

УДК 641.841.48

doi: 10.37657/vniipo.avpb.2024.61.77.003

ПРОТИВОДЫМНАЯ ЗАЩИТА ДВУХПУТНОГО ТОННЕЛЯ МЕТРОПОЛИТЕНА

Александр Анатольевич Абашкин, Борис Борисович Колчев, Ирек Равильевич Хасанов

Всероссийский ордена “Знак Почета” научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (ФГБУ ВНИИПО МЧС России), г. Балашиха, Московская область, Россия.

Аннотация. В статье рассмотрены особенности организации систем противодымной защиты в двухпутных тоннелях метрополитенов. Представлена расчетная методика параметров системы противодымной вентиляции с учетом фактора продольного уклона, мощности тепловыделения очага пожара, характеристик тоннеля. Предложены различные схемы приточно-вытяжных систем противодымной вентиляции в двухпутных тоннелях Московского метро.

Ключевые слова: пожар, метрополитен, двухпутный тоннель, противодымная защита, тоннельная вентиляция

Для цитирования: Абашкин А.А., Колчев Б.Б., Хасанов И.Р. Противодымная защита двухпутного тоннеля метрополитена // Актуальные вопросы пожарной безопасности. 2024. № 2 (20). С. 19–25. <https://doi.org/10.37657/vniipo.avpb.2024.61.77.003>.

SMOKE PROTECTION OF A DOUBLE-TRACK SUBWAY TUNNEL

Alexander A. Abashkin, Boris B. Kolchev, Irek R. Khasanov

All-Russian Research Institute for Fire Protection (VNIIPO), the Ministry of the Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (EMERCOM of Russia), Balashikha, Moscow region, Russia.

Abstract. The article discusses the features of arrangement of smoke protection systems in double-track subway tunnels. The calculation method for the smoke ventilation system parameters is presented, taking into account the factor of longitudinal slope, the heat release power of the fire source, as well as the tunnel characteristics. There are proposed the various schemes of supply and exhaust smoke ventilation systems in double-track tunnels of the Moscow Metro.

Keywords: fire, subway, double-track tunnel, smoke protection, tunnel ventilation

For citation: Abashkin A.A., Kolchev B.B., Khasanov I.R. Smoke protection of a double-track subway tunnel. Aktual'nye voprosy pozharnoi bezopasnosti – Current Fire Safety Issues, 2024, no. 2, pp. 19-25. (In Russ.). <https://doi.org/10.37657/vniipo.avpb.2024.61.77.003>.

Введение

Объекты метрополитенов являются сложными инженерными и архитектурными сооружениями с массовым пребыванием людей. Анализ пожаров на объектах метрополитенов показал, что наиболее сложные и катастрофические пожары связаны с подвижным составом при его нахождении в тоннеле [1–3]. Пожары в тоннельных перегонах метрополитенов характеризуются быстрым рас-

пространением опасных факторов пожара (ОФП). В этом случае осложняется эвакуация людей из тоннелей вследствие удаленности выходов, плохой видимости, ограниченности проходов и др. [4, 5].

В настоящее время широко используются новые инженерные технологии при строительстве в метрополитенах двухпутных тоннелей. Такие двухпутные тоннели построены в метрополитенах различных стран мира (Испания, Германия, Япония и др.). В нашей стране двухпутные тоннели построены в Санкт-Петербурге и Новосибирске. В Москве при строительстве Большой кольцевой линии проложено более 11 км двухпутных тоннелей.

Основную пожарную опасность двухпутных тоннелей метрополитена составляют кабельные линии, количество которых в отличие от однопутных удваивается. Пожар в кабельных сооружениях в тоннеле в условиях подачи напряжения может привести к задымлению на перегоне, снижению видимости и остановке электропоездов. Пожары в двухпутных тоннелях метрополитена могут приводить к одновременной остановке двух электропоездов в одном перегонном тоннеле. При этом существует вероятность распространения пожара на соседний поезд на встречном пути.

Противопожарная защита двухпутных перегонных тоннелей метрополитена должна быть направлена на обеспечение безопасной эвакуации людей из объема перегонного тоннеля, в котором возник пожар, его тушение и создание условий для доступа пожарных подразделений к очагу пожара [6].

В Российской Федерации для противодымной защиты объектов метрополитенов разработаны требования [7–9], которые не всегда учитывают наличие двухпутных тоннелей. В этой связи обеспечение противодымной защиты современных двухпутных тоннелей метрополитена является важной и актуальной задачей.

В работах [10, 11] рассмотрены режимы работы тоннельной вентиляции метрополитена с двухпутным тоннелем мелкого заложения в г. Новосибирске. Предложена методика определения требований к вентиляторам для тоннельной вентиляции метрополитенов с двухпутным тоннелем, учитывающая район строительства метрополитена, интенсивность движения поездов, глубину заложения тоннеля.

Оценка эффективности системы противодымной вентиляции двухпутного тоннеля Санкт-Петербургского метрополитена проведена в работах [12, 13]. Предложена зависимость необходимого объемного расхода дымоудаления от расстояния между дымоприемными отверстиями.

В настоящей работе для расчета параметров системы противодымной вентиляции в двухпутных тоннелях московского метрополитена использовалась расчетная методика, основанная на работах [14, 15], которая показала свою эффективность при моделировании развития пожаров и расчетах систем вентиляции различных транспортных тоннелей [16, 17].

Методика исследования

Для расчетного определения основных параметров противодымной вентиляции использованы зависимости, представленные ниже.

Требуемая минимальная продольная скорость воздуха навстречу фронту дыма определяется следующим образом:

$$V_c = K_1 K_2 \left(\frac{gHQ}{\rho C_p A T_f} \right)^{1/3}; \quad T_f = \left(\frac{Q}{\rho C_p A V_c} \right) + T_a, \quad (1)$$

где K_1 – константа; K_2 – фактор продольного уклона; g – ускорение свободного

падения, м/с²; H – высота тоннеля, м; Q – мощность тепловыделения очага пожара, кВт; A – площадь поперечного сечения тоннеля, м²; T_f – средняя температура продуктов горения, К; ρ – плотность приточного воздуха, кг/м³; C_p – удельная теплоемкость приточного воздуха, кДж/кг · К.

Константа K_1 определяется по зависимости $K_1 = Fr^{-1/3}$, где Fr – число Фруда (принимается равным 4,5).

Фактор K_2 зависит от продольного уклона тоннеля и описывается зависимостью

$$K_2 = 1 + 0,0374i0,8,$$

где i – продольный уклон, вычисляемый по зависимости $i = a/b \cdot 100\%$ (a – длина тоннеля, м, b – перепад высот, м).

Удельная теплоемкость воздуха определяется по зависимости

$$C_p = \frac{a}{(1 + e^{(b-cT_a)})^{1/d}}, \quad (2)$$

где a, b, c, d – коэффициенты, равные 1,36, 7,01, 0,0053, 20,76, соответственно.

Требуемая продольная скорость воздушного потока $V_{x\%}$, формируемого установками тоннельной вентиляции (УТВ), с учетом мощности тепловыделения очага пожара (HRR), а также продольного уклона тоннеля (%) определяется по зависимостям на рис. 1.

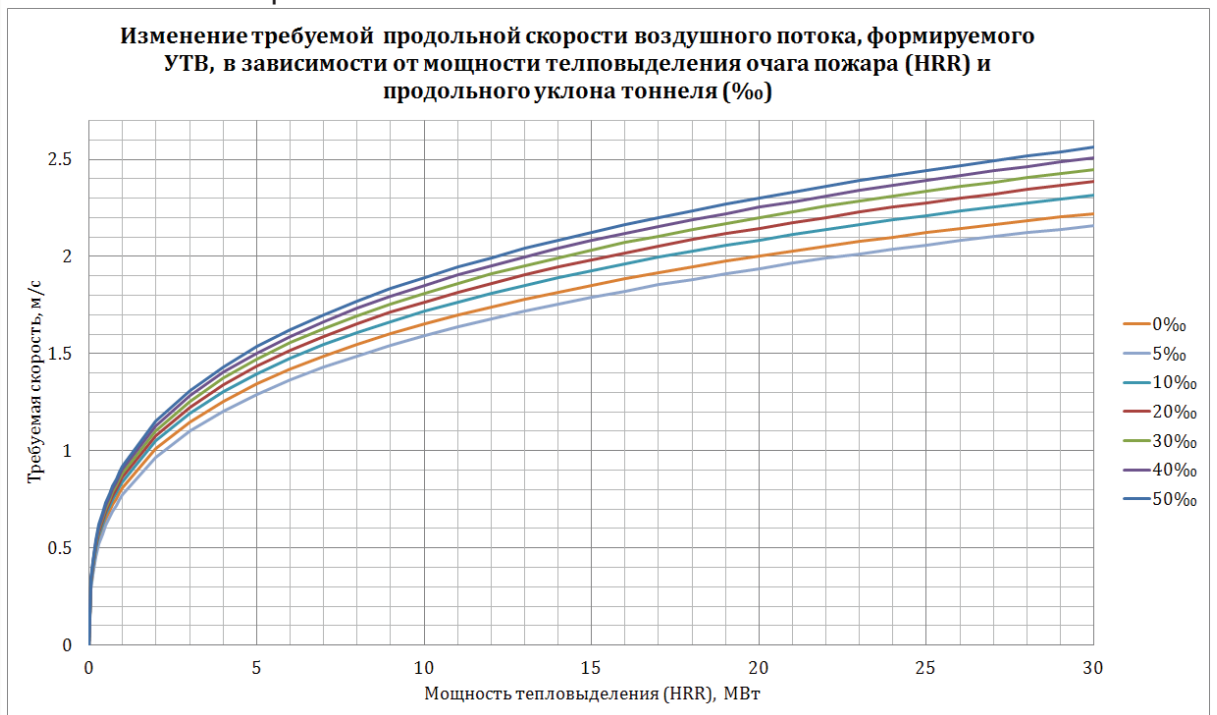


Рис. 1. Зависимость продольной скорости воздушного потока $V_{x\%}$ (м/с), формируемого УТВ, с учетом мощности тепловыделения (МВт), а также продольного уклона тоннеля (%)

При положительном уклоне коэффициент K_2 необходимо принимать равным 1,0, требуемую скорость воздушного потока на графике следует принимать для уклона со значением 0 ‰.

При определении требуемого расхода вытяжной УТВ при продольно-поперечной схеме противодымной защиты используется формула

$$G_{sm} = 2V_{x\%} A \rho_{sm}, \quad (3)$$

где G_{sm} – массовый расход удаляемых продуктов горения, кг/с; ρ_{sm} – плотность продуктов горения, кг/м³; $V_{x\%}$ – требуемая скорость воздуха при продольном уклоне тоннеля, м/с.

При определении требуемого расхода вытяжной УТВ при продольной схеме противодымной защиты применяется зависимость:

$$G_{sm} = V_{x\%} A p_{sm}. \quad (4)$$

Результаты и обсуждение

Проведенный анализ и расчеты показали целесообразность использования в двухпутных тоннелях Московского метрополитена приточно-вытяжных систем противодымной вентиляции, которые предназначены для удаления продуктов горения непосредственно из тоннеля при возникновении в нем пожара и компенсирующей подачи воздуха в этот тоннель с ограничением распространения в нем продуктов горения.

В зависимости от управляемого принудительного перемещения газоздушных потоков системы противодымной тоннельной вентиляции проектируются в соответствии с одной из нижеприведенных схем.

Продольно-поперечная схема (рис. 2), при которой посредством механически побуждаемой тяги вентиляторов вытяжных и приточных систем осуществляется принудительное перемещение потоков образующихся при пожаре продуктов горения в плоскостях проходных сечений транспортного отсека тоннеля (перпендикулярно продольной оси этого отсека), а воздушных потоков – по нормали к тем же плоскостям (параллельно продольной оси того же отсека).

Продольная схема (рис. 3, 4), при которой механически побуждаемая тяга вентиляторов вытяжных и приточных систем односторонне направлена по нормали к плоскостям проходных сечений транспортного отсека тоннеля (параллельно продольной оси этого отсека).

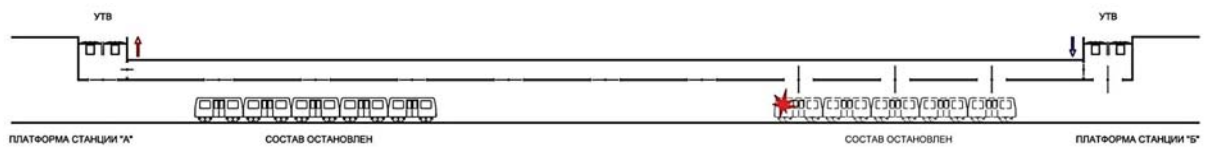


Рис. 2. Продольно-поперечная схема противодымной вентиляции при открытых противопожарных клапанах

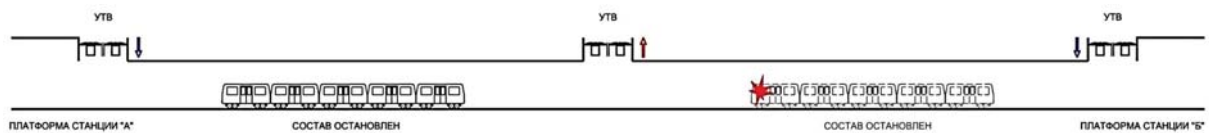


Рис. 3. Продольная схема противодымной вентиляции с промежуточной УТВ

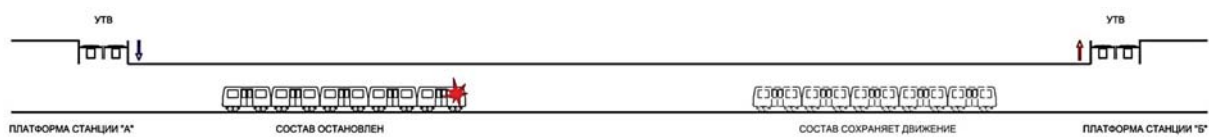


Рис. 4. Продольная схема противодымной вентиляции без промежуточной УТВ

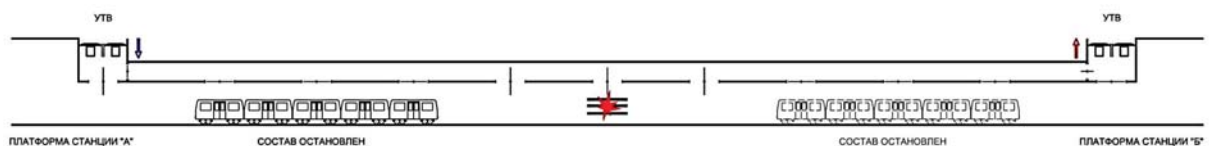


Рис. 5. Продольно-поперечная схема противодымной вентиляции при пожаре на стационарном объекте в тоннеле

Представленные на рис. 2–4 варианты схем противодымной вентиляции применяются только при вынужденной остановке электроподвижного состава в тоннеле вследствие пробоя узлов крепления контактного рельса или пожара в аппаратном отсеке головного вагона. Вместе с тем такие схемы противодым-

ной вентиляции не обеспечивают необходимой уровень безопасности пассажиров при их эвакуации в обход очага пожара по путям встречного направления.

Схема противодымной защиты, представленная на рис. 4, может применяться при условии сохранения движения неаварийного электроподвижного состава, находящегося в одном тоннеле с аварийным составом, в сторону станции, расположенной по ходу его движения.

При возникновении пожара в тоннеле на стационарном объекте с одновременным нахождением в нем двух подвижных составов встречного направления в соответствии со схемой, представленной на рис. 5, для противодымной защиты таких тоннелей может применяться только продольно-поперечная схема.

Включение систем приточно-вытяжной противодымной вентиляции должно быть предусмотрено в автоматическом и дистанционном режимах по управляющим сигналам от автоматической пожарной сигнализации на основе оптоволоконного кабеля.

При такой продольно-поперечной схеме противодымной вентиляции тоннели подлежат условному разделению на дымовые зоны длиной до 100 м. В центре каждой дымовой зоны должна быть предусмотрена установка противопожарного клапана на вентиляционном канале вытяжной установки тоннельной вентиляции. Открытие противопожарных клапанов должно быть предусмотрено в аварийной дымовой зоне, а также в двух смежных, граничащих с ней, дымовых зонах. При возникновении пожара на границе дымовых зон, в том числе на удалении до 10 м от такой границы, должно быть предусмотрено открытие противопожарных клапанов в аварийной дымовой зоне, а также в смежной с ней дымовой зоне.

При продольной схеме вентиляции, представленной на рис. 3, тоннели подлежат условному разделению на две дымовые зоны, граница между которыми должна совпадать с местом установки промежуточной УТВ. При продольной схеме вентиляции, представленной на рис. 4, деление на дымовые зоны не требуется.

Описанная приточно-вытяжная противодымная вентиляция должна быть функционально совмещена с общеобменной вентиляцией, обеспечивающей необходимые условия воздушной среды в нормальном режиме эксплуатации тоннелей.

Выводы

На основе анализа объемно-планировочных решений и характеристик двухпутных тоннелей московского метрополитена определены особенности организации систем противодымной защиты.

Представлена методика расчета параметров системы противодымной вентиляции в двухпутных тоннелях метрополитена. Требуемая минимальная продольная скорость воздуха навстречу фронту дыма определяется с учетом фактора продольного уклона, мощности тепловыделения очага пожара, характеристик тоннеля.

Требуемая продольная скорость воздушного потока, формируемого установками тоннельной вентиляции (УТВ), определяется с учетом мощности тепловыделения очага пожара, а также продольного уклона тоннеля.

Установлена целесообразность использования в двухпутных тоннелях Московского метро приточно-вытяжных систем противодымной вентиляции, которые в зависимости от управляемого принудительного перемещения газовоздушных потоков в защищаемом тоннеле системы противодымной тоннельной вентиляции могут иметь различные схемы: продольно-поперечная и продольная.

Рассмотрены различные варианты схем вентиляции и сценарии возникновения пожаров (в подвижном составе и в кабельных линиях).

Список литературы

1. *Абашкин А.А.* Пожарная опасность двухпутных тоннелей метрополитенов // Актуальные вопросы пожарной безопасности. 2024. № 1 (19). С. 10–15. <https://doi.org/10.37657/vniipo.avpb.2024.63.73.002>.
2. *Хасанов И.Р., Ушаков Д.В., Абашкин А.А.* Пожары в подземных сооружениях метрополитенов // Пожарная безопасность. 2016. № 4. С. 166–174.
3. *Абашкин А.А., Ушаков Д.В., Хасанов И.Р.* Особенности пожарной опасности подземных сооружений метрополитенов // XXIX Междунар. науч.-практ. конф., посвященная 80-летию ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 5 июля 2017 г.: материалы конференции: в 2 ч. Ч. 2. Москва: ВНИИПО, 2017. С. 63–65.
4. Численное и физическое моделирование температурного режима в путевом тоннеле метрополитена при пожаре в движущемся вагоне поезда / *П.А. Баранов, А.Д. Голиков, С.А. Исаев, А.Ю. Снегирев* // Инженерно-физический журнал. 2000. Т. 73, № 5. С. 918–921.
5. *Голиков А.Д., Агеев П.М.* Основные параметры пожара подвижного состава в тоннеле метрополитена // Юбилейный сборник трудов ФГБУ ВНИИПО МЧС России. Москва: ВНИИПО, 2012. С. 199–207.
6. Концепция обеспечения пожарной безопасности двухпутных тоннелей в Московском метрополитене. Москва: Мосинжпроект, 2017. 114 с.
7. СП 120.13330.2022. СНиП 32-02-2003. Метрополитены.
8. СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003.
9. СП 7.13130.2013. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности.
10. Обоснование технологической схемы вентиляции двухпутных тоннелей метрополитенов без перегонных вентиляционных камер / *А.М. Красюк, И.В. Лугин, Е.Л. Алферова, Л.А. Кияница* // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2016. № 4. С. 117–130.
11. *Лугин И.В., Алферова Е.Л.* Средства тоннельной вентиляции для обеспечения безопасности эвакуации пассажиров при горении поезда в двухпутном тоннеле // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2014. Т. 1, № 2. С. 137–142.
12. Инновационные решения по повышению безопасности и эффективности эксплуатации двухпутных тоннелей / *В.А. Маслак, Д.А. Бойцов, С.Г. Гендлер, А.И. Данилов, Е.К. Левина* // Подземные горизонты. 2016. № 8. С. 84–87.
13. *Вагин А.В., Данилов А.И., Сиваков И.А.* Оценка теплового воздействия пожара поезда в двухпутном тоннеле метрополитена // Проблемы управления рисками в техносфере. 2015. № 2 (34). С. 26–34.
14. NFPA 502: Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways. 2023 Edition.
15. AHRAE. 2012. Handbook of Smoke Control Engineering / *John H. Klote, James A. Milke, Paul G. Turnbull*.
16. *Хасанов И.Р., Колчев Б.Б.* Продольная схема вентиляции в однонаправленных автодорожных тоннелях // Актуальные проблемы пожарной безопасности, Ногинск, 19–20 мая 2016 г.: материалы XXVIII Междунар. науч.-практ. конф. в 2 ч. Ч. 1. Москва: ВНИИПО, 2016. С. 459–467.

17. Колчев Б.Б. Противодымная вентиляция: вопросы и ответы // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика (АВОК). 2018. № 3. С. 24–27.

**Статья поступила в редакцию 18.03.2024;
одобрена после рецензирования 18.04.2024;
принята к публикации 17.05.2024.**

Абашкин Александр Анатольевич – начальник отдела. E-mail: k708@yandex.ru; **Колчев Борис Борисович** – заместитель начальника отдела. E-mail: 3.2.3@vniipo.ru; **Хасанов Ирек Равильевич** – доктор технических наук, главный научный сотрудник.

Всероссийский ордена “Знак Почета” научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (ФГБУ ВНИИПО МЧС России), г. Балашиха, Московская область, Россия.

Alexander A. Abashkin – Head of Department. E-mail: k708@yandex.ru; **Boris B. Kolchev** – Deputy Head of Department. E-mail: 3.2.3@vniipo.ru; **Irek R. Khasanov** – Doctor of Technical Sciences, Main Researcher.

All-Russian Research Institute for Fire Protection (VNIIPO), the Ministry of the Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (EMERCOM of Russia), Balashikha, Moscow region, Russia.