

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРЕ В ГОРОДСКИХ АВТОДОРОЖНЫХ ТОННЕЛЯХ

**Н.Н. Копейкин, кандидат технических наук, старший научный сотрудник;  
А.В. Карпова;  
С.В. Савосько.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Изложена общая методология решения задачи по обеспечению безопасной эвакуации людей при проектировании городских автодорожных тоннелей с разделением встречных направлений движения, включающая в себя определение расчетного времени эвакуации людей и сравнение его с временем блокирования путей эвакуации. При проведении расчетов в качестве исходных данных использованы предпроектные характеристики транспортного потока и геометрические характеристики сооружений тоннеля.

*Ключевые слова:* безопасная эвакуация, расчетное время, транспортный поток, автодорожный тоннель

Мировой опыт эксплуатации автодорожных тоннелей свидетельствует о том, что пожары в них происходят достаточно регулярно, а при отсутствии необходимого уровня противопожарной защиты могут иметь катастрофические последствия, сопровождаться гибелью и травмированием людей, а также большими материальными потерями.

Городские автодорожные тоннели отличаются от негородских существенно большей интенсивностью транспортного потока, в структуре которого преобладают автомобили для перевозки людей, многорядностью, наличием так называемых «конфликтных точек» – мест слияния и разделения полос движения. Указанные сооружения при ряде нештатных ситуаций (возникновении транспортных «пробок» вследствие ДТП, технических неисправностей автомобилей) могут быть отнесены к объектам с массовым пребыванием людей, поэтому важнейшим звеном в системе обеспечения пожарной безопасности городских транспортных тоннелей является обеспечение безопасной эвакуации людей.

Однозначно сформулированных требований к планировочным решениям путей эвакуации в автодорожных тоннелях национальные нормативы развитых стран мира не имеют [1–4].

В России требования пожарной безопасности при проектировании и строительстве автодорожных тоннелей регламентируются Федеральным законом № 123-ФЗ и такими нормативными документами, как СП 122.13330.2012 «СНиП 32-04-97», ГОСТ 12.1.004, СНиП 21-01 [5–8]. Однако они содержат недостаточный объем требований к планировочным решениям путей эвакуации. В п. 5.12.1.2 [5] указывается, что «Противопожарная защита тоннеля должна осуществляться в соответствии с ГОСТ 12.1.004». Соответственно, должны приниматься меры по безопасной эвакуации людей при пожаре. Для этого необходимо обеспечить на объекте завершение эвакуации людей из него до момента достижения предельно допустимых (критических) значений опасных факторов пожара (ОФП). Таким



Для каждой аварийной ситуации рассматривается два варианта эвакуации: вариант 1 – эвакуация людей в направлении от очага пожара к въезду в транспортный отсек; вариант 2 – эвакуация людей из аварийного транспортного отсека в соседний и далее – к ближайшему от места аварии порталу и эвакуационным выходам, ведущим наружу – в точках А и В (рис. 1). На этапе предварительного анализа учитываются факторы, осложняющие обстановку, складывающуюся во время процесса эвакуации. К ним относятся:

- ожидаемая максимальная длина эвакуационного пути до выхода наружу;
- предполагаемое время эвакуации людей;
- время образования транспортной «пробки» по всей длине транспортного отсека;
- количество транспортных средств, вовлеченных в аварийную ситуацию;
- количество людей, вовлеченных в аварийную ситуацию.

При оценке значений осложняющих факторов учитывалось, что скорость движения людей составляет 6 км/ч, интенсивность движения транспорта в тоннеле в каждом направлении в часы «пик» составляет 3150 авт. · ч<sup>-1</sup> (легковых автомобилей – 75,4 %; микроавтобусов – 4 %; грузовых автомобилей 20 %; автобусов – 0,6 %), расстояние между транспортными средствами в «пробке» – 2 м.

Характеристика транспортных средств приведена в табл.1.

Таблица 1. Состав транспортных средств и количество находящихся в них людей

Транспортное средство	Длина, м	Ширина, м	Среднее количество людей в часы «пик»
Легковой автомобиль	4	1,7	3
Микроавтобус	6	2,5	10
Грузовой автомобиль	8	2,5	2
Автобус 2-х секционный	16	2,5	160

Результаты оценки значений осложняющих факторов приведены в табл. 2. Они позволяют сделать заключение о том, что при пожаре в Лефортовском автодорожном тоннеле без применения средств регулирования въезда в аварийную ситуацию может быть вовлечено более 1,2 тыс. транспортных средств и 4,2 тыс. человек.

Таблица 2. Данные, характеризующие процесс эвакуации из автодорожного тоннеля

Номер аварийной ситуации	Факторы, характеризующие обстановку процесса эвакуации						
	Длина эвакуационного пути до выхода наружу, м.		Примерное время эвакуации, мин.		Количество транспортных средств, вовлеченных в аварийную ситуацию, шт.	Время образования транспортной «пробки», мин.	Количество людей, вовлеченных в аварийную ситуацию, чел.
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 1	Вариант 2			
1	825	560	8	5	357	6	1269
2	1355	1090	13	11	586	10	2030
3	1825	790	18	8	790	15	2721
4	2525	90	25	1	1093	21	3768
5	1225	690	12	7	530	10	1802
6	1795	1090	17	11	777	14	2714
7	2225	660	22	6	963	18	3312
8	2825	60	28	1	1223	23	4224

Степень осложнения обстановки при эвакуации существенно зависит от удаления очага пожара от въезда в тоннель, особенно для эвакуации по варианту 1, который опасен

тем, что движение людей все время осуществляется в аварийном транспортном отсеке. Время эвакуации людей в данном случае может достигать 0,5 ч.

В то же время при варианте 2 основная часть эвакуационного пути проходит по параллельному тоннелю, то есть в относительно безопасных условиях. Для варианта 2 наиболее сложными являются ситуации при расположении очага пожара в средней части тоннеля (№ 2 и № 6) из-за большой длины эвакуационного пути. Для этого варианта наиболее опасен отрезок времени эвакуации из транспортного отсека с очагом пожара через эвакуационные проходы (сбойки) в соседний транспортный отсек.

Таким образом, на основании предварительного анализа возможных аварийных ситуаций при пожаре в автодорожном тоннеле могут быть сделаны следующие выводы:

- планировочные решения тоннеля должны предусматривать разделение его сооружений на два противопожарных отсека (для встречных направлений движения) с возможностью перехода людей из отсека в отсек;

- для проведения расчетов параметров пожара и времени эвакуации следует рассматривать аварийную ситуацию с расположением очага в средней части тоннеля;

- необходимо предусматривать применение технических средств предотвращения въезда в тоннель при пожаре.

С учетом этих выводов далее определяется уточненное количество транспортных средств и людей, вовлеченных в аварийную ситуацию.

Количество транспортных средств, попавших в аварийную ситуацию, определяется из выражения:

$$X_{\text{общ}} = X_{\text{п}} + X_{\text{т}}, \quad (2)$$

где  $X_{\text{п}}$ ,  $X_{\text{т}}$  – соответственно количества транспортных средств, въехавших в тоннель через портал с момента остановки движения и находившихся в тоннеле в момент возникновения аварии.

$$X_{\text{п}} = \tau \cdot I; \quad (3)$$

$$X_{\text{т}} = \frac{L_{\text{оч}}}{d} \cdot N_{\text{п}}, \quad (4)$$

где  $\tau$  – время от момента возникновения аварии до момента закрытия въезда в тоннель, ч;  $I$  – интенсивность движения в часы «пик» в одном направлении, авт./ч;  $L_{\text{оч}}$  – расстояние от въезда в тоннель до места аварии (очага пожара), км;  $d$  – средняя дистанция между автомобилями при движении по тоннелю, определяемая по формуле:

$$d = \frac{V}{I} \cdot N_{\text{п}}, \quad (5)$$

где  $V$  – средняя скорость автотранспорта, км/ч;  $N_{\text{п}}$  – число полос движения в транспортном отсеке.

Длина «пробки» составит:

$$L = \frac{X_{\text{общ}}}{N_{\text{п}}} \cdot \sum_{i=1}^k n_i l_i, \quad (6)$$

где  $n_i$  – коэффициент, характеризующий долю транспортных средств одного типа;  $l_i$  – длина транспортного средства определенного типа с учетом расстояния между автомобилями, м;  $k$  – количество типов транспортных средств.

Количество людей, вовлеченных в аварийную ситуацию, составит

$$N_{л} = X_{общ} \cdot \sum_{i=1}^k n_i m_i, \quad (7)$$

где  $m_i$  – среднее количество людей, находящихся в транспортном средстве  $i$ -го типа.

С учетом данных, характеризующих транспортный поток и аварийную ситуацию ( $V = 100$  км/ч;  $I = 3150$  авт./ч;  $L_{оч} = 1,355$  км;  $\tau = 0,083$  ч) и выражений (2)–(7) определены значения параметров, позволяющие составить расчетную схему движения людей:

$$X_n = 261 \text{ авт.}; \quad X_r = 45 \text{ авт.}; \quad X_{общ} = 306 \text{ авт.}; \quad L = 709 \text{ м}; \quad N_{л} = 1230 \text{ чел.}$$

Очевидно, что время эвакуации людей в безопасную зону (соседний транспортный отсек) зависит от количества эвакуационных выходов (соединительных сбоек), ведущих в эту зону.

Расчеты проводились при различном расстоянии между эвакуационными сбойками – 60, 120, 180, 240, 300, 360 м. На рис. 2 в качестве примера приводится расчетная схема процесса эвакуации для расстояния между сбойками 300 м.

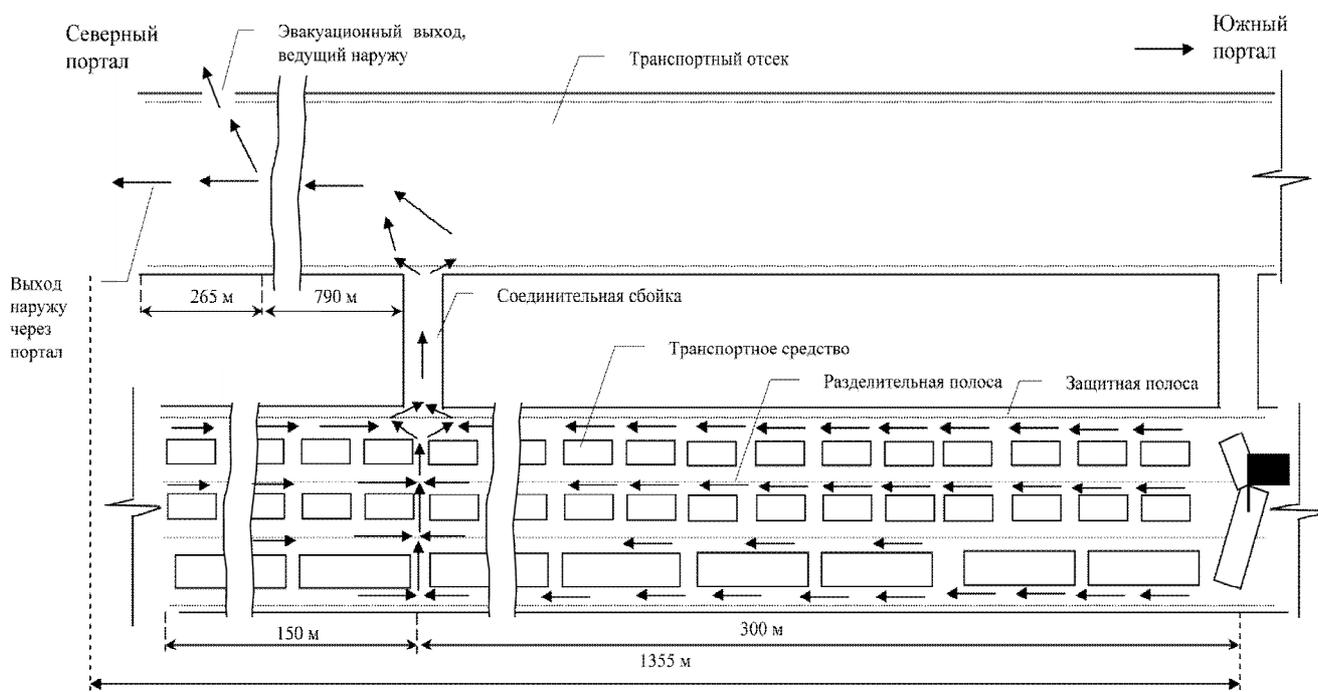


Рис. 2. Схема эвакуации людей при расположении эвакуационных сбоек между транспортными отсеками тоннеля через 300 м

Ширина эвакуационных сбоек принималась равной 2 м, длина – 14 м. Для выполнения расчетов времени эвакуации использовалось программное средство, разработанное НИИПИиИТвОБЖ Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. По результатам расчетов построена зависимость величины расчетного времени эвакуации от шага между эвакуационными сбойками, приведенная на рис. 3.

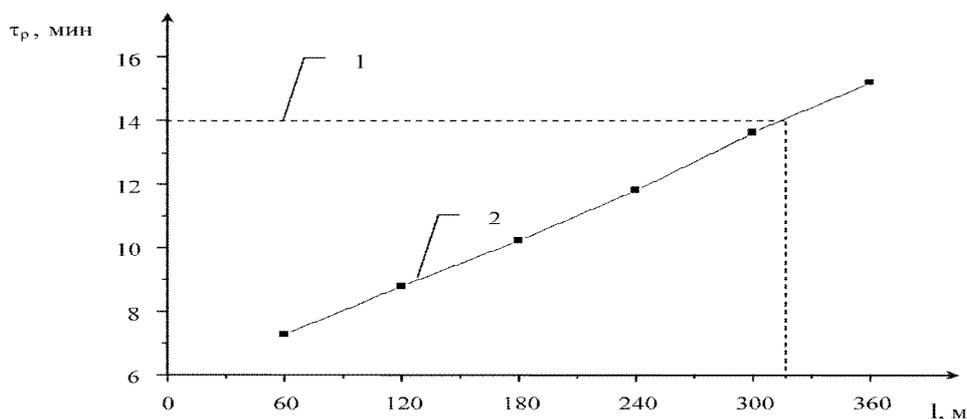


Рис. 3. Зависимость времени эвакуации людей в безопасную зону из аварийного тоннеля от расстояния между эвакуационными сбойками: 1 – время блокирования путей эвакуации; 2 – время эвакуации людей в безопасную зону (параллельный тоннель)

Для определения условий, обеспечивающих безопасную эвакуацию в соответствии с выражением (2), необходимо знать величину  $\tau_{\text{бл}}$ . Ее определение представляет собой отдельную задачу.

На рис. 3 показано, что для предполагаемого значения  $\tau_{\text{бл}} = 14$  мин требуемое расстояние между эвакуационными сбойками не должно превышать 315 м.

### Выводы

Расчетное время эвакуации людей при пожаре в автодорожном тоннеле может быть определено на основе анализа предпроектных характеристик транспортного потока и задаваемых геометрических характеристик сооружений тоннеля.

Геометрические характеристики эвакуационных выходов в тоннеле с массовым пребыванием людей, обеспечивающие безопасную эвакуацию, определяются на основании результатов расчетов времени эвакуации людей с учетом времени достижения критических значений ОФП.

### Литература

1. Документы по противодымной и противопожарной защите в автодорожных тоннелях, опубликованные до 1992 г. Комитетом по автодорожным тоннелям PLARC. Центр изучения тоннелей (Франция): перевод № 2536 СПбФ ВНИИПО. СПб., 1994. 89 с.
2. NFPA 502, Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways, 1998 edition.
3. С. Moret. New fire-safety-related regulations for french road tunnels // Tunnel Fires and Escape from Tunnels / International Conference 5-7 May 1999, Lyon, France.
4. N. Legge, J Day. Design guidelines for tunnel fire safety and ventilation systems on the Egnatia Motorway Project, Northern Greece // Tunnel Fires and Escape from Tunnels / International Conference 5-7 May 1999, Lyon, France.
5. СП 122.13330.2012 «СНиП 32-04-97. Тоннели железнодорожные и автодорожные».
6. ГОСТ 12.1.004-91\*. Пожарная безопасность. Общие требования.
7. СНиП 21-01-97\*. Пожарная безопасность зданий и сооружений (в ред. от 3 июня 1999 г., 19 июля 2002 г.).
8. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (ред. от 13.07.2015). от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ.
9. Обеспечение безопасности людей при пожаре в автодорожных тоннелях / А.В. Матюшин [и др.] // Обеспечение организационно-управленческой деятельности Государственной противопожарной службы: сб. науч. тр. М.: ВНИИПО, 2000. С. 74–80.