операции и пожаротушение. Обеспечение проектного значения высоты дымового слоя зависит от высоты потолка. Чем ниже потолок, тем выше риски полного задымления помещения [1].

Струйная продольная противодымная вентиляция — вентиляция, обеспечивает удержание нижней границы распространения дыма в течение времени, необходимого для эвакуации людей. Для продольной системы противодымной вентиляции высота потолка не является фактором риска [1, 2].

В настоящее время получил распространение комбинированный вариант, когда штатная общеобменная вентиляция — продольная струйная, противодымная поперечная канальная. При обнаружении пожара струйные вентиляторы выключаются, и действует только канальная противодымная вентиляция.

При исключительно сложной архитектуре автостоянки (наличие ломаной линии ограждающих конструкций, резкие сужения и расширения парковочного пространства, перепады высот потолочного перекрытия и т. д.) применяют смешанный вариант

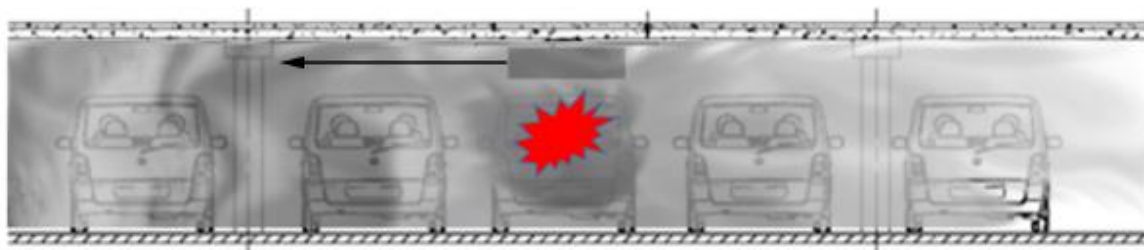
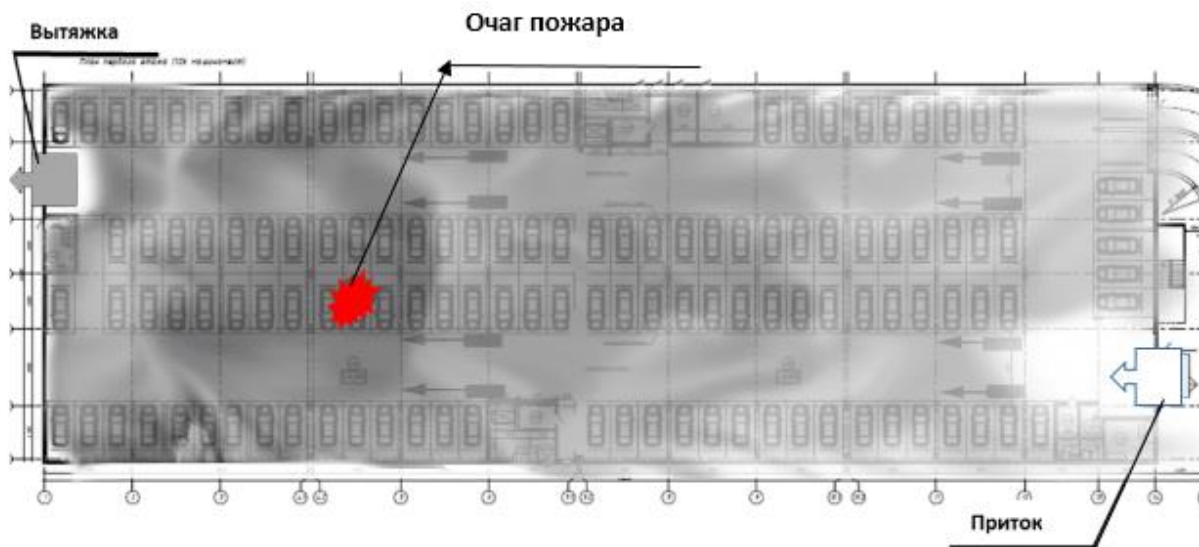
вентиляции. В этом случае наряду с развитой штатной и противодымной канальной вентиляцией используют струйную вентиляцию для более качественного перемешивания загрязненного и чистого приточного воздуха и более равномерного проветривания, исключая образование мертвых (невентилируемых) зон [3].

Выбор параметров продольной противодымной вентиляции автостоянки осуществляется в соответствии с требованиями стандарта [4]. Однако опыт, накопленный при проектировании, строительстве и сдаче заказчику целого ряда крупных автостоянок [5], требует актуализации данного стандарта. Кроме собственного опыта, интерес представляют европейские нормативные документы [6, 7] и анализ мирового опыта проектирования подобных объектов.

Архитектурно-планировочные решения современных подземных и закрытых автостоянок отличаются рядом особенностей, а именно большими площадями (до десятков тысяч квадратных метров) и низкими потолками (2,5–3,5 м). В работах [1, 2, 3] показано, что в этом случае наиболее целесообразно применять продольные, струйные системы общеобменной (штатной) и противодымной (аварийной) вентиляции. Традиционные канальные системы штатной и противодымной вентиляции целесообразно применять на небольших автостоянках (1000–3000 м<sup>2</sup>), где не требуется транзита значительных объемов приточного и вытяжного воздуха на значительные расстояния при помощи сети воздуховодов приточной и вытяжной вентиляции. Наиболее важным фактором является высота потолка. В соответствии с [6] при высоте потолка менее 2,9 м, как правило, применяют продольные, струйные системы вентиляции из-за проблем с размещением воздуховодов и недостаточно глубоким дымовым слоем. При выборе системы противодымной вентиляции необходимо учитывать локальные уменьшения высоты потолка. Рекомендуется, чтобы их общая площадь по отношению к площади горизонтальной проекции автостоянки не превышала 20% [6].

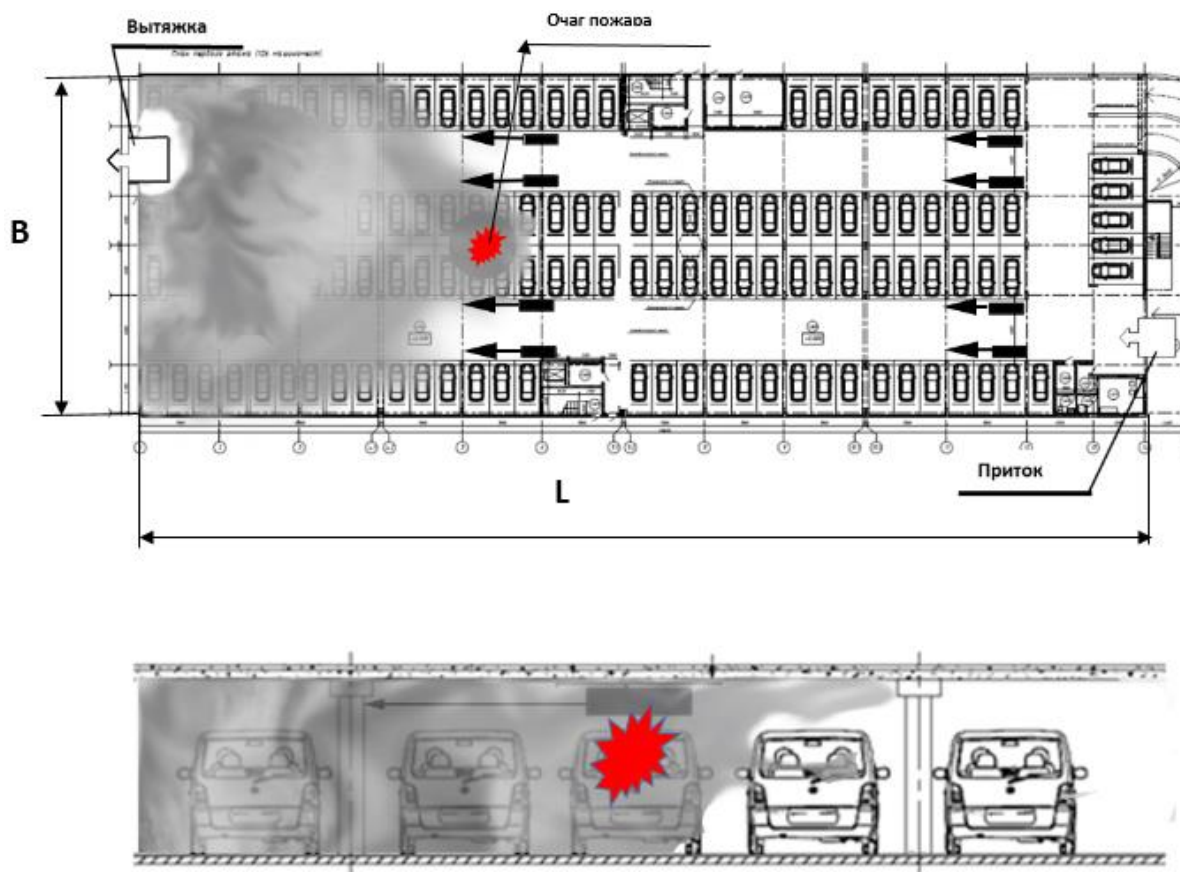
Системы струйной продольной противодымной вентиляции автостоянок делятся на два основных типа:

1. Система очистки от дыма (*Smoke Clearance, dilute*) — предназначена для удаления дыма, смешанного с поступающим компенсационным воздухом, тем самым она снижает его температуру и понижает концентрацию дыма и токсичных продуктов горения (рис. 1).



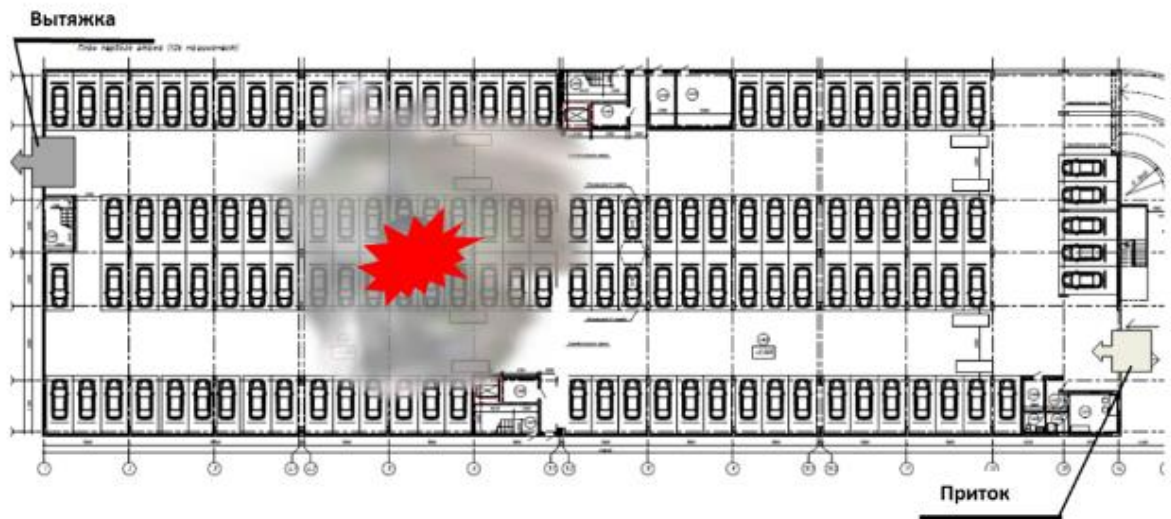
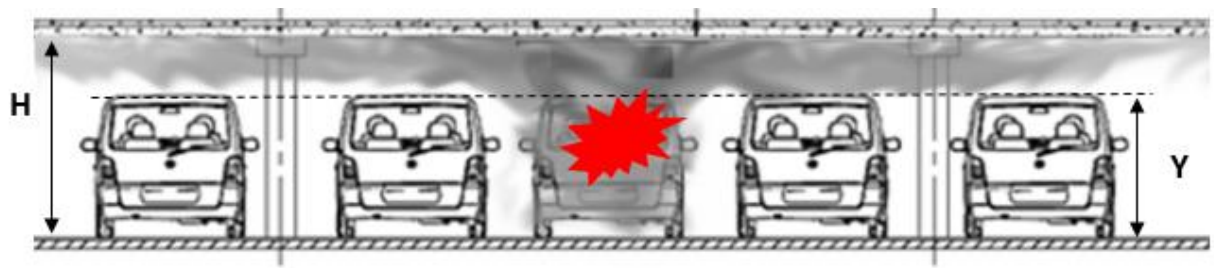
*Рис. 1. Продольная струйная противодымная вентиляция, действующая по принципу очистки от дыма*

2. Система контроля распространения дыма и тепла — обеспечивает удержание дыма в определенном пространстве между источником огня и местом его удаления таким образом, чтобы обеспечить легкий доступ к источнику пожара аварийно-спасательным командам, в то же время значительно снижает его температуру и концентрацию дыма или токсичных продуктов горения (рис. 2).



*Рис. 2. Продольная струйная противодымная вентиляция, действующая по принципу контроля распространения дыма и тепла*

В любом из двух выбранных типов продольной струйной противодымной вентиляции предусмотрен этап эвакуации продолжительностью от 5 до 12 мин, когда конвективная мощность пожара легкового автомобиля  $Q_k$  составляет 0,6–0,9 МВт [11]. Эвакуация начинается сразу после обнаружения пожара, струйные вентиляторы отключены, работает только приточная и вытяжная противодымная вентиляция таким образом, чтобы дым естественным образом, за счет плавучести, оставался в слое под потолком гаража, как это показано на рис. 3.



*Рис. 3. Продольная струйная противодымная вентиляция в режиме эвакуации в течение 5–15 мин. после обнаружения пожара:  $H$  — высота потолочного перекрытия над уровнем пола, м;  $Y$  — минимальное проектное значение высоты нижней границы дымового слоя над уровнем пола, м*

Удержание дыма в подпотолочном пространстве обусловлено разностью плотностей горячего дыма и холодного приточного воздуха, поступающего в нижнюю часть автостоянки. В период эвакуации важно не допустить перемешивания дыма и чистого приточного воздуха. Поэтому верхняя граница решетки приточного клапана должна быть на высоте над уровнем пола на 0,5–1,0 м меньше значения  $Y$ . Скорость воздуха в сечении решетки приточного клапана противодымной вентиляции не должна превышать 2 м/с. После окончания этапа эвакуации подача приточного воздуха может осуществляться по всей высоте автостоянки.

На этапе эвакуации скорость потока холодного приточного воздуха слое высотой  $Y$  над полом должна соответствовать значению числа Фруда ( $Fr$ ), равному 4,5–6,0, определяемому в соответствии с [2] по формуле:

$$Fr = \frac{9,8Y(T_m - T_0)}{T_m V_{кр}^2}, \quad (1)$$

где  $T_m$  и  $T_0$  — температуры дымовых газов и наружного воздуха соответственно, К;  
 $V_{кр}$  — критическая скорость потока приточного воздуха в слое высотой  $Y$  над полом, м/с.

При скорости воздушного потока, равной  $V_{кр}$ , число Фруда не превышает значения 4,5–6,0.

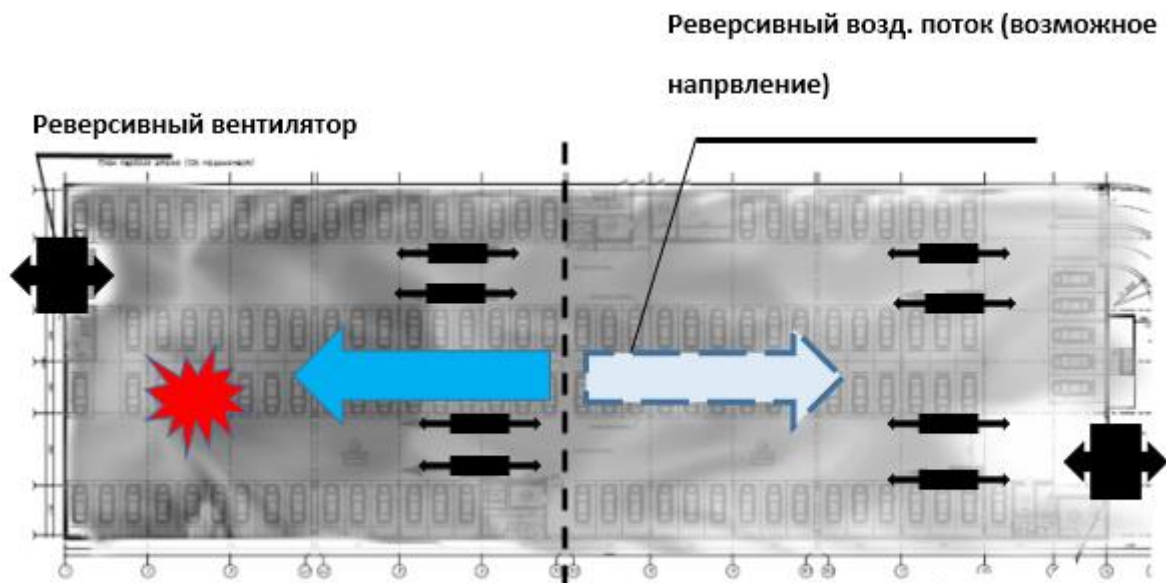
Следует избегать ситуаций, когда в герметично закрытой или подземной автостоянке приток компенсационного воздуха обеспечивается исключительно с помощью приточных вентиляторов. При быстро меняющихся условиях пожара соотношения различных параметров газовой среды также меняются. В крайних случаях приток слишком большого количества компенсационного воздуха может привести к тому, что давление воздуха в пожарном отсеке автостоянки будет выше, чем на ведущих к нему лестничных клетках. Поэтому предусматривают расчетное значение дисбаланса по притоку и вытяжке. В этом случае расход приточного воздуха на 20% меньше, чем на вытяжке горячего дыма. Остальное недостающее количество воздуха должно быть подано в автостоянку гравитационным способом, например, через открытые внешние ворота, пандус или дополнительные каналы, соединяющие гараж с внешней стороной здания.

Нормативные требования по выбору параметров продольной противодымной вентиляции автостоянки зависят от принятого типа вентиляции.

Система очистки от дыма является наименее эффективной системой продольной противодымной вентиляции, она распространена на небольших и средних автостоянках. В нормативном документе [6] систему очистки от дыма рекомендуется применять для автостоянок площадью не более 5000 м<sup>2</sup> при делении помещения на дымовые зоны не более 2600 м<sup>2</sup>. Если ни длина, ни ширина такой дымовой зоны не превышает 60 м, производительность противодымной вентиляции должна быть не менее 160 000 м<sup>3</sup>/ч.

На рис. 4 представлено европейское типовое проектное решение по струйной противодымной вентиляции для подземной автостоянки площадью 5000 м<sup>2</sup>.

Наиболее целесообразно использовать данную систему в реверсивном режиме работы [12], как это показано на рис. 4.



*Рис. 4. Реверсивная струйная продольная противодымная вентиляция в режиме очистки от дыма*

Автостоянка площадью 5000 м<sup>2</sup> условно делится на две примерно равные дымовые зоны. Вытяжка осуществляется из зоны, где был обнаружен очаг пожара. Таким образом, производительность противодымной вентиляции 160 000 м<sup>3</sup>/ч (при среднем значении высоты потолка 3–3,5 м) будет соответствовать кратности 11–12, что не противоречит требованиям стандарта [7].

В случае, если размеры автостоянки (рис. 4) не соответствуют указанным выше требованиям, производительность противодымной вентиляции рассчитывается исходя из требований свода правил проектирования [4].

При делении помещения автостоянки на дымовые зоны, конструктивно выделенные из объема этого помещения в его верхней части, как это предусмотрено в своде правил [13], не следует размещать границы дымовых зон перпендикулярно продольному вентиляционному потоку. Кратность противодымной продольной вентиляции в этом случае выбирается в пределах 10–15 или рассчитывается в соответствии с [4].

Система контроля распространения дыма и тепла применяется на больших автостоянках, где возможно нахождение большого количества людей. Правильный выбор и определение параметров системы противодымной струйной вентиляции, действующей как система контроля распространения дыма и тепла, трудно обеспечить только с помощью простых математических соотношений. Тем не менее на стадии эскизного проекта необходимо оценить прежде всего производительность противодымной

вентиляции. Расчет выполняется по методике [4] при условии, что высота нижней границы дымового слоя равна высоте потолка:  $Y = H$ . В этом случае допускается затекание подпотолочной струи дымовых газов в сторону притока воздуха на расстояние не более 10 м от очага пожара.

На рис. 5 и 6 показаны производительности продольной струйной вентиляции автостоянки при пожаре одного и двух автомобилей при поперечном размере  $B$  (м) помещения, перпендикулярном воздушному потоку от 16 до 48 м.

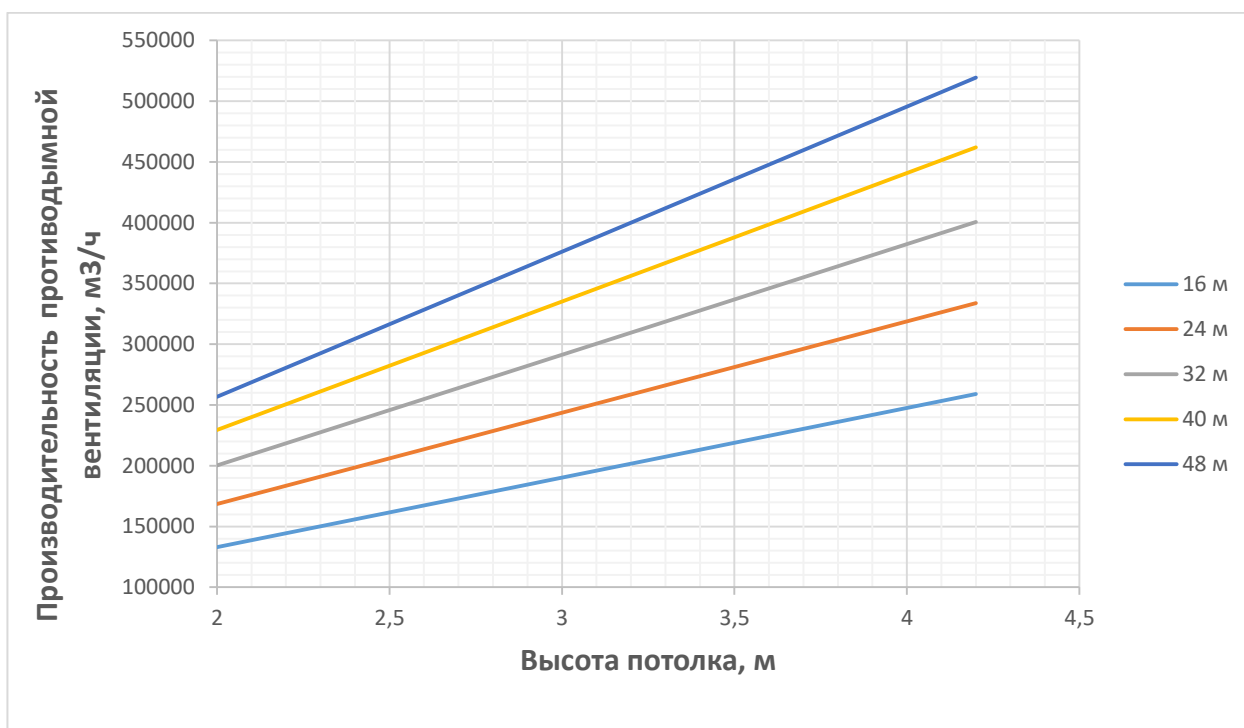
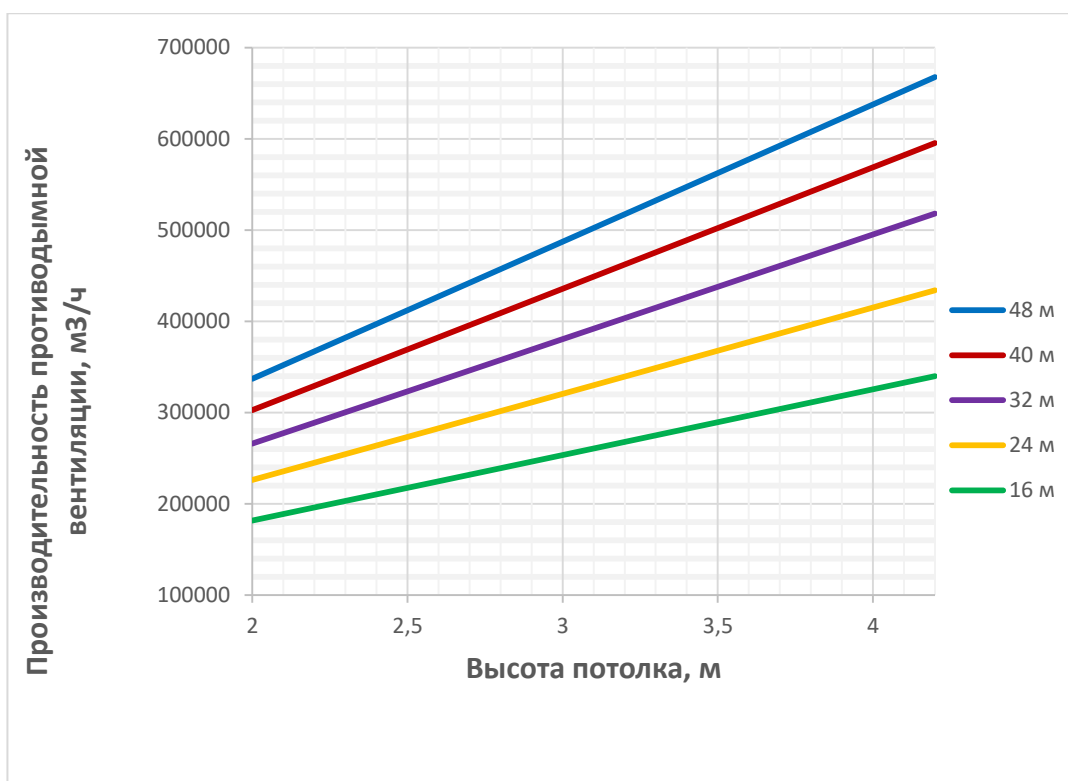


Рис. 5. Зависимость производительности противодымной вентиляции от высоты потолка при различных габаритах помещения  $B$  при пожаре одного автомобиля с конвективной мощностью очага горения 2,8 МВт





*Рис. 6. Зависимость производительности противодымной вентиляции от высоты потолка при различных габаритах помещения  $V$  при пожаре двух автомобилей с конвективной мощностью очага горения 5,6 МВт*

Для автостоянок, оснащенных автоматической системой пожаротушения, рассматривается пожар одного автомобиля (рис. 4). При отсутствии такой системы или при двухъярусном хранении автомобилей на механизированной автостоянке — рассматривается пожар двух автомобилей (рис. 5).

Анализ результатов расчетов, представленных на графиках рис. 4 и 5, свидетельствует о существенно больших, примерно в 1,5–2,0 раза, производительностях противодымной вентиляции, работающей по принципу контроля распространения дыма и тепла по сравнению с режимом очистки от дыма, когда расчетная высота нижней границы дыма не более 2 м [4]. При высоте потолка автостоянки не более 2,2 м режим контроля распространения дыма и тепла безальтернативен. При высоте потолка более 3,5 м дымовой резервуар в подпотолочном пространстве позволяет аккумулировать значительные объемы дыма и заметно снизить риски внезапного снижения нижней границы дымового слоя. Поэтому в этом случае целесообразно использовать режим очистки от дыма, позволяющий существенно снизить производительность противодымной вентиляции.

Проектирование продольной струйной системы противодымной вентиляции автостоянки обязательно содержит этап численного моделирования процессов воздухораспределения — *CFD*-моделирования, основные принципы которого рассмотрены в работах [14–17]. *CFD*-моделирование иногда называют испытаниями струйной вентиляции методами вычислительной гидродинамики. *CFD*-модель позволяет проверить проектные решения и, если надо, внести в проект изменения.

Монтаж системы противодымной вентиляции должен следовать всем указаниям проекта. Однако опыт строительно-монтажных работ свидетельствует о наличии возможных (неучтенных) отклонений от оригинального проекта, что в итоге может привести к ошибкам при *CFD*-моделировании, проводимом для проверки проектных решений перед началом строительства.

Для подтверждения проектных параметров на реальном объекте выполняют специальные испытания противодымной вентиляции с имитацией реального (проектного) пожара. Параметры тестового пожара выбирают из соображений безопасности для помещения автостоянки. Визуализация дымового слоя осуществляется с помощью искусственного дыма. Методика таких испытаний рассмотрена в работах [18, 19].

На рис. 7 и 8 представлены фотографии режимных испытаний противодымной вентиляции автостоянки при масштабировании параметров тестового пожара.



Рис. 7. Испытания противодымной вентиляции в режиме очистки от дыма



*Рис. 8. Испытания противодымной вентиляции в режиме контроля распространения дыма и тепла*

Следует отметить, что проблема с комплектацией автостоянок струйными вентиляторами из-за ограничений по импорту постепенно решается. На фотографии рис. 9 представлен реверсивный струйный двухскоростной вентилятор, рассчитанный на работу при 400 °С в течение двух часов.



*Рис. 9. Струйный вентилятор с диаметром рабочего колеса 400 мм, с номинальной реактивной тягой 52Н, произведенный в России*

## ВЫВОДЫ

1. Современные автостоянки отличаются большими площадями и низкими потолками.

2. При высоте потолка автостоянки менее 2,9 м следует использовать продольные струйные системы противодымной вентиляции.
3. Для автостоянок площадью не более 5000 м<sup>2</sup> и при высоте потолка более 3,5 м следует использовать вариант работы противодымной струйной вентиляции — очистка от дыма.
4. Для больших автостоянок площадью более 5000 м<sup>2</sup> и при высоте потолка менее 2,2 м следует использовать вариант работы противодымной струйной вентиляции — контроль распространения дыма и тепла.
5. Обязательным этапом проектирования продольной струйной системы противодымной вентиляции является проверка проектных решений с помощью численной *CFD*-модели.
6. При сложных объемно-планировочных решениях, возможных отклонениях от проекта рекомендуется испытание противодымной вентиляции с имитацией пожара и визуализацией дымового слоя с помощью искусственного дыма.

## ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. 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.
3. Свердлов А. В., Волков А. П., Рыков С. В., Волков М. А. Эффективность системы общеобменной вентиляции автостоянок закрытого типа // Вестник Международной академии холода. 2021. № 1. С. 3–10.
4. СП 300.1325800.2017. Системы струйной вентиляции и дымоудаления подземных и крытых автостоянок. Правила проектирования.
5. Свердлов А. В., Волков А. П. Система реверсивной струйной вентиляции четырехэтажной подземной автостоянки в Казани // Инженерные системы. 2018. № 4. С. 20–22.
6. Wojciech Vengzhinsky, Grzegorz Krajewski. Systemy wentylacji pożarowej garaże. Projektowanie, ocena, akceptacja / Systemy wentylacji pożarowej garaży. Projektowanie, ocena, odbior. Wytyczne // Instytut Techniki Budowlanej. Warszawa, 2015. — ISBN 987 — 83 — 249 — 6792 — 6.

7. BS 7346–7:2013. Components for smoke and heat control systems Code of practice on functional recommendations and calculation methods for smoke and heat control systems for covered car parks.
8. Свердлов А. В., Волков А. П., Рыков С. В., Гордеева Э. А., Волков М. А. Проектирование систем противодымной вентиляции современных автостоянок закрытого типа с использованием математических моделей процессов тепло- и массообмена на основе числа Фруда // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2018. № 1. С. 47–56.
9. 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.
10. 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.
11. Вишневский Е. П., Волков А. П. Особенности расчета параметров пожара крытой и подземной автопарковок, оснащенных струйной вентиляцией // Мир строительства и недвижимости. 2012. № 45. С. 43–44.
12. 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.
13. СП 7.13130.2013 Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности. Свод правил.
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. Математическое моделирование в проектировании систем вентиляции и кондиционирования / А. М. Гримитлин, Т. А. Дацюк, Д. М. Денисихина — СПб: АВОК Северо-Запад, 2013. — 192 с.

16. 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.

17. 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.

18. Гримитлин А. М., Волков А. П., Свердлов А. В. Метод масштабирования параметров пожара при испытаниях противодымной вентиляции закрытых автостоянок // Приволжский научный журнал, № 1, 2022. С. 111–122.

19. Свердлов, А. В., Волков А. П. Почему проводят испытания горячим дымом при пусконаладочных работах системы струйной вентиляции и дымоудаления автостоянок // Вентиляция. Отопление. Кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика (АВОК). — 2018. — № 3. — С. 20–23.