

О первичном задымлении тоннеля метрополитена при остановке в нем горящего поезда

*И. В. Лугин¹**

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук (ИГД СО РАН), г. Новосибирск, Российская Федерация
* e-mail: ivlugin@misd.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию аэродинамических процессов, происходящих в тоннеле метрополитена при остановке в нем горящего поезда. Путем вычислительного моделирования методом конечных объемов исследована динамика торможения потока воздуха, разогнанного поршневым действием движущегося поезда. При горении поезда в тоннеле этот поток разносит по тоннелю токсичные продукты сгорания, создавая тем самым первичное задымление тоннеля. Рассмотрено влияние длины участка тоннеля с поездом и аэродинамического сопротивления на динамику торможения воздушного потока. Для ускорения торможения потока воздуха предложено использование дымозадерживающих устройств на поезде, определена эффективность их применения.

Ключевые слова: метрополитен, вентиляция, тоннель, пожар, задымление, торможение воздушного потока

About the primary smoke of the subway tunnel when a burning train stops in it

*I. V. Lugin¹**

¹ Chinakal Institute of Mining SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation
* e-mail: ivlugin@misd.ru

Abstract. The article is devoted to the study of aerodynamic processes occurring in a subway tunnel when a burning train stops in it. The dynamics of the deceleration of the air flow accelerated by the piston action of a moving train is investigated by computational modeling using the finite volume method. When gorenje trains in the tunnel, this flow carries toxic combustion products through the tunnel, thereby creating the primary smoke tunnel. The influence of the length of the tunnel section with a train and aerodynamic drag on the dynamics of air flow braking is considered. To accelerate the deceleration of the air flow, the use of smoke-retaining devices on the train is proposed, the effectiveness of their use is determined.

Keywords: subway, ventilation, tunnel, fire, smoke, deceleration of the air flow

Введение

Метрополитен, как сложный технический объект подвержен авариям, в том числе и пожарам, задымлениям и загазованиям. Причинами возникновения пожара могут быть как техногенные факторы, так и последствия террористических актов и природных катастроф. Прогнозирование развития аварийной ситуации позволяет выработать технические решения для снижения ее отрицательных последствий, обосновать требования и разработать оборудование для их реализации.

Наиболее опасным вариантом аварийной ситуации в метрополитене является остановка горящего поезда в тоннеле [1-3]. Предметом исследования

в настоящей статье является процесс распространения пожарно-дымовых газов (ПДГ), по длине участка тоннеля при остановке в нем горящего поезда.

При эксплуатационной среднесуточной частоте движения поездов, средняя скорость воздуха в тоннеле, инициированная поршневым действием поездов, составляет около 2.5 м/с [4-9]. При остановке поезда, разогнанный поток воздуха продолжает двигаться по тоннелю, затормаживаясь за счет действия сил трения. Таким образом, при остановке горящего поезда, поток воздуха, пока он не затормозится, разносит из очага горения дым по тоннелю на некоторую длину участка первичного задымления. Длина участка первичного задымления будет тем больше, чем медленнее затормозится поток воздуха в тоннеле. На скорость торможения влияет длина аварийного участка, чем она больше, тем больше масса воздуха в тоннеле и инерция потока и тем медленнее он тормозится, и аэродинамическое сопротивление участка, чем оно больше, тем быстрее тормозится поток. Аэродинамическое сопротивление аварийного участка складывается из сопротивления тоннеля и зависит от его длины и сопротивления поезда. Длина аварийного участка определяется топологией перегона и является постоянной величиной для каждого варианта месторасположения горящего поезда. Аэродинамическое сопротивление поезда тоже величина постоянная. Поэтому изменить сопротивление аварийного участка можно только применением дымозадерживающих устройств (ДЗУ).

В лаборатории рудничной аэродинамики ИГД СО РАН разработан способ устройства вентиляционных перемычек, защищенный патентом [10]. Суть его заключается в установке перемычек в виде «створок», расположенных непосредственно на вагонах поезда вблизи торцов (рисунок 1). Под «створками» понимаются любые механические устройства на поездах, позволяющие уменьшить площадь зазора между поездом и обделкой, в том числе и пневматические по типу автомобильных подушек безопасности.

При пожаре любого вагона поезда 4 и остановке его в тоннеле 1 между станцией 2 и 3, ДЗУ 5 максимально перекрывают площадь проходного сечения между поездом и стенками тоннеля, изолируют очаг горения, препятствуют движению воздуха и распространению пожарных газов по тоннелю, не затрудняя движения эвакуирующихся пассажиров. Таким образом, использование ДЗУ на поезде позволяет повысить безопасность эвакуации пассажиров из горящего поезда в обе стороны тоннеля на станции 2 и 3.

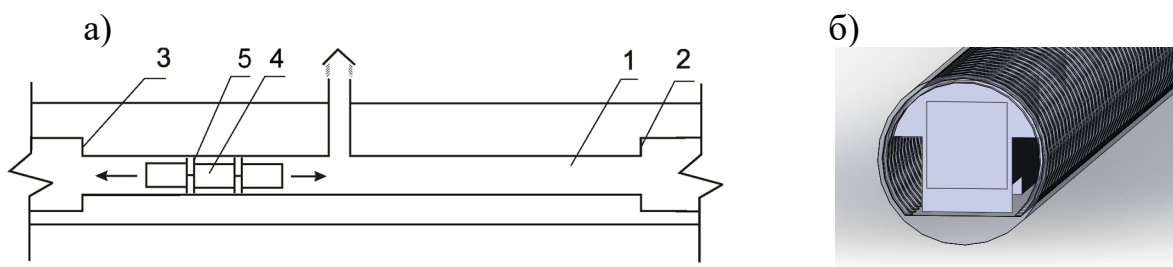


Рис. 1. Дымозадерживающие устройства на поезде: а) схема однопутного тоннеля со стоящим поездом и ДЗУ на вагонах в раскрытом состоянии; стрелками показано движение по путям эвакуации; б) перекрытие проходного сечения тоннеля поездом с ДЗУ, оставлены проходы для эвакуации

Расчетная модель и методы исследования

Проведем расчет влияния использования ДЗУ на поезде на скорость торможения потока воздуха в тоннеле и снижение длины участка первичного задымления. В качестве критерия эффективности применения ДЗУ принято время снижения скорости потока воздуха с начальной скорости 2.5 м/с до скорости «нулевого» режима [11, 12] 0.5 м/с. В новых нормативных требованиях [13] «нулевой» режим по непонятным причинам отсутствует. Исследования проведены для аварийного участка тоннеля 500 и 1000 м со стоящим в нем горящим 4-х вагонным поездом. Рассмотрены варианты: – с поездом; – с поездом с двумя ДЗУ; – с поездом с 4-мя ДЗУ. Для исследования разработана расчетная модель участка тоннеля для определения воздухораспределения с использованием модуля аэродинамического расчета Fluent программно-расчетного комплекса ANSYS. Решение проведено в нестационарной изотермической плоской осесимметричной постановке, использована модель турбулентности $k-\varepsilon$. Сравнение определенного аэродинамического сопротивления аварийного участка тоннеля одинаковой длины с поездом при объемной и плоской постановке показало, что различие составило менее 5%, а требуемые вычислительные ресурсы и время расчета для плоской постановки существенно ниже. Расчет проведен в два этапа. Сначала проведен стационарный расчет, для определения картины течения воздуха с скоростью 2.5 м/с в тоннеле с поездом, при этом на один вход тоннеля подается воздух с заданной скоростью, на другом задается атмосферное давление. Потом результаты стационарного расчета передаются в нестационарный расчет в качестве начальных условий. При этом на обоих концах тоннеля задается атмосферное давление. Моделируемое время в нестационарном расчете принято 300 с. Сеточная модель для тоннеля 500 м составили 353508 узлов и 254744 элементов, для тоннеля 1000 м 708218 узлов и 515122 элементов.

Результаты

Результаты исследований представлены на рисунке 2 и в таблице.

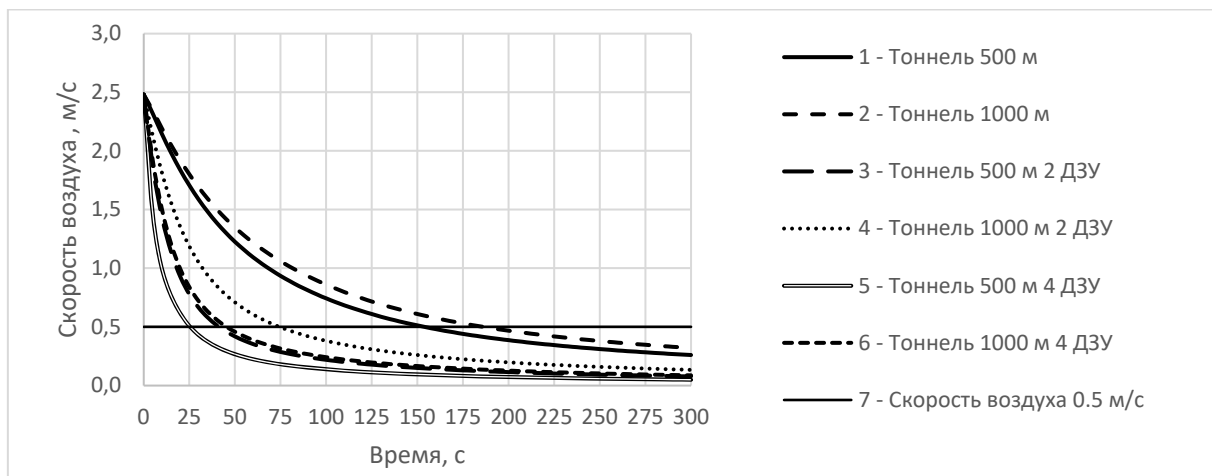


Рис. 2. Динамика снижения начальной скорости воздуха в тоннеле с горящим поездом 4-х вагонным поездом

Время достижения скорости 0.5 м/с и длина участка первичного задымления
в тоннеле для вариантов оснащения поезда ДЗУ

Вариант поезда с 4- мя вагонами	Время торможения воз- духа в тоннеле до 0.5 м/с, с	Длина участка первич- ного задымления, м
Длина аварийного участка тоннеля 500 м		
№1 – без ДЗУ	155	168.8
№2 – 2 ДЗУ на по- езде	40	44.4
№3 – 4 ДЗУ на по- езде	25	26.6
Длина аварийного участка тоннеля 1000 м		
№1 – без ДЗУ	185	201.3
№2 – 2 ДЗУ на по- езде	75	81.0
№3 – 4 ДЗУ на по- езде	45	49.3

Проведем анализ полученных результатов и оценим влияние установки ДЗУ на 4-х вагонном поезде. Оценка проводится путем сравнения динамики затухания скорости воздуха и длины задымленного участка для вариантов с поездом в тоннеле без установки (вариант №1) и с установкой ДЗУ (варианты №2 и №3). Применение двух ДЗУ снижает время торможения потока воздуха до 0.5 м/с в 3.9 раза для тоннеля 500 м и в 2.5 раза для тоннеля 1000 м. Длина участка первичного задымления снижается в 3.8 раза для тоннеля 500 м и в 2.5 раза для тоннеля 1000 м. Применение четырех ДЗУ, двух на концах поезда и двух на любом среднем вагоне снижает время торможения потока воздуха до 0.5 м/с в 6.2 раза для тоннеля 500 м и в 4.1 раза для тоннеля 1000 м. Длина участка первичного задымления снижается в 6.3 раза для тоннеля 500 м и в 4.1 раза для тоннеля 1000 м. Полученные данные свидетельствуют об эффективности предложенного ДЗУ для первичного задымления тоннеля при горении стоящего в нем поезда.

Обсуждение

Принцип применения ДЗУ при установке его на поезде позволяет унифицировать разработку вариантов аварийного включения тоннельной вентиляции метрополитена для случая остановки в тоннеле горящего поезда. Для типового перегона требуется рассмотреть и обеспечить минимум 6 вариантов схемы включения тоннельной вентиляции (горение головного, среднего и хвостового вагона для каждого полуперегона) [1], в которых будут задействованы не менее трех ближайших вентиляционных камер, соответственно, не менее 6-ти тоннельных вентиляторов, причем разные схемы включения зачастую требуют разных параметров одного и того же вентиляционного оборудования. Использование боль-

шого количества схем вентиляции и единиц участвующего в их реализации сложного оборудования увеличивает вероятность отказа как по технологическим причинам, так и по человеческому фактору в сложных условиях принятия решений при возникновении аварийной ситуации. Несоответствие воздухораспределения от действия тоннельной вентиляции требуемому может привести не к созданию «нулевого» режима, а к задымлению одного из направлений эвакуации от горящего поезда. Применение ДЗУ на поезде позволяет свести все варианты при остановке в тоннеле горящего поезда к одному – привести в рабочее положение ДЗУ на концах поезда, и, дополнительно, на концах аварийного вагона. При оснащении ДЗУ каждого вагона метропоезда повышается резервирование возможности создания и повышения безопасности путей эвакуации по тоннелю в обе стороны от очага горения. К конструкции ДЗУ из основных требований можно отнести только огнестойкость в пределах времени эвакуации с аварийного участка, разрушаемость – чтобы не препятствовала движению поезда, если все-таки удастся увести его с аварийного участка после включения ДЗУ или при случайных включениях и оперативность приведения в рабочее состояние.

Заключение

Проведено исследование динамики первичного задымления тоннеля метрополитена при остановке в нем горящего поезда. Рассмотрено влияние длины участка тоннеля с поездом и аэродинамического сопротивления на динамику торможения воздушного потока, разогнанного поршневым действием поездов. Для ускорения торможения потока воздуха и снижения длины задымленного участка предложено использование дымозадерживающих устройств на поезде, определена эффективность их применения.

Благодарности

Работа выполнена в рамках проекта ФНИ номер гос. регистрации №121052500147-6.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Красюк А.М. Исследование режимов работы тоннельной вентиляции при возгорании поезда в тоннеле метрополитена / А.М. Красюк, И.В. Лугин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. Новосибирск. –2005. – №4. – С. 84–93.
2. Лугин И.В. Динамика температуры пожарнодымовых газов в тоннеле метрополитена при горении поезда / И.В. Лугин, А.А. Адеев // Известия высших учебных заведений. Строительство.–2012.–№10.–С. 5966.
3. Ильин В.В. Необходимое время эвакуации // Борьба с пожарами в метрополитенах: сб. науч. тр. М.: ВНИИПО МВД РФ, 1992. С. 13–31.
4. Цодиков В.Я. Вентиляция и теплоснабжение метрополитенов / В.Я. Цодиков – М.: Недра, 1975. – 237 с.
5. Khaleghi, M.; Talaee, M.R. Analysis of unsteady air flow in the subway station influenced by train movement. Sci. Technol. Built Environ. 2019, 1–10.
6. Pan, S.; Fan, L.; Liu, J.; Xie, J.; Sun, Y.; Cui, N.; Zhang, L.; Zheng, B. A Review of the Piston Effect in Subway Stations. Adv. Mech. Eng. 2013, 5, 950205.
7. X. Zhang, J. Ma, A. Li, W. Lv, W. Zhang, C. Yang, B. Deng, Train-induced unsteady airflow effect analysis on a subway station using field experiments and numerical modelling, Energy Build. 174 (2018) 228–238.

8. X. Zhang, J. Ma, A. Li, W. Lv, W. Zhang, D. Li, Ventilation for subway stations with adjustable platform doors created by train-induced unsteady airflow, *Build. Environ.* 152 (2019) 87–104.
9. X. Zhang, A. Li, R. Gao, S. Yu, J. Ma, C. Yang, D. Li, Y. Guo, W. Du, Effect of operational modes on the train-induced airflow and thermal environment in a subway station with full-height platform bailout doors, *Build. Environ.* 194 (2021), 107671.
10. Патент РФ №2312222 Способ тоннельной вентиляции /Зедгенизов Д.В., Красюк А.М., Лугин И.В. // Оpubл. БИ № 34, 2007.
11. СП 32-105-2004. Свод правил по проектированию и строительству. Метрополитены. – Одобрен для применения письмом Госстроя России N ЛБ-1912/9 от 23.03.2004 г.
12. СНиП 32-02-2003: Метрополитены. – Введ. 2004-01-01. - М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004. – 36 с.
13. СП 120.13330.2.12. Метрополитены. Актуализированная редакция СНиП 32-02-2003: утв. Приказом Минрегион РФ 30.06.2012: дата введ. 01.01.2013. — М.: [б.и.], 2013. — 260 с.

© И. В. Лугин, 2022