

## К ВОПРОСУ УПРАВЛЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМИ СИТУАЦИЯМИ В ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЯХ

Омар Ланчава, Ираклий Гвечицдзе

С точки зрения управления чрезвычайными ситуациями современным транспортным тоннелям предъявляются высокие требования. В частности, оконченное строительством в 2007 г. Алпийский железнодорожный тоннель длиной 34,6 км имеет три уровня защиты: эвакуационный поезд, специальные мини-автобусы и перегородки через каждые 300 м. Первые два служат только для спасения человеческих жизней и сохранности их здоровья, а третий уровень способен вместе со спасением людей обеспечить локализацию причины чрезвычайного положения (пожар, взрывоопасные, токсичные и вредные газы и т.д.) для предотвращения выхода из строя всей инфраструктуры тоннеля. Под инфраструктурой тут понимается как системы вентиляции, наблюдения, оповещения, освещения, так и другие электромеханическое оборудование и конструкций тоннеля.

Легко понять, что перегородки должны быть подвижными, чтобы в случае необходимости оперативно могли членить тоннель на короткие участки, смягчая вредное влияние причины вызвавшей чрезвычайную ситуацию.

Евросоюз особое внимание уделяет трансевропейской сети (TEN), безопасность функционирующих и строящихся в ее составе тоннелей является приоритетным. В инфраструктуре дорог тоннели занимают особое положение. Они сооружены на самых сложных участках и обеспечивают беспрепятственное движение в течение всего года. По статистическим данным, в тоннелях аварии сравнительно редки, зато они имеют более тяжелые последствия, чем на открытых трассах.

В подготовленной европейской комиссией и изданной в 2001 г. «Белой книге» [1] особо подчеркивается необходимость гармонизации национальных стандартов, связанных с безопасностью эксплуатации тоннелей, для обеспечения высокого уровня надежности. Необходимость гармонизации стандартов и соответствующих знаков обуславливается и тем, что, согласно статистике происшедших в тоннелях аварии и возникших чрезвычайных ситуаций, носителями повышенного риска являются «чужие» водители. Для тоннелей длиной более 500 м в составе той же трансевропейской сети Европейский парламент и Европейский Союз в 2004 г. издали директиву ЕС 2004/54 по поводу необходимого минимального уровня безопасности. В странах Евросоюза суммарная длина подобных тоннелей превышает 1000 км и большая часть из них входит в состав TEN. Странам Евросоюза были даны рекомендации, распространить требования директивы и на тоннели, не входящие в состав TEN. Минимальный уровень фактически является предъявляемым к тоннелям организационными и техническими требованиями.

Обеспечение безопасности дорогостоящее мероприятие, а структура расходов следующая: эксплуатационные, реконструкционные, технического перевооружения и

вызванные задержкой движения. При этом самой капиталоемкой является реконструкция тоннеля согласно требованиям директивы. Для стран Евросоюза расходы на приведение тоннелей в соответствие с требованиями директивы находятся в пределах 2,6-6,3 млрд Евро [2]. 2,6 млрд-ам соответствует повышение уровня безопасности с модернизацией систем вентиляции и освещения, а также с новой организацией движения и ограничением перевозки некоторых видов грузов. Для принятых в эксплуатацию ранее тоннелей, в которых устройство указанных подвижных перегородок связано с техничѣской и экономическими трудностями, было предложено использование трансформируемых систем [3]. Такие системы после соответствующей доработки, в случае необходимости, смогут оперативно членить тоннель на короткие участки.

Означенное предложение было обусловлено не столько тем фактом, что в длинных тоннелях устраивают подвижные перегородки, столько тем, что при сильных пожарах вентиляционная система уже не справляется со своей задачей [4, 5, 6] и необходимо заново проанализировать вентиляционные системы с целью установления их пожаробезопасности.

В связи с этим, путем математического моделирования на универсальном блочном интеграторе было изучено влияние на работу вентиляционных систем мощности пожара и температуры. Была рассмотрена система продольной вентиляции с применением струйных вентиляторов и полупоперечная вытяжная система. Методика моделирования и техника снятия данных подробно изложено в [7]. Теплоэнергетическая мощность пожара была принята в пределах 30-100 МВатт. 30 МВатт рекомендовано документом 7/09 TRANS AC специальной группы экспертов Европейской экономической комиссии и экономического и социального совета ООН [8]. При этом, груз должен быть трудновоспламеняющийся, когда полная мощность развивается через 10 мин., расход выделившегося дыма составляет 80 м<sup>3</sup>/сек, продолжительность горения - 60 мин., а температура пожара не указывается.

В связи с этим у нас имеется замечание.

Температуру пожара, основываясь на данных указанной рекомендации, в первом приближении можно рассчитать по формуле

$$t = \frac{Q}{q\rho c_p} \quad (1)$$

где тепловой поток от пожара, 30000 кДж/сек (30 МВатт);

$q$ ,  $\rho$ ,  $c_p$  - соответственно расход дыма ( $q=80$  м<sup>3</sup>/сек), его плотность ( $\rho=1,2$  кг/см<sup>3</sup>) и изобарическая теплоемкость ( $c_p=1,0$  кДж/кг.град)

Из этой формулы получается, что  $t \approx 300^\circ\text{C}$ . Такие же рекомендации предлагает в связи с теплоэнергетической мощностью пожара и германский стандарт, который принят в качестве руководящей нормы и у нас.

Следует отметить, что температура пожара, указанная выше, не соответствует статистическим данным по происшедшим пожарам [9]. Например, в тоннеле Ниходзака длиной около 2 км, соединяющий Токио с Нагойей, в 1979 г. в 400 м от портала случился



пожар, распространившийся на длину 1122 м, температура которого составила 1000°C. Такой же величины температуру имел пожар в метро Монреаля. При пожаре в тоннеле Саммит (Великобритания) 1984 г температура достигала 1500°C, в следствие чего кирпичная обделка покрылась плавленной массой толщиной 10-15 мм.

Через минуту после начала пожара в автомобильном тоннеле Монблан в 1999 уже не было чистого воздуха, мощность пожара составила приблизительно 190 МВатт, а температура достигала 1000°C. 3 человека погибли, в их числе один пожарный. Этот пожар был самым мощным в указанном тоннеле, в котором со времени открытия движения (1965 г.) произошло 17 случаев пожара сравнительно малой мощности. Причиной пожара стан груженный полиэтиленом трейлер, из-за трения колеса об кузов которого и произошло воспламенение, огонь перекинулся на полиэтилен, а затем пожар перекинулся на другие большегрузные автомашины, груженные мукой и маргарином.

В 1982 г. в Окленде (США), в тоннеле Калдекот по причине пьяного водителя случился инцидент, повлекши столкновение с бензовозом, в результате чего возник сильнейший пожар от которого расплавился алюминиевый кузов, а 7 человек погибли [9].

В связи с температурой пожара следует отметить, что трудновоспламеняющийся груз, указанный в рекомендациях, не означает буквально горение при низкой температуре. Например, трудновоспламеняющимся является титан, температура горения которого 3000°C, а легковоспламеняющимся являются полимеры, воспламенение которых начинается при 150°C. По действующему в нашей стране другому стандарту (Нидерландские RWS) температура пожара в тоннеле не должна превышать 380°C во избежание растрескивания бетона, а вблизи арматуры - 250°C, чтобы исключить коллапс обделки [9].

Очевидно, что требования стандартов ориентированы на более низкие температуры, чем это имеет место при реальных пожарах.

На моделях за базис была принята температура 1000°C, а отдельные модели были сформированы и для температуры в 300°C.

Сценарии пожара основывался на результатах, принятых в проекте «Эврика» [10], а именно:

1) Пик тепловой мощности наступает в течение первых 10-20 мин. после воспламенения. Чем больше мощность, т.е. чем большее транспортное средство или большее их количество горит, тем позднее наступает пик тепловой мощности, но его продолжительность не превышает 20 мин;

2) До достижения пика нарастание мощности происходит линейно или по приближенным к нему закономерности;

3) Продолжительность пика при мощности пожара 30 МВатт составляет примерно 4-5 мин, для Научно-технический отраслевой журнал "ТРАНСПОРТ" № 1-2 (37-38), 2010 г. набора полной мощности требуется около 10 мин, а затем мощность пожара линейно снижается.



При расчетах, изготовлении, испытании и эксплуатации вентиляторов стандартная плотность воздуха принимается

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad (2)$$

где  $P$  - атмосферное давление на уровне моря,  $P = 101325$  Па ( $\approx 0,1$  МПа);

$R$  - удельная постоянная воздуха,  $R = 287$  Дж (кг·К);

$T$  - абсолютная температура,  $T = 293^\circ\text{К}$ .

Для этих условий  $\rho = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>.

Данная формула получена из уравнения Клапейрона для идеальных газов, имеющая вид

$$PV = RT \quad (3)$$

где  $V$  - удельный объем,  $V = \rho^{-1}$ , м<sup>3</sup>/кг.

Расчетом по уравнению Клапейрона для случая пожара в тоннеле возможно получить достоверные результаты для приближенного к атмосферному статическому давлению. Очевидно, что в тоннеле из-за пожара значительного повышения атмосферного давления не произойдет, так как оба портала тоннеля открыты и, соответственно, избыточное давление увеличит динамическую составляющую общего давления и будет затрачиваться на увеличение скорости воздуха.

Энрико Ферми в своей работе [11] отмечает высокую точность уравнения Клапейрона при низких давлениях и высоких температурах. Следует отметить, что его использование для расчета давления и температуры камеры и ствола артиллерийского орудия, где давление меняется в пределах 200-250 МПа, дает ошибку порядка 12,5% [12].

Следовательно, апробированной технологией оценено уравнение Клапейрона и в крайнем случае (при избытке давления по сравнению с атмосферным в 2000-4500 раза) можно ожидать ошибки до 12,5%.

Из формулы (3) можно получить выражение для расчетного давления при пожаре, которое, как было отмечено выше, будет потрачено на увеличение динамической составляющей

$$P = \rho RT. \quad (4)$$

Ясно, что величина давления, вызванная пожаром, кроме температуры, зависит и от массы горючего, которая определенной зависимостью связана с массой газообразных продуктов горения

$m$  (кг). Умножением обеих сторон уравнения (3) получается

$$PW = mRT \quad (5)$$

где  $W$  — объем воздуха, участвующий в процессе горения,  $\text{м}^3$ .

Для расчета величина  $W$  была в первом приближении принята равной объему дыма, предусмотренного рекомендациями [8]. линейный характер прогрессирования дыма во времени смоделирован по проекту «Эврика» [10], а для расхода воздуха допустимый лимит  $\text{CO}$  принят 100 %, как предусмотрено стандартом RAВТ.

Осредненные результаты моделирования показаны на графике (см. Рис.), из которого видно, что в первые же минуты после начала пожара, вызванное последним увеличение давления по крайней мере на порядок превышает давление развиваемое вентиляторами. Соответственно, с этого момента определяющим для расхода воздуха и направления его движения будет тяга пожара. Отсюда следует, что одновременно начнется коллапс вентиляционной системы, что всегда означает недостаток необходимого для дыхания воздуха, а иногда — увеличение расхода вентилируемого воздуха и смену направления его движения.

В случае полупоперечной системы продолжительность периода наступления коллапса при температуре  $1000^\circ\text{C}$  меняется в пределах 0,5–2,5 мин. в зависимости от мощности пожара, а сама система приближается к продольной. Из всех проемов того портала, откуда направлена естественная тяга, вентиляционный поток будет двигаться ко второму portalу. В случае продольной системы период наступления коллапса характеризуется практически теми же величинами. Следует отметить, что полупоперечная система по сравнению с продольной более эффективна только для пожаров малой мощности, а для мощных пожаров ни одна из этих систем не является эффективной.

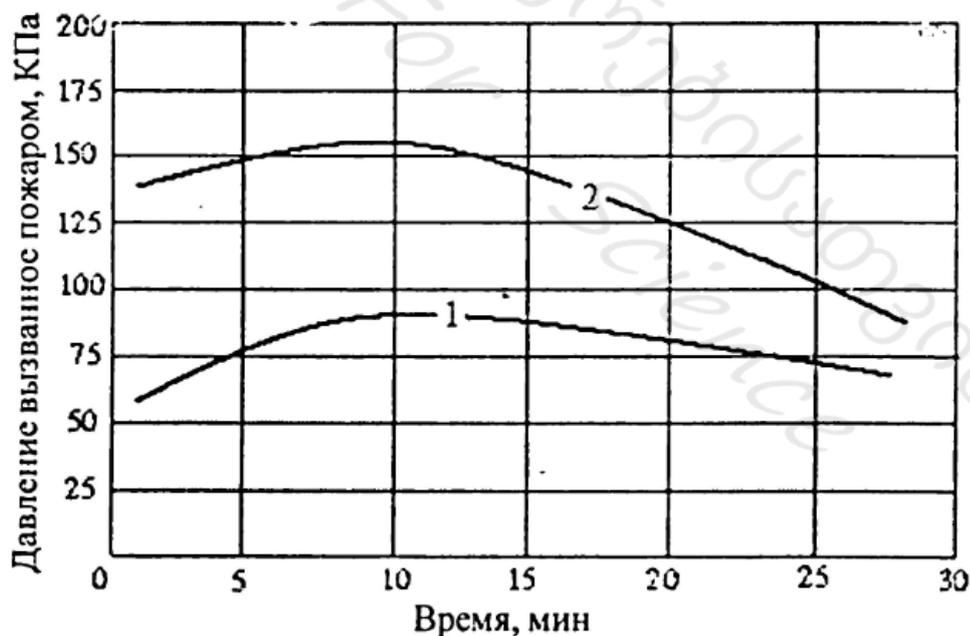


Рис. Характер изменения давления, вызванного пожаром в зависимости от мощности пожара и температуры

- 1 - мощность 30 МВт и температура  $1000^\circ\text{C}$ ;
- 2-мощность 100 МВт и температура  $1000^\circ\text{C}$ .



Исходя из изложенного, в случае мощного пожара оперативное членение тоннеля на короткие секции является единственным путем спасения людских жизней и инфраструктуры сооружения.

Пожар 1999 года в тоннеле Монблан, описанный в литературе [9], тому подтверждение, как описательно, так и по существу. Коллапс вентиляционной системы также фактически подтверждает случившийся в 2001 г. пожар в тоннеле Сен-Готтард, хотя из его описания [13] это и не следует, что вероятно вызвано неправильным анализом. В частности, в 9 пункте указанного источника отмечается, что «на расстоянии 1 -2 км от очага пожара были обнаружены 11 погибших. Ни один из них не имел признаков физических травм. Все погибли в результате отравления токсичным дымом». В пункте 8 же отмечено, что система вентиляции функционировала исправно и эффективно.

Следует учитывать, что вызванное пожаром давление и создаваемые вентиляторами депрессии суммируются алгебраически. Давление пожара действует аналогично» естественной тяге: при совпадении направлений подача возрастает, а при встречном направлении уменьшается, а когда давление пожара превалирует, то «подача» вентилятора становится отрицательной. Следовательно, рабочее колесо вращается, но уже не подает воздух в вентиляционную сеть. Видимо именно такой случай и имел место в тоннеле Сен-Готтард, так как и без анализа ясно, что вентиляция в тоннеле не-была эффективной, так как люди погибли от удушья.

В результате проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

- Указанные в нормах температуры и мощности пожаров значительно меньше по сравнению с действительными их значениями во время сильных пожаров;
- На начальной стадии пожара с целью превенции опасности вентиляторы более эффективны для дымоудаления, чем для теплоотвода;
- Пожар мощностью и в 30 МВатт достаточен для коллапса вентиляционной системы в первые минуты после начала пожара;
- Одним из путей предотвращения коллапса является оперативное членение тоннеля на короткие отсеки.

#### Литература:

- 1.The White Book 2001, Published in April 24,2001, Sweet & Maxwell Ltd, ISBN 10: 0421745800, ISBN 13:9780421745803.
- 2.D. Theologilis. Eurotransport, 2005, # 3. pp. 16 - 22.
- 3.O. Lanchava, E. Medzmariashvili, N. Ilias, G. Khitalishvili, Z. Lebanidze. Prospects of usage of tranforming systems for extinguishing fire in tunnels. International Scientific Conference “Advanced Lightweight Structures and Reflector Antennas”, Tbilisi, 2009. pp. 301-308.
- 4.Ланчава О: К вопросу модернизации вентиляционной системы рикотского автомобильного тоннеля. // «Горный журнал», № 1 -2( 1 6-17), Тбилиси, 2006.-е. 57-59 (на фуз. яз.).

5. O. Lanchava, N. Ilias, I. Andras, R. Moraru, I. Neag. On the Ventilation of Transport Tunnels in the Presence of a Strong (Heavy) Fire. *Annals of the University of Petrosani, Petrosani (Romania)*, 2007, Vol. 9 (XXXVI), Part 1. pp. 219- 227.
6. О.А.Ланчავა, З.Б. Лебанидзе. По поводу коллапса системы вентиляции тоннеля при сильном пожаре. // «Транспорт», №3-4 (31-32), Тбилиси, 2008. - с, 29-31 (ზ ვ ფუზ. ავ.).
7. О.Л.Ланчавა. Моделирование теплопереноса в горном массиве на интеграторе БУСЭ. // «Процессы горного производства», №7 (319).—Тбилиси: ГПИ, 1987.—с. 33- 38.
8. UN, Economic and Social Council, Economic Commission for Europe, Report TRANS/AC. 7/9, 2001. p. 59.
9. A. Beard, /? Carve/. Hand book of tunnel fire safety. Technology & Engineering. Thomas Telford Ltd, London, 2005. p. 514.
10. A. Haack. Fire Protection in Traffic Tunnels: General Aspects and Results of the EUREKA Project, *Tunneling and Underground Space Technology*, 1998, Volume 13, № 2. pp. 377-381.
11. E. Fermi. *Thermodynamics*, New York, Prentice-Hall Inc, 1937. p. 140.
12. М.Е.Серебряков. *Внутренняя баллистика*. - Москва: Оборонгиз, 1949.-с. 670.
13. UN, Economic and Social Council, Economic Commission for Europe, Report TRANS/AC. 7/11, 2002. p. 6.

### სატრანსპორტო გვირაბებში საგანგებო შემოსევების მართვის საკითხისათვის

ომარ ლანჩავა, ირაკლი გვენცაძე

განხილულია ავტოსატრანსპორტო გვირაბებში ხანძრის შედეგად წარმოქმნილი საგანგებო შემთხვევის მართვის საკითხი. გაანალიზებულია ხანძრის შედეგად წარმოქმნილი ჰაერის ნაკადების ცვლილების დინამიკა და ამის შედეგად გვირაბში სავენტილაციო სისტემის მუშაობის ხასიათის შესაძლო ცვლილებები. დადგენილია, რომ: ნორმებში მითითებული ხანძრის ტემპერატურები და სიმძლავრეები მნიშვნელოვნად ნაკლებია მათ ფაქტობრივ სიდიდეებთან შედარებით; ხანძრის საწყის სტადიაზე ვენტილატორები უფრო ეფექტიანია კვამლმოცილებისთვის ვიდრე თბომოცილებისთვის 30 მგვტ სიმძლავრეც კი საკმარისია სავენტილაციო სისტემის კოლაფსისთვის ხანძრის პირველივე წუთებში კოლაფსის თავიდან აცილების ერთერთი გზაა გვირაბის ოპერატიული დანაწევრება მოკლე იზოლირებულ სექციებად. ილ. 1 ბიბლ.13.

### ON THE PROBLEM OF EMERGENCY SITUATION CONTROL IN TRANSPORT TUNNELS

O. Lanchava, I. Gventsadze

The problem of control of emergency situation arisen as a result of fire in motor transport tunnels is considered. The dynamics of air flow variation caused by fire and resulting possible changes in ventilation system operation character are analyzed. It is stated that fire temperatures



and intensities indicated in Code are significantly lower compared to their actual values; at the initial stage of fire ventilators are more effective for smoke removal than for heat removal; 30 MV intensity' is sufficient for ventilation system collapse in the very first minutes of fire; the only way to avoid collapse is immediate dissection of tunnel into short isolated sections.

III.1. bibl.13.

სსმბთსსმბთს მკვლევარებისთვის  
Association For Science