

# НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ ТОННЕЛЕЙ ЗА РУБЕЖОМ

Транспорт выбрасывает в атмосферу свыше ста различных загрязняющих веществ. Поэтому тоннели и подземные парковки представляют собой пространство, где нахождение людей связано с определенным, порой повышенным риском и необходимостью поддержания допустимых параметров воздушной среды. Решение проблемы загазованности такого типа сооружений заключается в правильной организации вентиляции, а также грамотном подборе оборудования. Основные критерии строго оговорены в европейских стандартах и директивах.

Оптимальная схема вентиляции определяется, исходя из многих факторов, в том числе геометрии и глубины расположения тоннеля, особенности транспортного потока и внешнего ветрового напора. Также важно смоделировать наиболее опасные сценарии развития аварийной обстановки, оценить степень приемлемости риска для людей, а также алгоритм работы системы вентиляции в случае чрезвычайных происшествий.

Надо признать, что ситуация с уровнями выбросов автомобилей новых поколений постоянно улучшается, и первоочередной задачей при разработке систем вентиляции становится обеспечение пожарной безопасности. По рекомендациям европейского сообщества для целей проектирования вентиляционных систем используется значение тепловой мощности 30 МВт на случай пожара, что соответствует возгоранию транспортного средства большой грузоподъемности с грузом, который не является легковоспламеняющимся (полная тепловая мощность достигается через 10 мин., объем дымового потока составляет примерно 80 м<sup>3</sup>/с, продолжительность пожара не превышает 60 мин.). Кроме пожаров в результате аварий, источником опасности может стать взрыв облака топливно-воздушной смеси, выброс токсичных газов, химических средств и биологических агентов, а также атака террористов. Вентиляция оказывает значительное влияние на развитие большинства аварийных режимов. Например, потоки воздуха в тоннеле могут усилить испарение разлившейся воспламеняющейся жидкости, определить направление распространения токсичных или горючих газов и в то же время способствовать уменьшению концентрации загрязняющих веществ. Остановимся на выборе схемы вентиляции тоннеля

## Естественная вентиляция

Когда требуется искусственная вентиляция? Чтобы ответить на этот вопрос, нужно рассмотреть поведение

струи дыма в тоннеле, принимая во внимание тот факт, что естественная вентиляция не позволяет контролировать распространение дыма в аварийной ситуации. До сильного разгорания пламени движение потока воздуха зависит от ветрового напора и движущихся автомобилей, которые вовлекают слои воздуха в движение (так называемый поршневой эффект).

В аварийной ситуации поток машин останавливается и поршневой эффект исчезает. При этом в первые минуты пожара слой горячего газа и дыма формируется под потолком, двигаясь в направлении от источника возгорания и оставляя на несколько минут зону чистого воздуха с обеих сторон в нижней части тоннеля. Сильный напор ветра, а также перепад давлений в случае наклонного расположения тоннеля может препятствовать процессу естественной вентиляции или вообще свести ее на нет.

В разных странах требования к допустимой длине тоннеля с естественной вентиляцией варьируются. Например, в соответствии с английскими стандартами для тоннелей протяженностью до 300 м достаточно естественной вентиляции, т.к. путь к portalу или аварийному выходу не превышает 150 м (максимально допустимое расстояние). В тоннелях протяженностью от 300 до 400 м применение искусственной вентиляции, необходимой для контроля за распространением дыма, требуется в случае значительных уклонов или интенсивного транспортного движения. Механическая вентиляция обязательна для любых тоннелей длиной свыше 400 м.

Директивой французского правительства установлена следующая максимальная длина для тоннелей с естественной вентиляцией:

1. для городских тоннелей (с одно- или двусторонним движением) – 300 м; городским считается тоннель, расположенный в населенных пунктах с более чем 20 тыс. жителями и удовлетворяющий одному из следующих условий: высокая интенсив-

ность транспортного потока – более 1000 машин в час для одной полосы в пиковый период, частое образование дорожных пробок, наличие ответвлений;

2. для тоннелей со значительной интенсивностью транспортного потока (с одно- или двусторонним движением) – 500 м;
3. для тоннелей со слабой интенсивностью транспортного потока (с одно- или двусторонним движением) – 1000 м.

Слабая интенсивность транспортного потока – менее 2000 машин в день и около 400 машин в пиковый период. Один грузовик приравнивается к пяти легковым автомобилям.

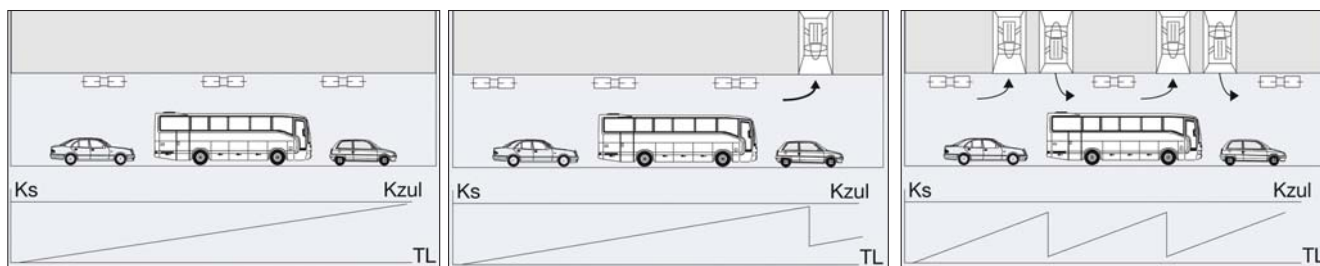
Американский стандарт пожарной безопасности содержит более жесткие требования, ограничивая максимально допустимую протяженность тоннеля с естественной вентиляцией 240 м, и, как следствие, обеспечивает более высокий уровень безопасности.

Для тоннелей протяженностью свыше 240 метров отсутствие механической вентиляции должно быть обосновано проведением детального инженерного анализа с учетом таких факторов, как длина, поперечное сечение и уклон тоннеля, роза ветров, направление движения и тип транспорта, тепловая мощность пожара.

## Продольная вентиляция

Определившись с необходимостью механической вентиляции, далее рассматривают возможность использования продольной схемы вентиляции, так она является самой простой в реализации, требует меньших капитальных затрат и отличается меньшей стоимостью эксплуатации и обслуживания по сравнению с другими системами вентиляции.

Ее применение обосновано в коротких тоннелях с односторонним движением (движение воздуха должно совпадать с движением транспорта). Для тоннелей с двусторонним движением данная схема вентиляции не является оптимальной. У нее много не-



достатков, в том числе увеличение концентрации вредных примесей  $K_s$  по длине тоннеля  $TL$ , подверженность естественной тяге, которая зависит от теплового и ветрового напоров, достаточно низкая пожарная безопасность (смотрите рисунок)

Однако в последние годы за рубежом наметилась тенденция по использованию продольной схемы для организации вентиляции тоннелей средней длины (с протяженностью до 3000 метров). При длине тоннелей более 1 км необходимо обустройство шахтных стволов, что увеличивает стоимость системы. Английский стандарт подробно описывает продольную вентиляцию и эффективность ее использования во время аварийных режимов. Существует несколько рекомендаций относительно алгоритма работы системы продольной вентиляции во время пожара. В тоннелях с односторонним движением для предотвращения проникновения дыма в зону, расположенную выше места возгорания, в большинстве случаев используется перемещение воздуха в направлении движения транспорта с критичной скоростью.

Критичная скорость измеряется в холодном потоке воздуха вверх по течению огня. В тоннелях с двусторонним движением ситуация осложняется возможностью скопления машин с обеих сторон пожара и распространением задымления на другую полосу движения. Посредством продольной вентиляции невозможно решить задачу защиты всех находящихся в тоннеле людей от воздействия дыма. Наихудший сценарий развития событий – расположение источника возгорания в непосредственной близости от входного портала или шахты. Реверсирование потока требует около 20 мин., что приводит к задымлению всего тоннеля. Возможное решение заключается в отключении системы вентиляции.

Эффект стратификации струи дыма – на короткий период и на небольшом расстоянии от источника возгорания – позволяет людям покинуть тоннель, перемещаясь в зоне с относительно чистым и прохладным воздухом. Однако турбулентность потока и разбавление конвективной струи холодным воздухом быстро приводят к задымлению всего сечения тоннеля на некотором расстоянии от источника пожара. Ниже перечислены рекомендации для работы продольной системы вентиляции тоннеля с двусторонним движением

в аварийном режиме (наиболее важным условием является сохранение сформировавшейся конвективной струи дыма ненарушенной на этапе эвакуации людей):

- продольный поток воздуха должен быть небольшим;
- в зоне задымления вентиляторы необходимо отключить;
- следует избегать реверсирования потока в результате действия системы вентиляции, даже если место возгорания находится рядом с порталом.

После завершения этапа эвакуации одним из требований становится отсутствие задымления с одной из сторон места возгорания для упрощения работы пожарных.

В соответствии с австрийскими стандартами для выбора оптимальной работы системы вентиляции в аварийной ситуации необходимо учесть расположение источника возгорания, скорость воздушного потока, монтажную позицию вентиляторов, характеристики транспортного потока (интенсивность, скорость, основное направление движения). Скорость потока воздуха в тоннеле должна быть снижена до 1,0–1,5 м/сек для того чтобы предотвратить задымление аварийных выходов. Данное правило распространяется как на тоннели с двусторонним, так и односторонним направлением движения.

По немецким нормативам для сохранения конвективной струи не должно быть принудительного реверсирования воздушного потока, причем скорость последнего не должна превышать 2 м/сек. Данные рекомендации применяются в следующих случаях:

- значительной тепловой мощности пожара для обеспечения стратификации струи дыма;
- если распространение задымления ограничено, отсутствует реверсирование потока;
- возможности контроля за расчетной скоростью потока.

### Оборудование и управление

В зависимости от типа применяемых вентиляторов и варианта системы вентиляции возможно реализовать два основных способа автоматизированного регулирования расхода и направления движения свежего воздуха.

1. Изменение угла поворота лопаток вентилятора, включая переключение ступеней скорости вращения при использовании многопо-

люсного вентилятора.

2. Применение инвертных регуляторов скорости вращения+реверс для вентиляторов с фиксированным углом поворота лопаток.

Оба способа регулировки доказали свою жизнеспособность. Но использование вариантов напрямую зависит от аэродинамических характеристик тоннеля, как при рабочем, так и при аварийном режимах. В любом случае необходимо, чтобы рабочие точки каждого вентилятора при работе в стандартном и аварийном режимах были близки, не выходя из рабочей зоны аэродинамической характеристики вентилятора.

Для вентиляторов с переменным углом поворота лопаток переход в работу в аварийном режиме происходит без выхода из рабочей зоны. При нулевой производительности у этих вентиляторов давление напора составляет 50–60% от расчетного, поэтому все расчетные точки попадают в рабочую зону вентилятора.

Другой важный аспект при выборе системы управления – поддержание необходимого давления, создаваемого на приточных и вытяжных устройствах при различных параметрах притока и вытяжки с целью предотвращения неконтролируемого реверса потока по длине тоннеля. Поэтому для вентиляторов с регулировкой скорости изменение производительности часто находится на линии помпажа (выход из рабочей зоны), что накладывает ограничение на их применение при минимальной производительности. Поэтому вентиляторы с поворотными лопатками имеют неоспоримое преимущество.

Исходя из вышесказанного, комбинация системы управления скоростью вращения и изменением угла поворота лопаток дает оптимальную гибкость и энергоэффективность при эксплуатации. В последующих статьях будут рассмотрены конструктивные особенности тоннельных вентиляторов в совокупности с их применением в различных схемах вентиляции.

При подготовке статьи использованы материалы: российской информационно-аналитической компании HVAC REFerent, немецкой компании TLT-Turbo GmbH, шведской компании Systemair.

**С.Ю. Прокофьев, руководитель технического отдела «Вентрейд-Санкт-Петербург»**