

## КРИТЕРИИ ВЫБОРА СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ ТОННЕЛЕЙ В ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАНАХ: ПОПЕРЕЧНАЯ И ПОЛУПОПЕРЕЧНАЯ СХЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ

В настоящее время в России задача оптимизации возросших транспортных потоков остается одной из первоочередных. Поэтому объем строительства тоннелей, запланированный до 2020 года, превышает аналогичный показатель для любой другой страны мира. К наиболее значимым объектам относятся: 12 совмещенных транспортно-железнодорожных тоннелей различной протяженности, которые будут построены в преддверии Олимпиады в Сочи по заказу Северокавказской железной дороги, Орловский тоннель в Санкт-Петербурге, 4-х километровый тоннель в Хабаровске, комплекс тоннелей для Красноярской железной дороги. Безопасность новых объектов во многом будет зависеть от правильного подхода к выбору схемы вентиляции и, что немаловажно, от надежности самого вентиляционного оборудования.



Мы продолжаем серию статей о критериях выбора систем вентиляции тоннелей в зарубежных странах. Предыдущая статья, размещенная в 44-м номере журнала "Мир Дорог", была посвящена продольной схеме вентиляции, а также возможности применения естественной вентиляции в подземных сооружениях.

### Вентиляция с постоянной подачей и удалением воздуха вдоль всей длины тоннеля

Системы вентиляции с возможностью постоянной подачи и удаления воздуха по всей протяженности тоннеля с осуществлением контроля как дымоудаления, так и уровня загрязнения.

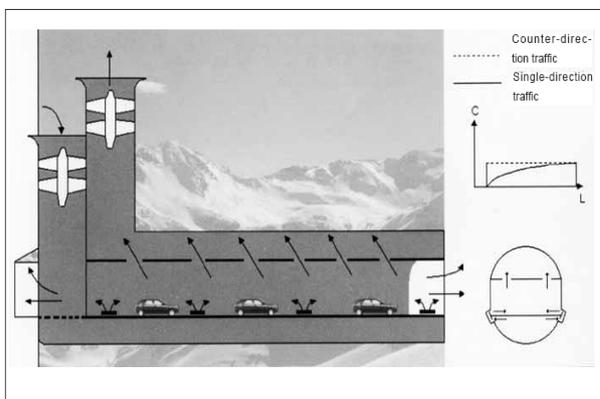


Рис.1

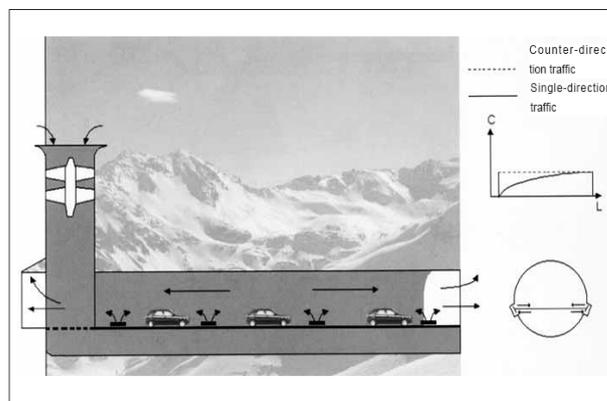


Рис.2

В большинстве существующих полупоперечных систем вентиляции приточный воздух подается через специальные отверстия, равномерно расположенные по длине тоннеля на уровне бордюра, а отработанный воздух проходит по всему тоннелю и выходит наружу через порталы тоннеля или специальные вентиляционные шахты. Поперечная схема вентиляции подразумевает подачу наружного воздуха из приточного воздуховода через специальные отверстия, равномерно расположенные по длине тоннеля, и удаление отработанного воздуха через такие же отверстия, расположенные в вытяжном воздуховоде.

Немецкий стандарт VD 78/99, требующий внесения наибольшего количества правок и дополнений по сравнению с остальными стандартами, рассматриваемыми в этой статье, не рекомендует использовать полупоперечные схемы для организации дымоудаления в силу их инерционности. На реверсирование (в случае необходимости) приточных вентиляторов уходит достаточно много времени, что может привести к дестратификации слоя дыма. Кроме того, данная схема малоэффективна при удалении дыма от источника возгорания, расположенного на равном расстоянии (посередине) от вентиляционных шахт. Также следует учитывать возможность разрушительного температурного воздействия как на сами вентиляционные каналы, так и на установленное в них оборудование.

Стандарт BD 78/99 описывает преимущества и недостатки поперечных схем вентиляции, рекомендуя для эффективного дымоудаления осуществлять подачу приточного воздуха в нижнюю часть тоннеля и размещать вытяжные устройства в верхней части тоннеля. Минимально допустимые скорости потока воздуха для таких схем вентиляции в немецком стандарте не указываются.

Французский стандарт (2000) содержит более конкретные рекомендации по организации дымоудаления:

- 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 (объем дымового потока составляет примерно 80 м<sup>3</sup>/с)
- Протяженность секции вентилирования ограничивается 400 м в городских тоннелях и 600 м в тоннелях вне зоны городов;
- Расстояние между дымоприемными устройствами регламентировано в пределах 50 м для городских тоннелей и 100 м в тоннелях вне городской зоны.
- Во избежание дестратификации слоя дыма необходим точный контроль за подачей приточного воздуха и скоростью продольного потока, которая не должна превышать 1.5 м/сек;
- В целях компенсации неизбежной инфильтрации свежего воздуха, вызываемой работой системы вытяжной вентиляции, объем вытяжного воздуха должен превышать объем дымовыделения от очага возгорания;
- В случае контролируемого воздушного потока объем удаляемого воздуха через потолочные вытяжные устройства должен превышать объем расчетного дымовыделения на треть для гарантированного дымоудаления (например, при дымовыделении в объеме 80 м<sup>3</sup>/сек минимальный объем вытяжки должен составлять 110 м<sup>3</sup>/час).
- При неконтролируемой скорости продольного потока дополнительный объем удаляемого воздуха рассчитывается исходя из площади поперечного сечения тоннеля, увеличенной в 1,5 раза. Таким образом, например, для тоннеля с поперечным сечением 60 м<sup>2</sup> в случае пожара мощностью 30 МВт объем удаляемого воздуха должен составлять не менее 170 м<sup>3</sup>/сек (к значению дымовыделения в объеме 80 м<sup>3</sup>/сек прибавляется 1.5 × 60).
- Предельная скорость в каналах дымоудаления ограничена 15 м/сек.

Французский стандарт также описывает использование 'объемных вытяжных систем', позволяющих увеличить протяженность продольно-вентилируемых тоннелей. Производительность системы вентиляции должна быть достаточна для удаления всех вредных выбросов, образовавшихся при пожаре, включая дым. Скорость движения потока летучих продуктов горения при этом не должна превышать 1 м/сек. Особенно важно следить за продольным потоком воздуха: недостаточный поток воздуха может привести к распространению части слоя дыма в обратном направлении, а чрезмерный поток – к уносу дыма за пределы вытяжных отверстий.

В австрийском стандарте RVS 9.261 прописаны следующие основные требования для организации дымоудаления посредством поперечной и полупоперечной схем вентиляции:

- В случае возникновения пожара полупоперечные системы вентиляции должны обладать способностью реверса и удаления не менее 80 м<sup>3</sup>/сек воздуха (при стандартной температуре) из зоны пожара. Система вентиляции в районе возгорания должна быть незамедлительно переключена в режим вытяжки, а соседние вентиляционные секции должны работать в режиме максимальной подачи свежего воздуха.
- В случае возникновения пожара поперечные системы вентиляции должны обладать способностью реверса и удаления не менее 80 м<sup>3</sup>/сек воздуха (при стандартной температуре) из зоны пожара. Система вентиляции в районе возгорания должна быть незамедлительно переключена в режим

вытяжки, а соседние вентиляционные секции должны работать в режиме максимальной подачи свежего воздуха. Объем подачи приточного воздуха должен быть сокращен в 3 раза от максимального, при этом устройства удаления воздуха, расположенные над очагом возгорания в верхней части тоннеля, должны быть полностью открыты, а устройства удаления воздуха в других секциях – полностью закрыты.

Американский стандарт NFPA 502 содержит следующие рекомендации по проектированию систем вентиляции на базе поперечных и полупоперечных схем для тоннелей с однонаправленным движением, в которых автомобилисты могут оказаться заблокированными вверх от источника возгорания:

- Объем удаляемого воздуха в зоне возгорания должен быть максимальным, объем приточного - минимальным.

- Необходимо создать продольный поток воздуха в направлении движения транспорта. Данный процесс реализуется за счет работы системы вентиляции в зонах, расположенных вверх по направлению движения транспорта, в режиме максимальной подачи приточного воздуха, а в зонах, расположенных вниз по движению транспортного потока, – в режиме максимального воздухоудаления.

В приложении G стандарта NFPA 502 приводятся основные результаты Программы исследования особенностей вентиляции тоннелей при пожарах (Memorial Tunnel Fire Ventilation Test Program/MTFVTP). Поперечная вентиляция протестирована при объеме удаляемого воздуха 0.155 м<sup>3</sup>/сек на 1 метр длины тоннеля. Этот объем вытяжки обычно принимается за норму при проектировании поперечных систем вентиляции американских тоннелей (ASHRAE, 2003). Тестированию также подлежала модель "единичного вытяжного устройства", которая имитирует поперечную систему вентиляции с большими отверстиями для вытяжного канала, обеспечивающими во время пожара удаление максимального объема дыма непосредственно из зоны возгорания. Тестирование подтвердило эффективность данной модели. Однако результаты экспериментов также показали, что одного определения величины минимальной производительности по вытяжке на метр длины тоннеля для обеспечения эффективного дымоудаления недостаточно. На этот процесс значительное влияние оказывают размер и местоположение воздухоприемных устройств.

Европейская Директива 2004/54/EC предписывает использование поперечных или полупоперечных систем вентиляции, работающих в том числе и как системы дымоудаления, в тоннелях, где необходима принудительная вентиляция, а обустройство продольной схемы невозможно. Кроме того, для тоннелей с двусторонним движением транспорта протяженностью более 3000 м и грузопотоком более 2000 транспортных единиц в день устанавливаются следующие требования:

- Необходимо предусмотреть возможность как группового, так и индивидуального управления вытяжными устройствами и клапанами дымоудаления.

- Управление системой вентиляции (клапанами, вентиляторами и т.д.) должно осуществляться исходя из скорости продольного воздушного потока, величину которой следует постоянно контролировать.

Рабочий вариант руководства по оснащению тоннелей системам контроля дымоудаления и пожаробезопасности (2004), разработанный Постоянной международной ассоциацией дорожных Конгрессов (PIARC), акцентирует внимание на важности поддержания стратификации.

Основным условием для контроля развития процесса стратификации является ограничение продольной скорости движения потока, которая может:

- усилить турбулентность и смешение слоев дыма и чистого воздуха;
- увеличить теплообмен между отдельными слоями потока, а также между горячим дымом и стенами.

В случае поперечных систем вентиляции контролировать скорость продольного потока достаточно сложно, так как она изменяется по длине тоннеля. Как следствие, алгоритм работы системы вентиляции зависит от местоположения очага возгорания.

Наиболее распространенный метод контроля продольной скорости потока при поперечной схеме вентиляции заключается в балансировке объемов приточного и удаляемого воздуха. Однако его воплощение связано с рядом трудностей:

- Необходимо предотвратить попадание приточного воздуха в область задымления.

Существуют рекомендации по ограничению длины тоннельных секций, в которые осуществляется подача свежего воздуха.

- Подача свежего воздуха может увеличить риск возникновения дестратификации особенно при прохождении струи непосредственно через слой дыма. В связи с этим приточные воздухораспределительные устройства не рекомендуется располагать вдоль верхнего края стен. Более того, ряд исследований, выполненных при реконструкции тоннеля Монблан, показали, что даже в случае организации притока снизу, т.е. от основания стен, риск дестратификации дыма остается. Чтобы снизить этот риск, скорость подачи свежего воздуха должна поддерживаться на минимально возможном уровне.

- Изменения потока естественной вентиляции при пожаре могут оказать серьезное влияние на величину продольной скорости.

- Диспетчерское управление воздухообменом и воздухораспределительными устройствами крайне затруднено, так как между режимом работы системы вентиляции и изменением продольной скорости прямая зависимость отсутствует. Кроме того, постоянная инфильтрация свежего воздуха еще более усложняет процесс управления.

В следующей статье мы рассмотрим применение мобильных систем вентиляции, влияние вентиляции на развитие пожара, а также критерии оценки очагов возгорания.

***Прокофьев С.Ю., технический директор компании HVAC REFerent***