

СНИЖЕНИЕ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА ПРИ ГОРЕНИИ ПОЕЗДА В ДВУХПУТНОМ ТОННЕЛЕ МЕТРОПОЛИТЕНА

Е.Л. Алферова, аспирант

Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН

Современные тенденции свидетельствуют об изменении конструктивных решений и способов строительства метрополитенов путем замены традиционных двух однопутных тоннелей одним двухпутным. Создание линии метрополитена с двухпутным тоннелем требует новых подходов в проектировании тоннельной вентиляции, опыта эксплуатации которой в России нет, поэтому задачи разработки систем тоннельной вентиляции и изучения их работы в различных режимах весьма актуальны.

Одним из наиболее опасных случаев аварийной ситуации в метрополитене является возгорание и остановка горящего поезда в тоннеле [1]. Опасность этого случая обусловлена большим скоплением пассажиров в непосредственной близости от очага возгорания, наличием единственного эвакуационного пути (тоннеля) и продолжительным временем эвакуации. Чтобы обеспечить безопасную эвакуацию пассажиров и разработать эффективный план ликвидации аварии, нужно провести исследование процесса горения в течение времени эвакуации людей по следующим опасным факторам пожара:

- динамика температуры воздуха вблизи очага возгорания;
- изменение концентрации отравляющих веществ, выделяющихся при горении.

Моделирование горения вагона метropоезда производится путем решения уравнения Навье-Стокса методом конечных элементов, хорошо зарекомендовавшим себя при решении подобного рода задач [2]. В качестве исходных данных принимались проектные геометрические размеры двухпутных тоннелей, оборудованных вентиляционным отсеком (рис. 1).

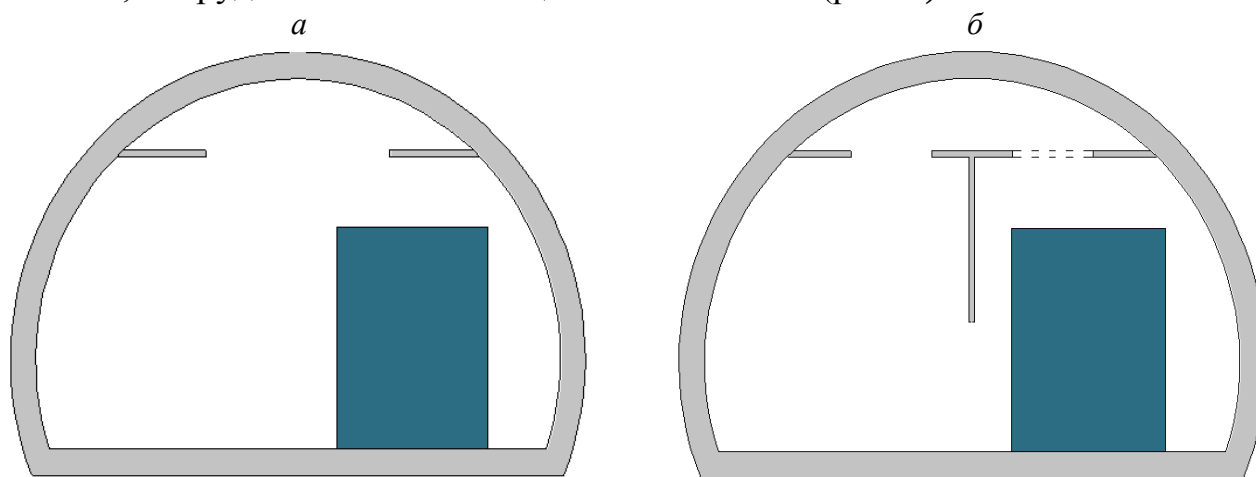


Рис. 1. Двухпутный тоннель: *а* – с вентиляционным отсеком; *б* – то же с продольной перегородкой, разделяющей сверху объем путевого отсека

Также для задания краевых условий необходимо знать расчетное время эвакуации и изменение по времени (табл. 1):

- тепловыделений W_i , Вт, при горении вагона;

- расхода воздуха на поддержание горения L_i^{B-xa} , кг/с;
 - выделяющихся расходов углекислого и угарного газов, L_i^{CO} , $L_i^{CO_2}$, кг/с.
- Расчетное время эвакуации – по [3] $\tau_p = 140$ с.

Тепловую мощность горения вагона, Вт, находим по формуле:

$$W_i = Q \cdot \mu_i \cdot g_{O_2},$$

где Q – теплотворная способность горючих материалов вагона на единицу массы израсходованного на горение кислорода, Дж/кг, для большинства материалов практически одинаковая и может быть принята равной 13940 Дж/кг [4];

μ_i – скорость выгорания вагона, кг/с, в промежуток времени $\Delta \tau_i$, сек;

g_{O_2} – масса кислорода, необходимая для поддержания горения материалов, кг/кг.

В конструкции и отделке вагонов метрополитена используется значительное количество горючих материалов. Необходимые расходы воздуха, угарного и углекислого газов определяются по формулам:

$$L_i^{B-xa} = \frac{L_{O_2}}{0,2315} = \frac{\mu_i \cdot g_{O_2}}{0,2315},$$

$$L_i^{CO} = \mu_i \cdot g_{CO},$$

$$L_i^{CO_2} = \mu_i \cdot g_{CO_2},$$

где 0,2315 – массовая доля кислорода в воздухе [5];

g_{CO} , g_{CO_2} – выделение соответственно угарного и углекислого газов с одного килограмма материала в процессе горения, кг/кг. $g_{O_2} = 12,11$ кг/кг, $g_{CO} = 0,47$ кг/кг, $g_{CO_2} = 9,72$ кг/кг [6].

Расход выделяющихся за промежуток времени $\Delta \tau_i$ пожарно-дымовых газов (ПДГ):

$$L_i^{ПДГ} = L_i^{B-xa} + L_i^{CO} + L_i^{CO_2}.$$

Начальная масса горючих материалов вагона, кг, рассчитывается по формуле [7]:

$$M = F \cdot q,$$

где q – пожарная нагрузка, кг/м², $q = 35$ кг/м² [7];

F – площадь пола вагона, м², $F = 39$ м² [8].

$$M = 39 \cdot 35 = 1365 \text{ кг}.$$

В работе [9] есть зависимость изменения массы вагона метро, m_i , по времени горения. Используя её, находим значения в промежутках времени $\Delta \tau_i$ тепловой мощности, расходов поглощаемого кислорода и выделяемых пожарно-дымовых газов.

Рассчитанные величины, необходимые для моделирования процесса горения вагона метро в двухпутном тоннеле, приведены в таблице.

Таблица

Тепловая мощность, поглощение воздуха и выделение пожарно-дымовых газов
в процессе горения метровагона

Момент времени τ_i , сек	Тепловая мощность W_i , кВт	Расход поглощаемого воздуха $L_i^{в-ха}$, кг/с	Расход выделяемых ПДГ $L_i^{пдг}$, кг/с*
0	0	0	0
85	8640	2,68	3,2
198	6500	2,01	2,4
370	49817	15,43	18,44
*из них доля по массе: воздуха – 0,8325, углекислого газа – 0,16, угарного газа – 0,0075.			

При пожаре в двухпутном тоннеле к тоннельной вентиляции предъявляется требование [10]:

$$V_p > V_{тр},$$

где V_p – расчетная скорость воздуха в тоннеле при введении аварийного вентиляционного режима, м/с; $V_{тр}$ – скорость воздуха в тоннеле, требуемая для предотвращения распространения дыма навстречу вентиляционному потоку, м/с. Для двухпутного тоннеля $V_{тр} = 1,8$ м/с [10]. Значит, навстречу эвакуирующимся следует подавать свежий воздух со скоростью $V_{тр} = 1,8$ м/с.

Контрольная точка выбиралась из соображений, что она должна находиться: по высоте: высота рабочей зоны, обслуживаемой стоя (2 м от уровня головки рельсов [11]); по расстоянию от очага пожара: на ближайшем расстоянии путей эвакуации к очагу пожара (до ближайшего рельса второй линии – 1,4 м от стенки горящего поезда); в местах с наиболее высокими температурами воздуха и концентрациями отравляющих веществ: по расчету – по центру среднего оконного проема горящего вагона.

Этим условиям удовлетворяет точка КТ (рис. 3).

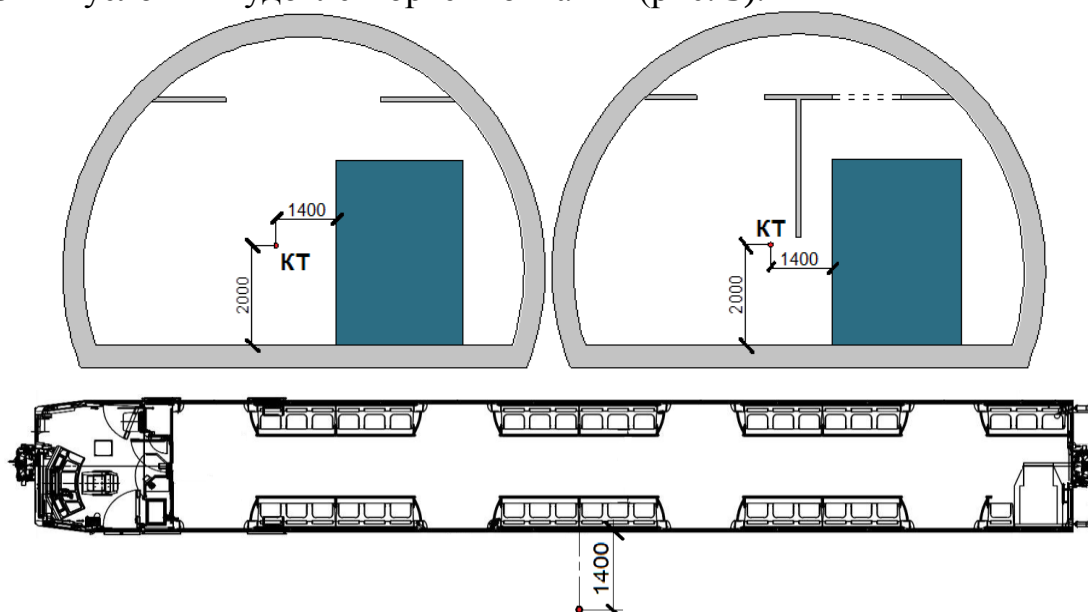


Рис. 3. Контрольная точка КТ

Отравление угарным газом является одним из терминальных состояний человека, влекущее за собой летальный исход. Угарный газ совершенно не имеет запаха, отравление угарным газом может произойти очень незаметно, образуется же он везде, где есть процесс горения. При содержании 800 ppm CO во вдыхаемом воздухе человек чувствует головную боль и удушье. При повышении концентрации CO до 3200 ppm (см. 4, рис. 4) возникает паралич и потеря сознания, смерть наступает через тридцать минут. При концентрации выше 12000 ppm сознание теряется после двух-трех вдохов, человек умирает менее чем через три минуты [12].

Углекислый газ в атмосферном воздухе, по состоянию на июль 2013 года, представлен в количестве (по объему) 0,0396 % или 396 ppm [13]. Содержание углекислого газа в воздухе до 500 ppm входит в норму дыхания человека, при содержании углекислого газа в воздухе свыше 20000 ppm (см. 5, рис. 4) отмечаются головная боль, повышенная сонливость, слабость. Опасными считаются концентрации на уровне 70000-100000 ppm, при них возникают удушье, потеря сознания и смерть в течение одного часа [14].

На рис. 4 представлены изменения в процессе горения опасных факторов пожара в контрольной точке, а так же опасные для здоровья человека концентрации углекислого и угарного газов.

Выводы: Проведенные исследования показали, что использование продольной перегородки, разделяющей верхнюю часть воздушного объема путевого тоннеля двухпутного метрополитена с вентотсеком в верхней части, позволяет обеспечить допустимые значения опасных факторов пожара в окрестностях очага горения (вагона метropоезда) на время, достаточное для прохода пассажиров до пути эвакуации мимо очага горения (140 с). В тоннеле без перегородки превышение допустимых значений наблюдается уже на 50-й секунде от начала пожара.

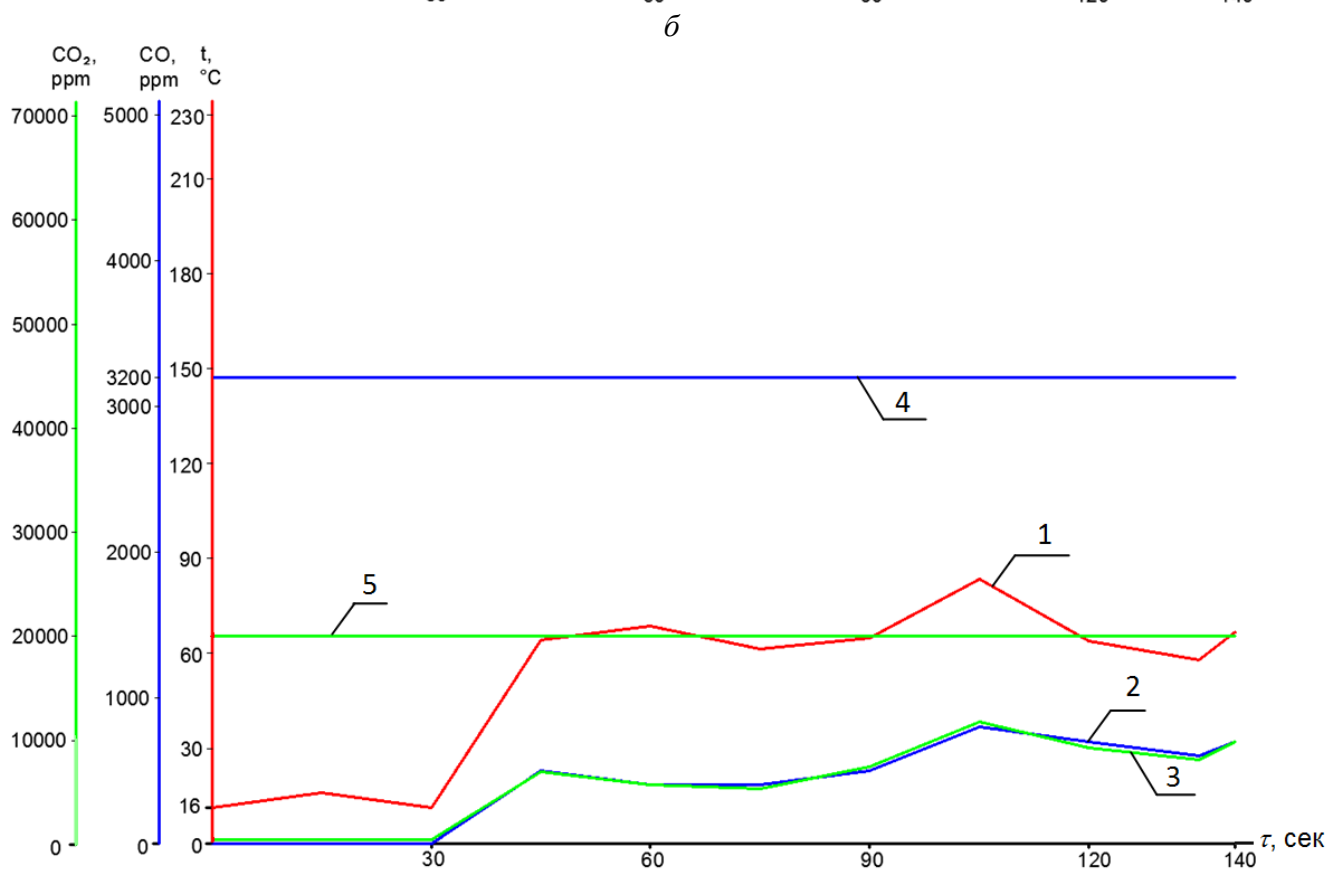
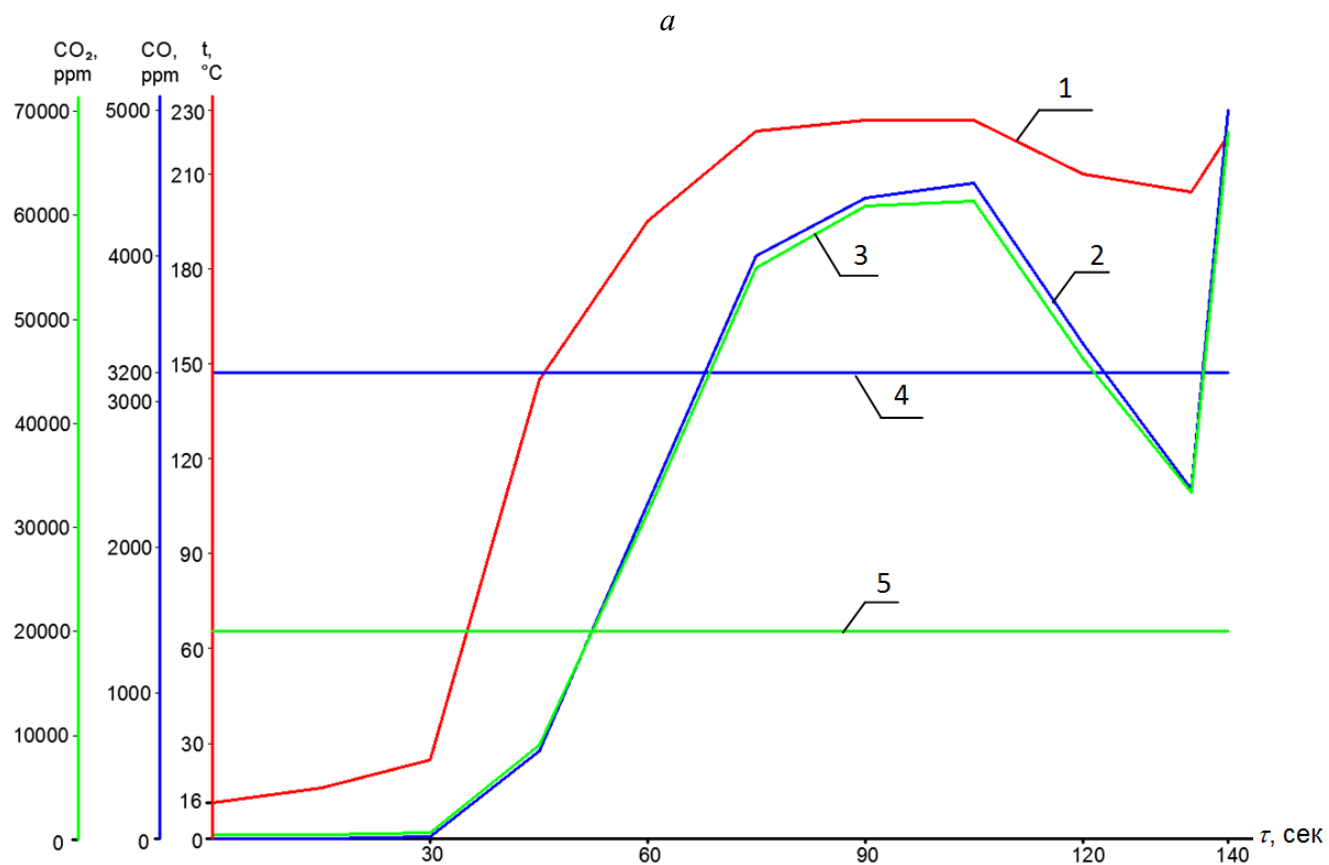


Рис.4. Опасные факторы пожара в контрольной точке – в тоннеле без перегородки (*a*) и в тоннеле с перегородкой (*б*): 1 – температура; 2 – концентрация угарного газа; 3 – концентрация углекислого; 4, 5 – опасные для здоровья человека концентрации угарного и углекислого газов соответственно

Литература

1. Красюк А.М. Тоннельная вентиляция метрополитенов. – Новосибирск: Наука, 2006. – 164 с.
2. Красюк А.М. Исследование температурных полей грунтового массива, окружающего станции метрополитена мелкого заложения / А.М. Красюк, И.В. Лугин, А.Ю. Пьянкова // ФТПРПИ. – 2012. – № 3. – С. 64-74.
3. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования. – Введ. 1992-07-01. – М.: Издательство стандартов. – 76 с.
4. Бондарев В.Ф. Определение интенсивности тепловыделения при пожаре подвижного состава метрополитена в тоннеле / В.Ф. Бондарев, А.А. Лесков // Борьба с пожарами в метрополитенах: сб. науч. тр. – СПб.: ВНИИПО МВД РФ, 1992. – С. 62-70.
5. Глизманенко Д.Л. Кислород и его получение. – М.: Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1951. – 346 с.
6. Красников А.В. Состав продуктов горения основных материалов вагонов метрополитена / А.В. Красников, Д.Х. Кулев, А.И. Федоров, А.В. Гитцович // Противопожарная защита подземных сооружений метрополитенов: сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО, 1986. – С. 5-8.
7. НПБ 109-96. Вагоны метрополитена. Требования пожарной безопасности.
8. ГОСТ Р 50850-96. Вагоны метрополитена. Общие технические условия. – Введ. 1996-01-17. – М.: ИПК Издательство стандартов. – 19 с.
9. Ильин В.В. Необходимое время эвакуации // Борьба с пожарами в метрополитенах: сб. науч. тр. М.: ВНИИПО МВД РФ, 1992. С. 13–31.
10. СП 120.13330.2012. Метрополитены. – Введ. 2013.01.01. – М.: Минрегион России.
11. СП 60.13330.2012. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Введ. 2013.01.01. – М.: Минрегион России.
12. Шварц Л.С., Никитин Б.А. Неотложная помощь. Краткий справочник участкового врача. – Саратов: Саратовское книжное издательство, 1963 г. – 458 с.
13. Изменения углекислого газа в атмосфере. Исследовательская лаборатория по наблюдению за системами Земли. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html> (дата обращения 26.07.2013)
14. Лазарев Н.В., Гадаскина И.Д. Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей. – Л.: Химия, 1977. – 608 с.