**Система реверсивной струйной вентиляции четырехэтажной подземной автостоянки в Казани**

***А. В. Свердлов, генеральный директор «FlaktGroup Россия»***

***А. П. Волков, эксперт «FlaktGroup Россия»***

В августе 2018 года были закончены пусконаладочные работы и сдана заказчику система реверсивной струйной вентиляции четырехэтажной подземной автостоянки в НКЦ Казани. На рис. 1 показано объемно-планировочное решение объекта.

*Рис. 1. Схема расположения подземной автостоянки на площади Пушкина в Казани*

Впервые в России спроектирована и построена автостоянка, оснащенная системой реверсивной струйной вентиляции, имеющая двойное назначение, обеспечивающая штатный режим работы и режим дымоудаления при пожаре.

В исходном варианте рассматривалось проектное решение системы вентиляции автостоянки на базе традиционной канальной системы вентиляции. Предполагалось, что автостоянка будет иметь три этажа.

Отказ от разветвленной системы воздуховодов и переход к струйным вентиляторам позволил разгрузить подпотолочное пространство. Таким образом, удалось

снизить высоту потолочных перекрытий и увеличить количество этажей до четырех без увеличения объема подземного пространства.

Первоначально предполагалось деление помещения каждого этажа автостоянки на 2 пожарных отсека по 5000 м$^2$ каждый (см. рис. 2).

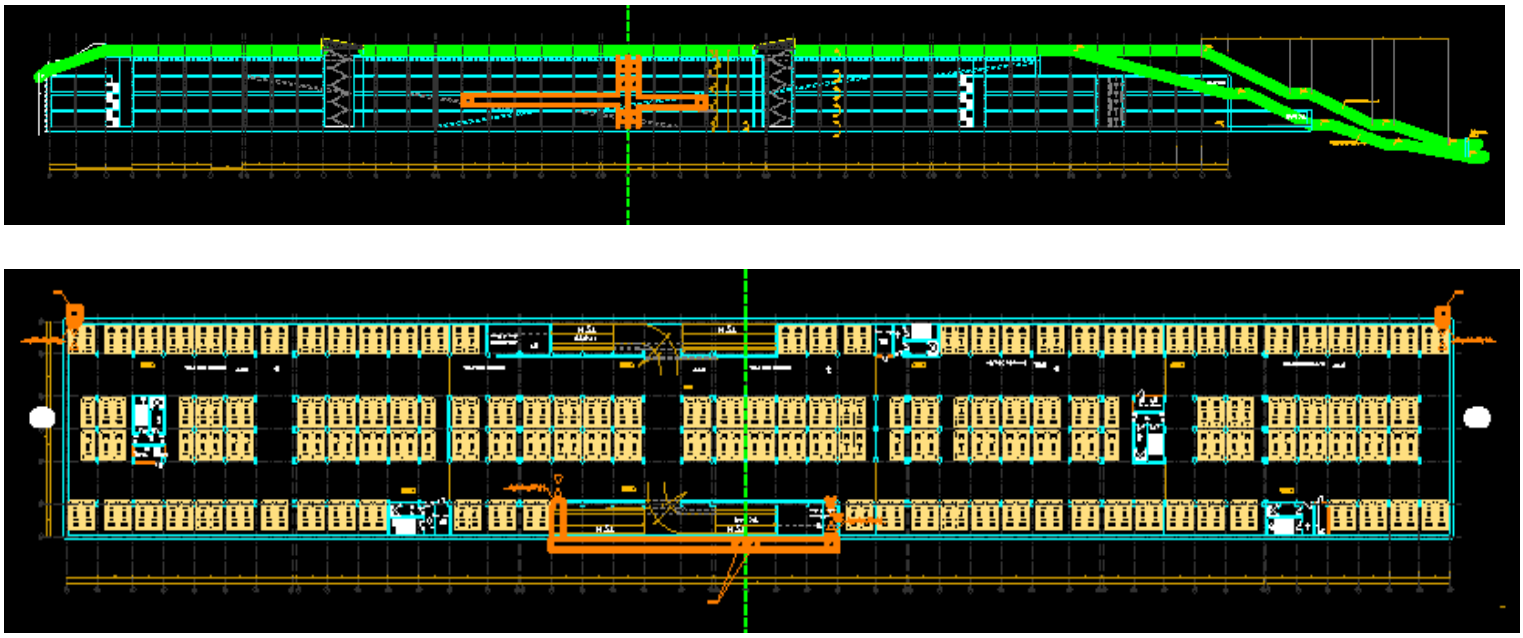

*Рис. 2. Исходный вариант деления на пожарные отсеки по 5000 м$^2$*

4 вентиляционные шахты показаны оранжевым цветом, граница между отсеками — зеленый пунктир.

Однако после утверждения и публикации нового свода правил [1], где допускалась максимальная площадь пожарного отсека до 10 000 м$^2$ в случае применения реверсивной струйной вентиляции [2], проектировщиком было принято решение объединить отсеки и уменьшить количество вентиляционных шахт до 2, как это показано на рис. 3.

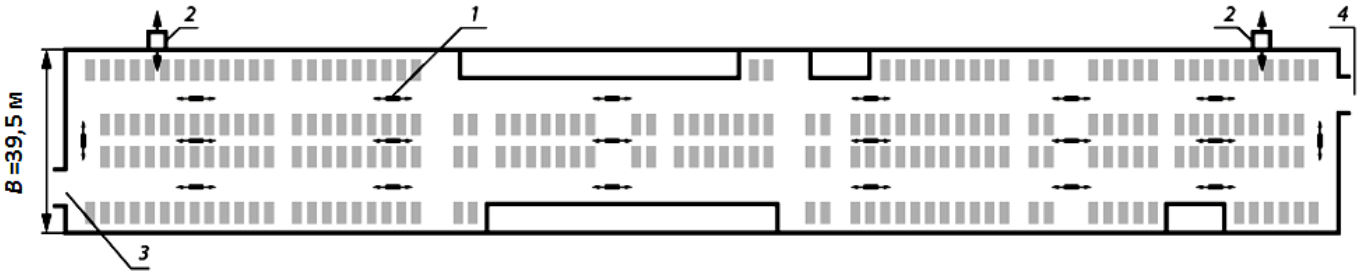

*Рис. 3 Схема окончательного варианта системы реверсивной струйной вентиляции автостоянки:*

*1 — реверсивный струйный вентилятор; 2 — вентиляционные шахты притока-вытяжки; 3 — въезд; 4 — выезд*

Выбор основных параметров системы струйной вентиляции и дымоудаления выполнен на основе правил проектирования [1]:

- сценарий аварийной ситуации предполагает пожар одного автомобиля $Q_f$ = 4,5 МВт;

- ширина зоны локализации пожара $B$ = 39,5 м.

Расчет производительности вентиляторов дымоудаления осуществлялся по минимальному значению критической скорости $v_{кр}$ = 0,7 м/с для данного сценария пожара.

При расчете параметров струйной вентиляционной системы в режиме дымоудаления делается ряд допущений и ограничений:

- объемный расход дымовых газов $V_f$, м$^3$/с, и температура дымовых газов $T_c$, К, рассчитываются исходя из проектной пожарной нагрузки $Q_f$;

- противодымная продольная вентиляция обеспечивает приток наружного холодного воздуха в количестве, достаточном для удержания горячих дымовых газов на высоте не менее принятого значения $Y$ при значении критерия Фруда ($Fr$) ≤ 4,5*;*

- допускается затекание дымовых газов в сторону притока на расстояние не более 10 м от очага горения, при этом нижняя граница дыма не менее $Y$ = 2 м от поверхности пола.

Для расчета границы устойчивости разноплотностного течения использовался критерий Фруда ($Fr$), рассчитанный по формуле [1, 3]:

$$Fr = \frac{9{,}8Y(T_m - T_0)}{T_m V_1^2}, (6)$$

где $T_m$ — температура газовоздушной смеси за очагом горения, К;

$T_0$ — температура приточного воздуха, К;

$V_1$ — скорость приточного воздуха, м/с.

На рис. 4 графики, используемые для выбора минимальной производительности вентиляторов дымоудаления, соответствующей границе устойчивости [3].

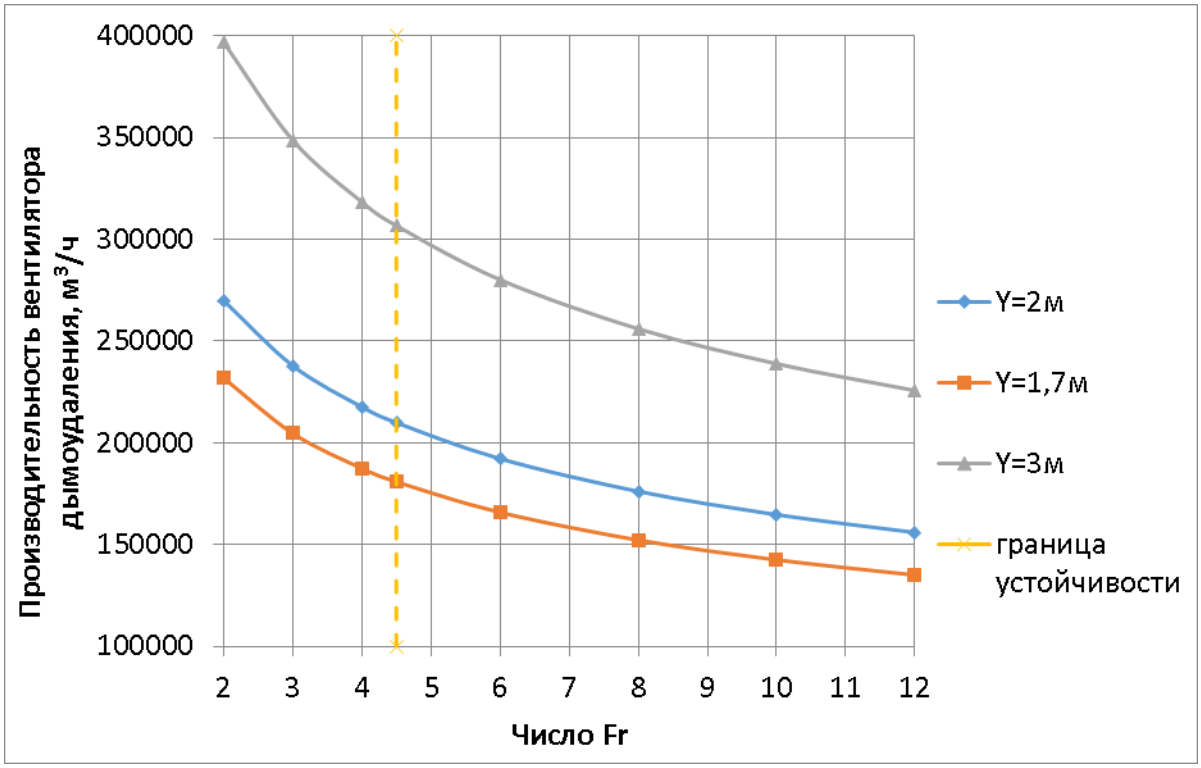


*Рис. 4. Графики зависимостей производительности вентиляторов дымоудаления от числа Фруда при различных высотах нижней границы дыма*

Таким образом, минимальная производительность вентиляторов дымоудаления, обеспечивающая удержание нижней границы дымовых газов на высоте $Y = 2$ м от поверхности пола, составила 210 000 м$^3$/ч.

*Рис. 5. Двухступенчатый реверсивный вентилятор дымоудаления*

Расчетный воздухообмен обеспечивается четырьмя осевыми двухступенчатыми, реверсивными вентиляторами дымоудаления с производительностью по 105 000 м$^3$/ч и напором 2200 Па, оснащенные частотными регуляторами, представленными на рис. 5.

С учетом высоты потолочных перекрытий был подобран тип струйного реверсивного вентилятора Low-Profile 400 с номинальной реактивной тягой 57 Н, представленный на рис. 6.

*Рис. 6. Струйный реверсивный вентилятор Low-Profile 400*

Работа в режиме дымоудаления при максимальной температуре 400 °С обуславливает снижение реактивной тяги до 50 Н. С учетом аэродинамических потерь осесимметричной, настилающейся, затопленной струи рабочее значение реактивной тяги составило 46,4 Н.

Максимальная площадь, проветриваемая одним струйным вентилятором в соответствии с [1], составляет 420 м$^2$ при минимальном значении осевой скорости воздушной струи $v_{x\min}$ = 1,0 м/с.

Минимальное количество струйных вентиляторов, с учетом 10%-ного резервирования, составляет для одного этажа автостоянки не менее 26 шт. Всего на объекте используется 130 струйных вентиляторов Low-Profile 400.

После завершения и утверждения рабочего проекта, с целью проверки правильности принятых проектных решений, было выполнено CFD-моделирование вентиляционных воздушных потоков в режиме дымоудаления при пожаре и в штатном режиме общеобменной вентиляции.

Графическое отображение CFD-модели включает:
– профили скорости движения воздуха;
– анимацию линий воздушного потока;
– профили загрязненности и/или токсичности;
– профили температуры;

– профили видимости;

– визуализацию задымления.

На рис. 7 представлен примеры графического отображения CFD-модели в режиме дымоудаления при пожаре.

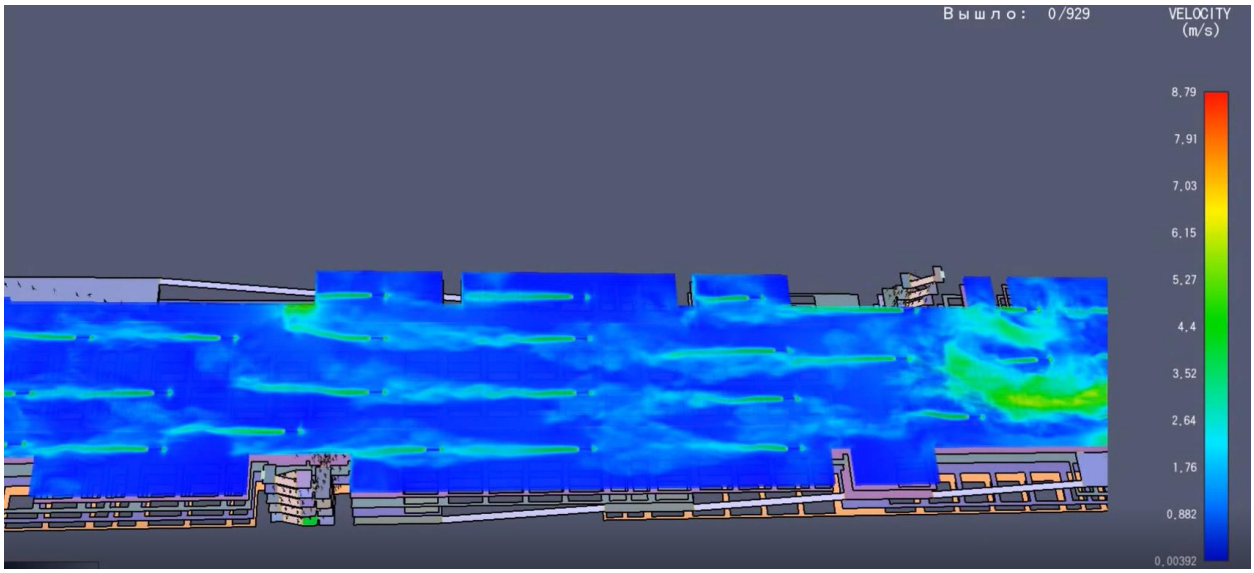


*Рис. 7. Графическое отображение CFD-модели работы струйной вентиляции в режиме дымоудаления*

Для проверки возможности безопасной эвакуации людей из помещения автостоянки была выполнена компьютерная модель симуляции процесса эвакуации. Фрагмент данной модели представлен на рис. 8.

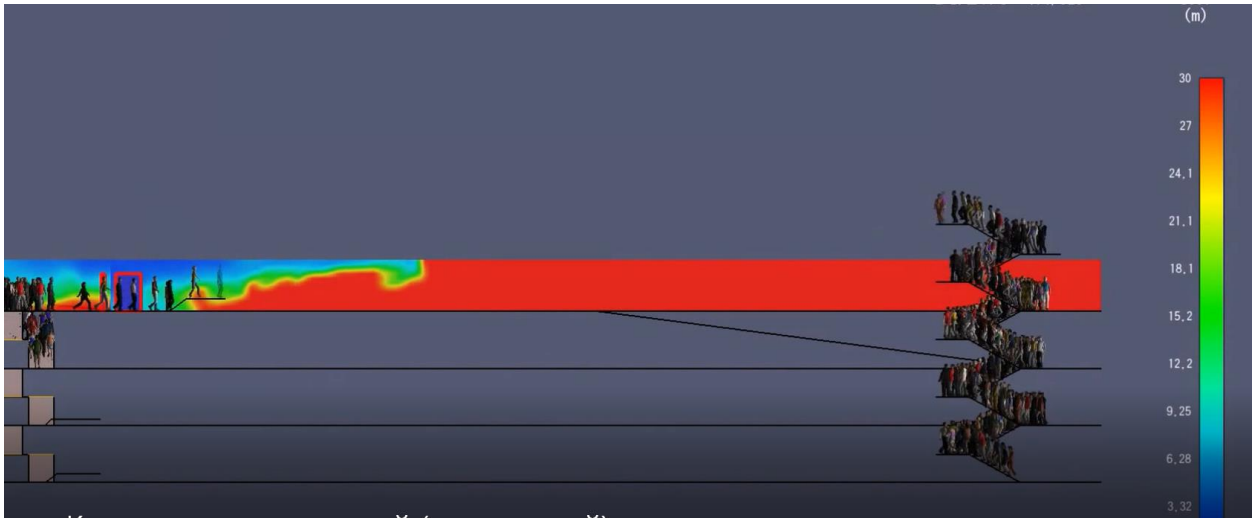


*Рис. 8. Графическое отображение модели эвакуации*

Анализ результатов CFD-моделирования в целом подтвердил правильность проектных решений, принятых при проектировании системы реверсивной струйной вентиляции автостоянки. Ряд замечаний, сформулированных по результатам моделирования, позволил улучшить качество воздухораспределения работы вентиляции автостоянки.

Компьютерная модель симуляции процесса эвакуации людей из помещения подтвердила возможность эвакуации в течение 8 минут после включения пожарной сигнализации.

Выполнение пусконаладочных работ и приемки заказчиком системы струйной вентиляции и дымоудаления подземных и крытых автостоянок осуществлялись в соответствии с [4]. Кроме того, были проведены испытания с использованием горячего дыма с целью экспериментального подтверждения заявленных характеристик противодымной защиты автостоянки.

В работе [5] обосновывается необходимость таких испытаний на крупных автостоянках закрытого типа. В настоящее время в России нет нормативного документа, устанавливающего правила проведения таких испытаний. В мировой практике часто ссылаются на австралийский стандарт [6].

Наряду с комплексной проверкой алгоритма включения противодымной защиты автостоянки проверялось удержание нижней границы дыма в течение времени, необходимого для эвакуации людей, как это показано на рис. 9.

*Рис. 9. Испытания горячим дымом — проверка возможности удержания нижней границы дыма за счет притока наружного (холодного) воздуха*

Незначительные погрешности в работе системы струйной вентиляции, выявленные при испытаниях горячим дымом, устранены в рабочем порядке.

В целом испытания подтвердили результаты CFD-моделирования и доказали эффективность работы системы вентиляции автостоянки.

По результатам испытаний было принято решение о вводе системы струйной вентиляции в эксплуатацию.

**Литература**


1. СП 300.1325800.2017 Системы струйной вентиляции и дымоудаления подземных и крытых автостоянок. Правила проектирования.
2. 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.
3. 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.

4. СТО НОСТРОЙ/НОП 2.15.194-2016. Инженерные сети зданий и сооружений внутренние. «Системы струйной вентиляции и дымоудаления подземных и крытых автостоянок. Правила проектирования и монтажа, контроль выполнения, требования к результатам работ».
5. Свердлов А. В., Волков А. П. Почему проводят испытания горячим дымом при пусконаладочных работах системы струйной вентиляции и дымоудаления автостоянок // АВОК Вентиляция. Отопление. Кондиционирование. 2018. № 3. С. 20–23.
6. AS 4391–1999 Australian Standard™ Smoke management systems — Hot smoke test. Reconfirmed 2016.