

## ПО ПОВОДУ КОЛЛАПСА СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ТОННЕЛЯ ПРИ СИЛЬНОМ ПОЖАРЕ

Омар Ланчава, Зураб Лебаიძე

Почти каждый метод эвакуации людей при пожаре в транспортном тоннеле, а иногда и план ликвидации пожара, предусматривает управление вентиляционным потоком посредством вентиляторов, в частности, форсированную подачу чистого воздуха на те участки, где находятся люди, и уменьшение или вовсе прекращение его подачи к очагу пожара. Для эвакуации людей применима не любая комбинированная система вентиляции, а только поперечно-продольная, и то в том случае, если возможен перевод людей в канал с чистым воздухом. По этому же условию технически непригодна для применения система продольно-поперечной вентиляции, так как вентиляционный канал при обычном режиме заполнен загрязненным воздухом, а его заполнение чистым воздухом предусмотрено лишь после рециркуляции вентиляционной системы. Если учитывать разность скоростей воздуха и транспортных средств, а также необходимость преодоления инерционности воздуха при рециркуляции, тогда более реальным в тоннелях средней длины представляется возможность покинуть место возникшего пожара на транспорте, чем дожидаться результатов рециркуляции.

Главное же в том, что при сильном пожаре рециркуляция невозможна по техническим причинам, как это видно из приведенного ниже материала.

Вопрос рассмотрим на примере Рикотского автодорожного тоннеля. Тут существенной является необходимость развеять превратное мнение о пожаробезопасности его системы вентиляции, так как в условиях этого тоннеля рециркуляция воздушного потока все равно не имеет смысла, даже если это было бы возможно технически! Дело в том, что невозможно будет эвакуация людей через вентиляционный канал, который расположен за ложным потолком.

Рассмотрим принцип действия схемы вентиляции этого тоннеля при сильном пожаре (Рис. 1.). что кажется убедительным лишь на первый взгляд и под влиянием этого впечатления находились и мы.

Предположим, что очаг пожара располагается в левом крыле между пунктами 2 и 3. Тогда 3 и расположенные после него все вентиляционные окна по 40 окно будут закрыты, а окно 2 раскрывается по максимуму. Следовательно, в левом крыле воздух будет двигаться лишь по пути 011'0 и 022'0. При этом через окно 2 воздух будет отсасываться более энергично по сравнению с обычным режимом, чему будут способствовать и высокотемпературные газы. В следствие этого, за пределами очага пожара от 3 по 40 точку движения воздуха не будет и не произойдет распространения токсичных газов, а схема правого крыла будет работать в обычном режиме. Тут подразумевается, что система пожарного предупреждения сработала, допуск автомашин в тоннель прекращена, а движение в тоннеле стало односторонним - в сторону порталов.

Спустя приблизительно 2-3 минуты, эвакуация закончится, левое крыло остается без изменения, а с правого крыла портал будет перекрыт стальной дверью и произойдет рециркуляция воздуха, в следствие чего, воздух будет отсасываться лишь через вентиляционные окна 2 и 3 (Рис. 2.), после чего в действие включается пожарный расчет, который приступает к

действию с обеих сторон от очага пожара. Действия пожарных облегчены за счет снижения расхода воздуха, доставляющего к очагу уменьшенное количество кислорода.

Ясно, что принцип приведенного срабатывания системы подразумевает исправную работу устройств автоматического регулирования раскрытия окон, сенсоров обнаружения возгорания, системы передачи оповещения о пожаре к порталам и

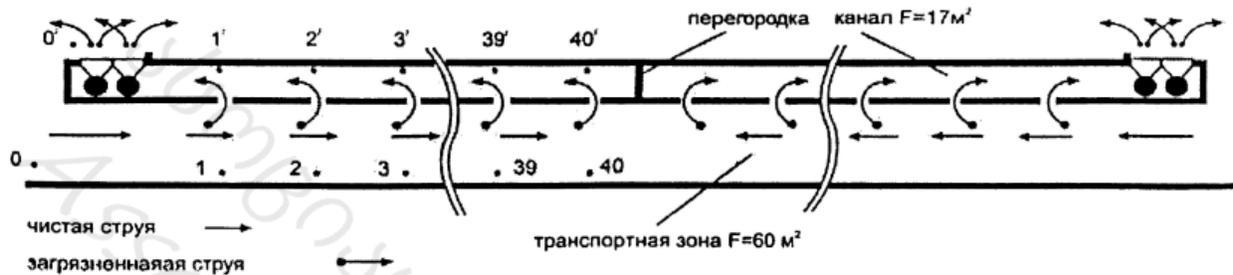


Рис. 1. Схема вентиляции Рикотского тоннеля

перекрывающих порталы стальных ворот. Как известно такой интегрированной системы в Рикотском тоннеле не существует. Соответственно, даже в условиях технической возможности, вентиляционная система не будет работать в описанном режиме.

Отметим, что представленные на обоих чертежах направления движения воздушных потоков имеет место в следствие работы вентиляционных установок. Депрессии, вызванные пожаром и работой вентиляторов алгебраически суммируются. Тяга от пожара действует наподобие природной тяги: при совпадении направлений производительность возрастает, а при противоположных направлениях снижается. Если удастся обосновать, что пожар создает значительно более высокую противоположную депрессию, по сравнению с создаваемыми вентиляторами, тогда станет ясно, что в таком случае воздух от работы вентиляторов не будет приходить в движение и система перестанет быть продольно-поперечной. В то же время вентиляторы станут препятствием для депрессии от пожара, с проистекающими отсюда всеми отрицательными результатами.

Следует подчеркнуть, что во всем мире максимальная депрессия у самых мощных шахтных вентиляторов достигает 15 кПа. Больше давление вентиляторы не могут развивать. В условиях расчета, изготовления, испытания и эксплуатации вентиляторов заложена стандартная плотность воздуха определяется по формуле:

$$\gamma = \frac{P}{RT}, \quad (1)$$

где  $P$  - атмосферное давление на уровне моря,  $P = 101325 \text{ Па}$ ;  $R$  - удельная постоянная воздуха,  $R = 287 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;  $T$  - абсолютная температура,  $T = 273 \text{ К}$ .

При таких условиях  $g=1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Формула (1) получена из уравнения Клапейрона для идеального газа, имеющего вид:

$$PV = RT, \quad (2)$$

где, кроме указанных выше величин,  $V$  - удельный объем,  $V=1/g$ .

С учетом этого

$$P = \gamma RT, \quad (3)$$

Из статистики пожаров в тоннелях видно, что при этом температура  $T=1273K$  [2]. Основываясь на эти данные, развивающееся при пожаре давление по формуле (2) составляет 447,6 кПа, что почти в четыре раза превышает нормальное атмосферное давление, в 30 раз - давление создаваемое самыми мощными вентиляторами и в 119 раз — давление создаваемое вентиляторами используемыми в Рикотском тоннеле.

— По мере развития, пожара в очаге происходит все усиливающееся потребление кислорода. Отсюда ясно, что в окнах 1 и 2 направление движение воздуха будет не таким, как это указано на Рис. 1., а противоположное. Соответственно, за счет депрессии, возбуждаемой пожаром из всех незакрытых проемов левого крыла тоннеля, будет происходить подсос воздуха в тоннель. При этом, вентиляторы продолжают работать в режиме отсоса воздуха из тоннеля и спасти их двигатели от перегрузки можно только перекрытием вентиляционных каналов.

Учитывая, что все равно вентиляторы левого крыла тоннеля никоим образом не влияют на направление движения воздуха и функционирование вентиляционной системы, однозначно следует их отсечь от вентиляционной сети в случае сильного пожара в зоне 2 и 3 вентиляционных окон.

Легко понять, что горячие газы будут двигаться ко второму порталу вдоль проезжей части тоннеля. В таком случае проезжую часть и вентиляционный канал с окнами можно считать параллельными сетями, а расход движущегося по ним воздуха будет удовлетворять\*основному уравнению параллельных сетей:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{Q_2^2}{Q_1^2} \quad (4)$$

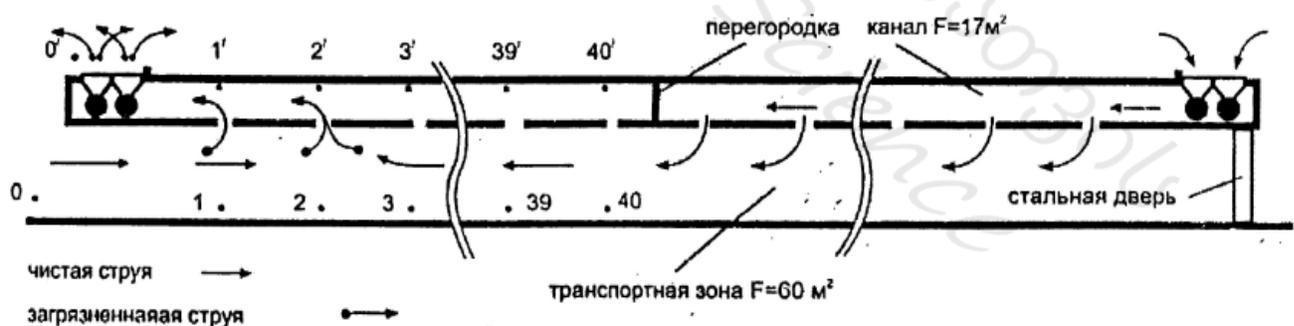


Рис. 2. Схема вентиляции Рикотского тоннеля в режиме гашения пожара

Где  $R_1$  - суммарное аэродинамическое сопротивление вентиляционного канала, окон и вентиляторов;

$R_2$  — аэродинамическое сопротивление проезжей части тоннеля;

$Q_1$  и  $Q_2$ - объемный расход воздуха соответственно в вентиляционном канале и по проезжей части тоннеля, м<sup>3</sup>/сек.

Из формулы (4) ясно, что



$$R_1 Q^2 = R_2 Q^2 \quad (5)$$

Следовательно, как в канале, так и по проезжей части тоннеля депрессии равны друг другу и депрессии, вызванной пожаром. Тут ясно, что депрессия от вентиляторов суммируется с депрессией от пожара, но ввиду того, что последняя на несколько порядков больше, вентилятор рассматривается как местное сопротивление. Соответственно, в правом крыле тоннеля по проезжей части движение воздуха будет иметь противоположное показанному на Рис. 1. направление, а в вентиляционном канале направление движения сохранится без изменения. При этом, высокотемпературные пожарные газы сожгут вентиляторы, сохранение которых, как и в левом крыле, возможно путем перекрытия канала или окон. Ясно, что реверсирование вентиляторов правого крыла (Рис. 2.) невозможно из за депрессии пожара.

Таким образом, ни один вентилятор во время пожара не сможет выполнять свою функцию, а продольно-поперечная схема, под влиянием пожара, превратится в продольную. Соответственно, нецелесообразно использование такой дорогостоящей системы вентиляции при работе в данном тоннеле при обычном режиме работы, т.к. акцентирование на ее пожаробезопасность по сравнению с продольной системой неправомерно.

Сделанное заключение, строго говоря, не вполне обосновано, т.к. депрессия, возбуждаемая пожаром была рассчитана по уравнению для идеального газа. Более верные результаты будут получены по уравнению Ван-дер-Ваальса для реальных газов:

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT, \quad (6)$$

где  $a$  - коэффициент характеризующий сцепление молекул;  $b$  - коэффициент характеризующий объем молекул, который равен приблизительно четырехкратному объему молекул.

Внутреннее давление  $a/V^2$ , обусловленный силами притяжения молекул, как и внешнее давление  $P$  стремится сжать газ, однако при температуре 800-1000°C и выше, коэффициент  $a$  практически равен нулю. Поправочный коэффициент  $b$  в артиллерийском деле, где дело имеем с высокотемпературными газами и большими давлениями, называется коволиумом. В случае, когда давление пороховых газов меняется в диапазоне 2000-4000 атм., величина коволиума составляет 8-12,5 % от  $V$ . Соответственно, во внутренней баллистике пользуются уравнением Ван-дер-Ваальса в следующем виде [4]:

$$P(V-b) = RT, \quad (7)$$

откуда следует, что в случае реальных газов внутри каморры и ствола артиллерийского орудия развивается давление до 12,5 % больше, чем это получается при расчете по уравнению Клапейрона. Из уравнения (7) видно, что  $b$  предельное значение удельного объема  $V$  когда  $P$ , т.к.  $P=RT/(V-b)$ .

Для условий пожара в тоннелях можем принять, что  $a=0$ , а  $b$  практически не отличается от нуля. Хотя в процессе горения происходит выделение монооксидов углерода и азота, которые снижают удельный объем, но интенсивное испарение и гигроскопическая массапередача оказывает противоположное действие и, в итоге, изменение удельного объема из за влияния этих факторов оказывается в пределах ошибки измерения.



Отсюда можно заключить, что для случая пожара в тоннеле уравнением Клаппейрона получаются достоверные результаты, хотя бы в первом приближении, и, соответственно, вызванная пожаром депрессия значительно превосходит статическое давление любого вентилятора так же, как создаваемой им в тоннеле депрессии.

Из всего вышеизложенного, можно сделать заключение, что пожар в транспортном тоннеле создает депрессию, значительно превосходящую статическое давление вентиляторов, и без учета ее величины и направления невозможно эвакуация людей и гашение пожара, а основное направление модернизации системы вентиляции Рикотского тоннеля должна быть замена продольно-поперечной схемы на более экономичную продольную, так как при сильном пожаре продольно-поперечная схема автоматически преобразуется в продольную, и это органически присуще продольно-поперечной схеме.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Х. Дзидзигури А., Махарадзе Л. Шахтные турбомашини. / Часть 2. - Тбилиси: 1996. - 202 с. (На Груз. яз.).
2. Чурадзе Т.К. Статистика особых случаев в транспортных тоннелях. // «Транспорт», №2, Тбилиси, 2001. -с. 11-13. (На груз. яз.).
3. Серебряков М.Е. Внутренняя баллистика. - Москва: Оборонгиз, 1949. - 670 с.
4. Ланчава О. Гигроскопический массообмен в подземных сооружениях. - Тбилиси: «Технический университет», 1998. - 272 с. (На груз. яз.).

#### გვირაბების სავენტილაციო სისტემის კოლაფსის შესახებ ძლიერი ხანძრისას .

ომარ ლანჩავა. ზაზა ლებანიძე

სატრანსპორტო გვირაბებში ხანძრის გაჩენისას ადამიანების ევაკუაციის თითქმის ყველა მეთოდი, ხოლო ზოგჯერ ხანძრის ლიკვიდაციის გეგმაც, ითვალისწინებს სავენტილაციო ნაკადის მართვას ვენტილატორების მეშვეობით. კერძოდ, სუფთა ჰაერის ფორსირებულ მიწოდებას იმ უბანზე, სადაც იმყოფებიან ადამიანები და მისი ხარჯის შემცირებას ან სრულ შეწყვეტას ხანძრის კერაზე. ვენტილატორების შესაძლებლობები ამ შემთხვევაში გადაჭარბებითაა შეფასებული, რადგან ძლიერი ხანძრისას ისინი თავის ფუნქციას ვერ შეასრულებენ. როგორც ცნობილია, ყველაზე მძლავრი ვენტილატორების სტატიკური წნევა შეადგენს 15 კპა, ხოლო ხანძრის მიერ აღძრული დინამიკური წნევა მინიმუმ ერთი რიგით მაინც აღემატება ამ სიდიდეს აღნიშნულიდან გამომდინარე, გრძივ-განივი სქემა ტექნიკურად გამოუსადეგარია სავეკუაციოდ, რადგან ჩვეულებრივი რეჟიმისას სავენტილაციო არხში გაჭუჭყიანებული ჰაერია, ხოლო სუფთა ჰაერით მისი “ავსება”- მოხდება მხოლოდ სავენტილაციო სისტემის რეცირკულაციის შემდეგ. ჰაერისა და სატრანსპორტო საშუალებების სიჩქარეებს შორის თანაფარდობის და რეცირკულაციის შემთხვევაში ჰაერის ინერციის გადალახვის საჭიროების გათვალისწინებით. ზომიერი სიგრძის გვირაბებში უფრო



რეალურია ხანძრის კერიდან ტრანსპორტით გასწრება, ვიდრე რეცირკულაციის შედეგის მოლოდინი. რიკოთის საავტომობილო გვირაბის მაგალითზე ნაჩვენებია, რომ ჰაერის სავენტილაციო ნაკადის რეცირკულაცია ძლიერი ხანძრის შემთხვევაში ტექნიკურად შეუძლებელია. აღსანიშნავია ასევე, რომ მსგავსი გვირაბების პრობებში ნაკადის რეცირკულაციას აზრი მაინც არა აქვს, ტექნიკურად შესაძლებელიც რომ იყოს, რადგან ვერ მოხერხდება ადამიანების გადაყვანა ცრუ ჭერში განთავსებულ სავენტილაციო არხში.

რიკოთის გვირაბში ხანძრის ლიკვიდაციის სისტემის მოქმედების პრინციპი გულისხმობს სავენტილაციო ფანჯრების კვეთის ავტომატური სარეგულირებელი მოწყობილობების, ხანძრის აღმომჩენი სენსორების მომხდარი ხანძრის შესახებ პორტალებთან შეტყობინების მოწყობილობების და პორტალების გადასაკეტი კარებების გამართულ მუშაობას. როგორც ცნობილია, ასეთი ინტეგრირებული სისტემა რიკოთის გვირაბში მოწყობილი არ არის. შესაბამისად, ხანძრის შემთხვევაში, შესაძლებლობის ფარგლებშიც კი, სავენტილაციო სისტემა არ იმუშავებს.

შესრულებული ანალიზის საფუძველზე ნაჩვენებია გვირაბების ვენტილაციის კომბინირებული სქემების სისტემური ნაკლი, რაც იმაში მდგომარეობს, რომ ძლიერი ხანძრის შემთხვევაში, ამ უკანასკნელის გავლენით, პრაქტიკულად ყველა სქემა განიცდის გრძივად გადაკეთებას ვენტილატორების გადაწვის, ანუ სისტემის კოლაფსის, თანხლებით. ჩატარებული კვლევების შედეგებიდან გამომდინარე, რიკოთის გვირაბის სავენტილაციო სისტემის მოდერნიზაციის ძირითად მიმართულებად მიჩნეულია არსებული გრძივ-განივი სქემის შეცვლა უფრო ეკონომიური გრძივი სქემით.

## About collapse of ventilation systems of tunnels at conflagration

Omar Lanchava, Zurab Lebanidze

Almost all methods of people evacuation at conflagration in transport tunnels and sometimes even the plan of fire extinction implies ventilation stream control with the help of ventilators, particularly, forced supply of clear air to those sections where people are and the decrease of delivery or full discontinuance of air to fire source. The possibilities of ventilators in this case are overestimated as at conflagration they cannot perform their function. As it is known, static pressure of the most powerful ventilator is 15 kPa, while dynamic pressure induced by fire is more by minimum 1 order. Proceeding from the above said the longitudinal-transverse scheme is technically unfit for evacuation as at common regime air in ventilation duct is contaminated while its “filling” with clear air will happen only after recirculation of ventilation system. In case of correspondence of air and transport facilities speeds and of recirculation with consideration of the necessity to overcome the air inertia in medium length tunnels it is more real to escape from fire by transport than to wait the result of recirculation. On example of the Rikoti vehicular tunnel it is shown that recirculation of ventilation air stream at conflagration is technically impossible. It also should be mentioned that in case of the similar tunnels air stream recirculation is of no meaning even if it is technically possible as it will be impossible to evacuate people into ventilation duct located in false ceiling.

The principle of fire liquidation system of the Rikoti tunnel implies regular operation of ventilation ports section of automatic control devices, fire detecting sensors, devices for communication

