

К вопросу управления чрезвычайными ситуациями в транспортных тоннелях

Authors Омар ЛАНЧАВА, Ираклий ГВЕНЦАДЗЕ

Publication date 2010

Journal Транспорт

Volume 48

Issue 1-2

Pages 18-21

REFERENCES

1. The White Book 2001, Published in April 24, 2001, Sweet & Maxwell Ltd, ISBN 10: 0421745800, ISBN 13:9780421745803.
2. D. Theologitis. Eurotransport, 2005, # 3. pp. 16 – 22.
3. O. Lanchava, E. Medzmariashvili, N. Ilias, G.Khitalishvili, Z. Lebanidze. Prospects of usage of transforming systems for extinguishing fire in tunnels. International Scientific Conference “Advanced Lightweight Structures and Reflector Antennas”, Tbilisi, 2009. pp. 301-308.
4. О. Ланчава. К вопросу модернизации вентиляционной системы Рикотского автомобильного тоннеля. Горный журнал №1-2 (16-16) , Тбилиси, 2006, с. 57-59 (на груз. 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.Ланчава, З.Б.Лебанидзе. По поводу коллапса системы вентиляции тоннеля при сильном пожаре. Журнал «Транспорт», №3-4 (31-32), Тбилиси , 2008. с. 29-31.
7. О.А.Ланчава. Моделирование теплопереноса в горном массиве на интеграторе БУСЭ. Процессы горного производства, №7 (319). Изд.ГПИ, Тбилиси, 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, R. Carvel. Handbook 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.

УДК 622.4.536.24: 624.191.94

К ВОПРОСУ УПРАВЛЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМИ СИТУАЦИЯМИ В ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЯХ

Омар Ланчава, Ираклий Гвенцадзе

С точки зрения управления чрезвычайными ситуациями современным транспортным тоннелем предъявляются высокие требования. В частности, оконченное строительством в 2007 г. Альпийский 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 электро-механическое 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 происшед-

ших 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 Совет 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 устроено указанных подвижных перегородок связано с техническими 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 пожаро-безопасности.

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 вентиля-

ции с применением струйных вентиляторов и полуперечная вытяжная система. Методика моделирования и техника снятия данных подробно изложено в [7]. Теплоэнергетическая мощность пожара была принята в пределах 30-100 МВт. 30 МВт 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 м³/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 Q – тепловой поток от пожара, 30000 кДж/сек (30 МВт);

q , ρ , c_p – соответственно расход дыма ($q=80$ м³/сек), его плотность ($\rho=1,2$ кг/см³) 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 МВт, а температура достигала 1000°C. 3 человека погибли, в их числе один по-

жарный. 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 стал 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 МВт составляет примерно 4-5 мин, для

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/м³.

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

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

где V – удельный объем, $V = \rho^{-1}$, м³/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, м³.

Для расчета величина W была в первом приближении принята равной объему дыма, предусмотренного рекомендациями [8], линейный характер прогрессирующего дыма во времени смоделирован по проекту «Эврика» [10], а для расхода воздуха допустимый лимит СО принят 100 %, как предусмотрено стандартом РАВТ.

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°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 вто-

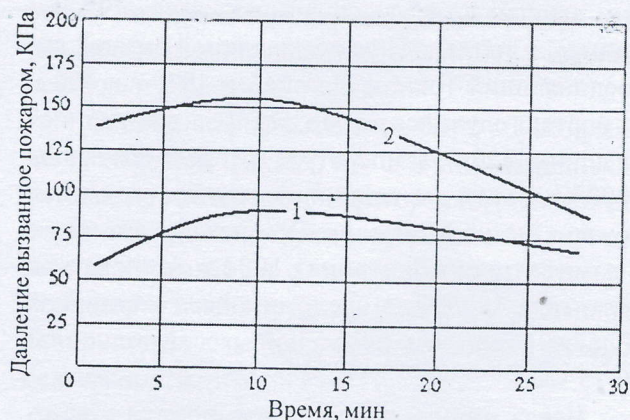


Рис. Характер изменения давления, вызванного пожаром в зависимости от мощности пожара и температуры

1 – мощность 30 МВт и температура 1000°C;
2 – мощность 100 МВт и температура 1000°C.

рому порталу. 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.

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 МВт достаточно 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. Theologitis. Eurotransport, 2005, # 3. pp. 16 – 22.
3. O. Lanchava, E. Medzmariashvili, N. Ilias, G. Khitalishvili, Z. Lebanidze. Prospects of usage of transforming 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(16-17), Тбилиси, 2006. – с. 57-59 (на груз. 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.Ланчава, З.Б.Лебанидзе. По поводу коллапса системы вентиляции тоннеля при сильном пожаре. // «Транспорт», №3-4 (31-32), Тбилиси, 2008. – с. 29-31 (на груз. яз.).
7. О.А.Ланчава. 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, R. Carvel. Handbook 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.