

Научная статья

УДК 614.849; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-4-106-114

КОНКРЕТИЗАЦИЯ СЦЕНАРИЕВ РАЗВИТИЯ ПОЖАРА В ПОДЗЕМНЫХ ОБЪЕКТАХ МЕТРОПОЛИТЕНА

✉ Калач Андрей Владимирович.

Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Россия.

Агеев Павел Михайлович;

Крутолапов Александр Сергеевич.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ a_kalach@mail.ru

Аннотация. Пожарная опасность подземных объектов метрополитена определяется наличием значительных количеств горючих материалов в эскалаторных и перегонных тоннелях, служебных помещениях, вестибюлях станций и большого количества кабельных сетей и электрооборудования в помещениях и сооружениях, находящихся под напряжением, что может привести к риску возникновения пожаров, огромным экономическим потерям и человеческим жертвам.

Приведены результаты анализа и обобщения возможных сценариев пожаров на основных подземных объектах метрополитена с массовым пребыванием людей, которые должны быть учтены при проведении расчетов по оценке пожарного риска для работников и посетителей метрополитена, которая позволит получить наиболее информативную оценку пожарной опасности для людей, находящихся в сооружениях метрополитена, и позволит реализовать в полном объеме требования положений ст. 6 Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» для подземных сооружений метрополитена.

Ключевые слова: метрополитен, сценарий пожара, станция, эскалатор, перегонный тоннель, пожарная безопасность, пожарный риск

Для цитирования: Калач А.В., Агеев П.М., Крутолапов А.С. Конкретизация сценариев развития пожара в подземных объектах метрополитена // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 4 (68). С. 106–114. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-4-106-114.

Scientific article

UPDATED SCENARIO OF FIRE DEVELOPMENT IN UNDERGROUND FACILITIES OF THE SUBWAY

✉ Kalach Andrey V.;

Ural institute of State fire service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russia.

Ageev Pavel M.;

Krutolapov Alexander S.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ a_kalach@mail.ru

Abstract. The fire hazard of underground metro facilities determined by the presence of significant amounts of combustible materials in escalator and distillation tunnels, office premises, station lobbies, the presence of a large number of cable networks and electrical equipment under voltage in the premises and structures, which leads to fires, huge economic losses and human victims.

Presents the results of the analysis and generalization of possible fire scenarios at the main underground metro facilities with a massive stay of people, which should be taken into

account when carrying out calculations for assessing the fire risk for employees and visitors of the metro, which will provide the most informative assessment of the fire hazard for people in the structures metro, and will allow to fully implement the requirements of the provisions of Article 6 of the Federal Law of July 22, 2008 № 123-FZ «Technical regulations on fire safety requirements» for the subway underground structures.

Keywords: metro, fire scenario, station, escalator, distillation tunnel, fire safety, fire risk

For citation: Kalach A.V., Ageev P.M., Krutolapov A.S. Updated scenario of fire development in underground facilities of the subway // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 4 (68). P. 106–114. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-4-106-114.

Введение

В современном урбанистическом мире наблюдается интенсивное развитие и использование инфраструктуры подземного пространства. Всевозрастающее количество подземных сооружений находит свое применение для обеспечения удобства и комфорта жизнедеятельности человека. Особое место среди таких элементов современной инфраструктуры занимают подземные объекты метрополитена [1–4].

Следует также отметить, что с ростом населения существующие варианты наземного вида транспорта, в принципе, не способны в полном объеме удовлетворить потребности крупных городов. В этом контексте метрополитен представляет собой эффективную форму транспорта [5, 6].

Вследствие различных факторов риска в сложных условиях объекты метрополитена во всем мире представляют собой источники различного рода опасностей, среди которых особое место занимают пожары. Необходимо отметить, что по сравнению с другими объектами (например, жилыми домами, торговыми центрами, производственными зданиями, скоростной автомагистралью) пожарная опасность метрополитена определяется прежде всего наличием большого количества горючих материалов в эскалаторных и перегонных тоннелях, служебных помещениях, вестибюлях станций и большого числа кабельных сетей и электрооборудования в помещениях и сооружениях, находящихся под напряжением, что может привести к риску возникновения пожаров, огромным экономическим потерям и человеческим жертвам [7–10].

Подземные объекты характеризуются очень сложной планировкой, ограниченным количеством выходов и удаленностью от поверхности земли [11].

Управление пожарной безопасностью в подземных тоннелях включает в себя множество процессов, обусловленных необходимостью проведения интеграции систем безопасности на стадии проектирования тоннелей, профилактики пожаров, пожаротушения и поисково-спасательных систем, обоснование выбора пассивной и активной противопожарной защиты, эвакуации участников дорожного движения и смягчение последствий пожаров.

Следует отметить, что на многих линиях метрополитена используется устаревший подвижной состав, характеризующийся высокой пожарной нагрузкой. В Федеральном законе от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (ФЗ № 123-ФЗ) метрополитены отсутствует вовсе как класс функциональной пожарной опасности [12]. Необходимо отметить, что в подземных сооружениях метрополитена не могут быть выполнены некоторые обязательные требования данного федерального закона, поскольку значительная часть упомянутых в законе объемно-планировочных элементов в метрополитене отсутствует. Кроме того, противоподымная защита подземных вестибюлей станций и перегонных тоннелей построена на принципах, отличных от применяемых в обычных зданиях и сооружениях.

В соответствии со ст. 6 ФЗ № 123-ФЗ пожарный риск является одним из основных показателей, определяющих обеспечения пожарной безопасности объекта [12].

На данный момент времени отсутствует утвержденная в установленном порядке методика определения пожарного риска для объектов метрополитена, что не позволяет оценить пожарную безопасность метрополитенов в соответствии с положениями ФЗ № 123-ФЗ. В работе [13] были сформулированы основные задачи, которые необходимо решить и использовать при разработке методики определения пожарного риска для данных объектов. Одной из таких актуальных задач является определение сценариев пожара (групп сценариев пожара), представляющих наибольшую опасность. Поскольку подземные объекты характеризуются сложной планировкой, ограниченным количеством выходов и удаленностью от поверхности земли, то особое внимание в исследовании уделено разработке вариантов сценариев в зависимости от места остановки поезда в тоннеле и расположения очага пожара, выбор которых осуществляют с учетом работы тоннельной противодымной вентиляции.

Определение сценариев пожара (групп сценариев пожара)

При проведении исследования были приняты следующие допущения: аварийные ситуации на станции рассматривали только на одном пути, так как на втором пути они будут аналогичны и симметричны; при аварийных ситуациях между станциями (в тоннеле) пожар рассматривали на обоих путях, что связано с выбором работы тоннельной противодымной вентиляции.

Для определения сценариев пожара рассмотрим определения основных сооружений метрополитена, характеризующиеся большим скоплением людей. Станция метрополитена представляет собой подземный объект, предназначенный для посадки и высадки пассажиров метрополитена. Станции делятся в зависимости от расположения относительно поверхности земли на надземно-эстакадные, наземные и подземные [14, 15].

Вестибюль представляет собой помещение для пропуска пассажиров на станцию метрополитена. Вестибюль соединяется как с платформой, так и с поверхностью земли. Внутренняя планировка вестибюлей обеспечивает распределение пассажиров и исключает пересечение встречных пассажиропотоков, для чего входы и выходы устраивают раздельными. Служебные помещения на станциях (в том числе в вестибюлях) обеспечивают все потребности эксплуатации объектов метрополитена.

Пожарная опасность станций заключается в наличии большого числа служебных помещений и кабельных коллекторов с высокой пожарной нагрузкой, массовым пребыванием людей в течение суток и ограниченностью выходов на поверхность. Станции глубокого заложения, как правило, имеют только один выход на поверхность. За счет разных объемно-планировочных решений станций, что описано выше, для каждой станции должны разрабатываться свои наиболее опасные сценарии пожаров.

В работах [16, 17] проведен анализ результатов экспериментов на натуральных крупномасштабных макетах подвижного состава метрополитенов. Исследован процесс распространения пожара в салоне вагона и по подвижному составу.

В качестве наиболее опасных сценариев пожара в платформенных залах станций метрополитена необходимо выбирать очаг пожара (рис. 1) в кабине машиниста в головном (аварийная ситуация 1-3) и хвостовом вагоне поезда (аварийная ситуация 1-1), а также в середине состава (аварийная ситуация (1-2) в подвагонном пространстве, что особенно актуально для станций старого пилонного типа.

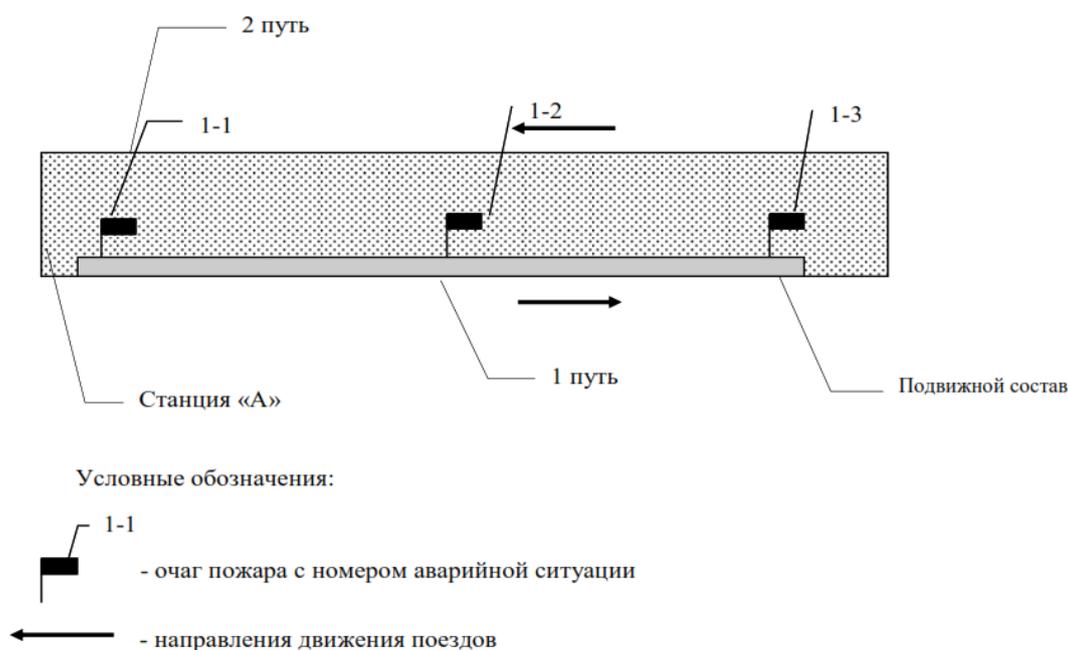


Рис. 1. Возможные аварийные ситуации на станции метрополитена

При пожаре в середине поезда происходит двухстороннее развитие пожара с более быстрым увеличением площади горения, чем при пожаре в кабине машиниста. При этом необходимо учитывать, что возгорание произошло в поезде, когда он только отошел от предыдущей станции, и машинист довел состав на рассматриваемую станцию уже с развитым пожаром. Сценарий пожара в верхнем вестибюле станции должен предусматривать пассажиропоток, который поднимается по эскалаторам (или по лестницам) с платформенного зала станции.

Необходимо также рассматривать сценарии пожаров в блоках служебных помещений, так как пути эвакуации из них, как правило, ведут в платформенные залы станций.

Эскалатор представляет собой самодвижущую лестницу, размещенную в специальном наклонном ходе [14, 15, 18].

Эскалаторные тоннели создают повышенную опасность при скоплении горючих материалов (например, консистентной смазки, масла, пыли, бумаги) во внутренней части эскалатора/пассажирского конвейера. В случае пожара в эскалаторном тоннеле блокируется выход с платформенного зала станции, а для некоторых станций он может быть всего один. При рассмотрении сценария пожара в эскалаторном тоннеле пассажиры с платформенного зала станции эвакуируются через другой выход на поверхность, а при его отсутствии вывозятся поездами.

Перегонные тоннели представляют собой протяженные подземные выработки [14, 15]. Тоннели бывают однопутные и двухпутные. Тоннели глубокого заложения имеют круглое сечение диаметром 5,1 м или 5,6 м, что связано с диаметром проходческого щита. Тоннели мелкого заложения, как правило, строят открытым способом, они имеют прямоугольное сечение размером (4,1 × 4,3) м.

Обделки перегонных тоннелей изготавливаются из бетонных или железобетонных тубингов с нормированным пределом огнестойкости. Профиль трассы имеет уклон, величина которого может достигать 0,04–0,06 градусов. По левую сторону по ходу движения поезда расположены высоковольтные кабели с напряжением 10 кВ и контактный рельс с напряжением 825 В. С противоположной стороны тоннель оборудуется бетонной или металлической пешеходной банкеткой, используемой для прохода вдоль состава. Тоннели оснащены рабочим и аварийным освещением. В однопутных перегонных тоннелях для

эвакуации пассажиров предусмотрены эвакуационные сбойки. Шаг между сбойками составляет 80 м при использовании на трассе подвижного состава без возможности прохода людей по вагонам вдоль поезда, и не более 120 м – при использовании подвижного состава с наличием такой возможности. При длине перегона между станциями более 2 800 м его оборудуют аварийным выходом, ведущим наружу [19].

К числу пожаров в тоннелях относятся пожары в кладовых службы пути на перегонах, кабельных линий, узлов крепления контактного рельса, а также пожары подвижного состава, остановившегося в тоннеле [20].

Перечень сценариев пожаров в тоннеле, связанных с остановкой поезда, включает следующие варианты [20]:

а) Пожар стационарных объектов в тоннеле и притоннельных сооружениях (пожар кабельных линий; пробой и пожары узлов крепления контактного рельса, что служит причиной остановки движения; пожар в кладовых службы пути на перегонах, что приводит к задымлению тоннелей).

б) Пожар подвижного состава (пожар в кабине машиниста головного вагона с остановкой поезда на перегоне (потеря управления поездом); взрыв (поджог) и последующий пожар в вагонах с остановкой поезда на перегоне).

Все приведенные случаи пожаров характеризуются остановкой поездов в тоннеле и необходимостью эвакуации пассажиров непосредственно в тоннель. В зависимости от места остановки поезда в тоннеле и расположения очага пожара разрабатываются разные сценарии, выбор которых осуществляют с учетом работы тоннельной противодымной вентиляции.

В перегонных тоннелях целесообразно рассматривать следующие сценарии (рис. 2).

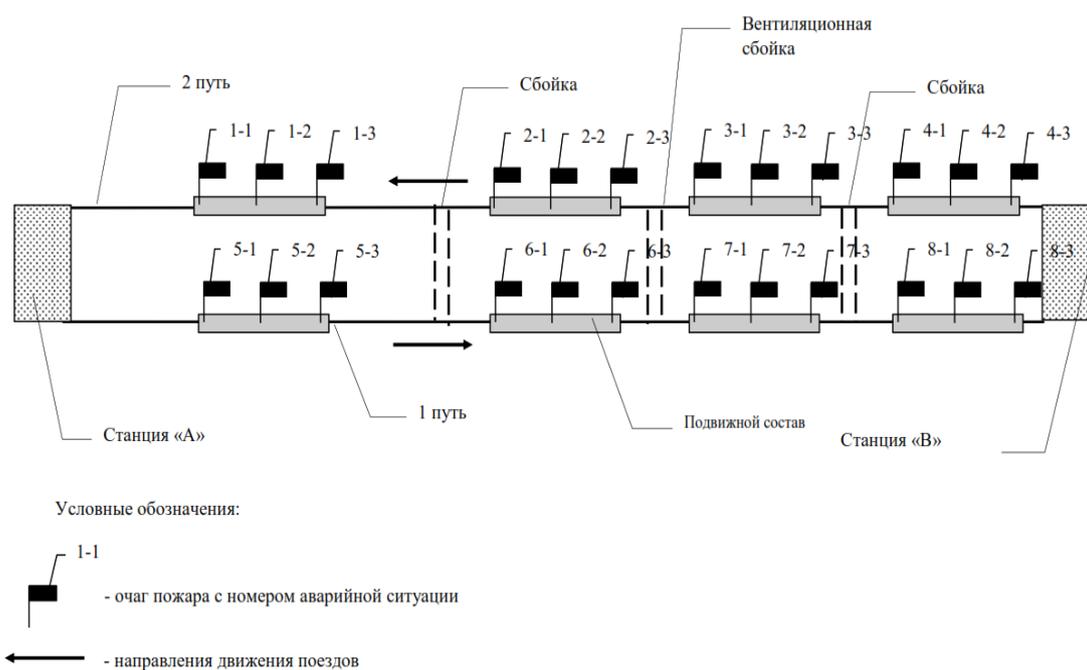


Рис. 2. Возможные аварийные ситуации на участке между станциями

Среди сценариев пожара в перегонном тоннеле необходимо отметить очаг в головном (аварийная ситуация 1-1), хвостовом (аварийная ситуация 1-3) и среднем вагоне поезда (аварийная ситуация 1-2) между станцией «А» и эвакуационной сбойкой на 2 пути; очаг в головном (аварийная ситуация 2-1), хвостовом (аварийная ситуация 2-3) и среднем вагоне поезда (аварийная ситуация 2-2) между эвакуационной сбойкой и вентиляционной перегонной

шахтой (вентиляционная сбойка) на 2 пути; очаг в головном (аварийная ситуация 3-1), хвостовом (аварийная ситуация 3-3) и среднем вагоне поезда (аварийная ситуация 3-2) между вентиляционной перегонной шахтой (вентиляционная сбойка) и эвакуационной сбойкой на 2 пути; очаг в головном (аварийная ситуация 4-1), хвостовом (аварийная ситуация 4-3) и среднем вагоне поезда (аварийная ситуация 4-2) между эвакуационной сбойкой и станцией «В» на 2 пути; очаг в головном (аварийная ситуация 5-3), хвостовом (аварийная ситуация 5-1) и среднем вагоне поезда (аварийная ситуация 5-2) между станцией «А» и эвакуационной сбойкой на 1 пути; очаг в головном (аварийная ситуация 6-3), хвостовом (аварийная ситуация 6-1) и среднем вагоне поезда (аварийная ситуация 6-2) между эвакуационной сбойкой и вентиляционной перегонной шахтой (вентиляционная сбойка) на 1 пути; очаг в головном (аварийная ситуация 7-3), хвостовом (аварийная ситуация 7-1) и среднем вагоне поезда (аварийная ситуация 7-2) между вентиляционной перегонной шахтой (вентиляционная сбойка) и эвакуационной сбойкой на 1 пути; очаг в головном (аварийная ситуация 8-3), хвостовом (аварийная ситуация 8-1) и среднем вагоне поезда (аварийная ситуация 8-2) между эвакуационной сбойкой и станцией «В» на 1 пути.

Заключение

Таким образом, проведен анализ и приведены особенности основных сценариев пожаров в подземных объектах метрополитенов с массовым пребыванием людей, которые должны быть учтены при проведении расчетов по оценке пожарного риска для работников и посетителей метрополитена. Предлагаемый подход позволит конкретизировать сценарии развития пожара в подземных объектах метрополитена, получить информативную оценку пожарной опасности для людей, находящихся на территории метрополитена, а также реализовать требования положений ст. 6 ФЗ № 123-ФЗ для подземных сооружений метро.

Необходимо отметить, что в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 22 июля 2020 г. № 1084 «О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска» методики расчета по оценке пожарного риска должны основываться на построении полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития и оценке последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития. В исследовании были рассмотрены основные сценарии пожаров в подземных объектах метрополитенов с массовым пребыванием людей, которые должны быть учтены при разработке методики определения пожарного риска для объектов метрополитена.

Список источников

1. Smart prediction for tunnel fire state evolution based on an improved fire simulation curve through particle swarm optimization algorithm / X. Liu [et al.] // *Fire safety journal*. 2023. Vol. 136. P. 103763. DOI: 10.1016/j.firesaf.2023.103763.
2. Reduced-scale experimental and numerical study of fire in a hybrid ventilation system in a large underground subway depot with superstructures under fire scenario / Z. Wang [et al.] // *Tunnelling and underground space technology*. 2019. Vol. 88. P. 98–112. DOI: 10.1016/j.tust.2019.02.006.
3. Risk analysis of people evacuation and its path optimization during tunnel fires using virtual reality experiments / X. Zhang [et al.] // *Tunnelling and underground space technology*. 2023. Vol. 137. P. 105133. DOI: 10.1016/j.tust.2023.105133.
4. Gabay D. Fire safety: a short history in the Paris subway // *Tunnelling and underground space technology*. 2002. Vol. 17. Iss. 2. P. 139–143. DOI: 10.1016/S0886-7798(02)00016-0.
5. Zhang J., Wang Sh., Wang X. Comparison analysis on vulnerability of metro networks based on complex network // *Physica A: Statistical mechanics and its applications*. 2018. Vol. 496. P. 72–78. DOI: 10.1016/j.physa.2017.12.094.

6. Vulnerability modeling, assessment, and improvement in urban metro systems: A probabilistic system dynamics approach / H. Chen [et al.] // *Sustainable cities and society*. 2021. Vol. 75. P. 103329. DOI: 10.1016/j.scs.2021.103329.
7. Агеев П.М., Савосько С.В., Маслаков М.Д. Особенности расчета процесса эвакуации людей из подвижного состава метрополитена // *Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация*. 2016. № 3. С. 20–24.
8. Accident pattern recognition in subway construction for the provision of customized safety measures / H. Qi [et al.] // *Tunnelling and underground space technology*. 2023. Vol. 137. P. 105157. DOI: 10.1016/j.tust.2023.105157.
9. A probabilistic approach for safety risk analysis in metro construction / L. Zhang [et al.] // *Safety science*. 2014. Vol. 63. P. 8–17. DOI: 10.1016/j.ssci.2013.10.016.
10. Modeling and safety strategy of passenger evacuation in a metro station in China / C. Shi [et al.] // *Safety science*. 2012. Vol. 50. Iss. 5. P. 1319–1332. DOI: 10.1016/j.ssci.2010.07.017.
11. История исследования в области пожарной безопасности метрополитенов / А.Д. Голиков [и др.] // *Метро и тоннели*. 2016. № 3. С. 22–26.
12. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (последняя редакция): Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
13. Агеев П.М., Мельник А.А., Шавырина Т.С. Разработка научно обоснованных требований пожарной безопасности для подземных сооружений метрополитена с учетом пожарного риска // *Научно-аналитический журнал «Актуальные проблемы безопасности в техносфере»*. 2021. № 1 (1). С. 61–65.
14. Сооружения, устройства, подвижной состав метрополитена / А.С. Бакулин [и др.]. М.: Транспорт, 1979. 239 с.
15. Меркин В.Е., Власов С.Н., Маковский Л.В. Аварийные ситуации при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей и метрополитенов. М.: ТИМР, 2000. 198 с.
16. Повышение эффективности управления безопасностью пассажирских перевозок подвижным составом в метрополитене / А.В. Калач [и др.] // *Сибирский пожарно-спасательный вестник*. 2021. № 2 (21). С. 36–42.
17. Experimental studies of the process of occurrence and spread of fire hazards during the burning of rolling stock in a tunnel Gorenje / P.M. Aqeev [et al.] // *Journal of physics: conference series*. 2021. Vol. 1902. P. 012047.
18. Тоннели и метрополитены / В.П. Волков [и др.]. М.: Транспорт, 1975. 551 с.
19. СП 120.13330.2012. Метрополитены. Актуализированная редакция СНиП 32-02-2003 // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: docs.cntd.ru/document/1200095542 (дата обращения: 22.09.2023).
20. Прохоров В.П., Вагнер Е.С. Проблема обеспечения пожарной безопасности пассажирских перевозок в тоннелях московского метрополитена // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2017. № 11–12 (226–227). С. 36–42.

References

1. Smart prediction for tunnel fire state evolution based on an improved fire simulation curve through particle swarm optimization algorithm / X. Liu [et al.] // *Fire safety journal*. 2023. Vol. 136. P. 103763. DOI: 10.1016/j.firesaf.2023.103763.
2. Reduced-scale experimental and numerical study of fire in a hybrid ventilation system in a large underground subway depot with superstructures under fire scenario / Z. Wang [et al.] // *Tunnelling and underground space technology*. 2019. Vol. 88. P. 98–112. DOI: 10.1016/j.tust.2019.02.006.
3. Risk analysis of people evacuation and its path optimization during tunnel fires using virtual reality experiments / X. Zhang [et al.] // *Tunnelling and underground space technology*. 2023. Vol. 137. P. 105133. DOI: 10.1016/j.tust.2023.105133.

4. Gabay D. Fire safety: a short history in the Paris subway // *Tunnelling and underground space technology*. 2002. Vol. 17. Iss. 2. P. 139–143. DOI: 10.1016/S0886-7798(02)00016-0.
5. Zhang J., Wang Sh., Wang X. Comparison analysis on vulnerability of metro networks based on complex network // *Physica A: Statistical mechanics and its applications*. 2018. Vol. 496. P. 72–78. DOI: 10.1016/j.physa.2017.12.094.
6. Vulnerability modeling, assessment, and improvement in urban metro systems: A probabilistic system dynamics approach / H. Chen [et al.] // *Sustainable cities and society*. 2021. Vol. 75. P. 103329. DOI: 10.1016/j.scs.2021.103329.
7. Ageev P.M., Savos'ko S.V., Maslakov M.D. Osobennosti rascheta processa evakuacii lyudej iz podvizhnogo sostava metropolitena // *Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya*. 2016. № 3. S. 20–24.
8. Accident pattern recognition in subway construction for the provision of customized safety measures / H. Qi [et al.] // *Tunnelling and underground space technology*. 2023. Vol. 137. P. 105157. DOI: 10.1016/j.tust.2023.105157.
9. A probabilistic approach for safety risk analysis in metro construction / L. Zhang [et al.] // *Safety science*. 2014. Vol. 63. P. 8–17. DOI: 10.1016/j.ssci.2013.10.016.
10. Modeling and safety strategy of passenger evacuation in a metro station in China / C. Shi [et al.] // *Safety science*. 2012. Vol. 50. Iss. 5. P. 1319–1332. DOI: 10.1016/j.ssci.2010.07.017.
11. Istoriya issledovaniya v oblasti pozharnoj bezopasnosti metropolitenov / A.D. Golikov [i dr.] // *Metro i tonneli*. 2016. № 3. S. 22–26.
12. Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnoj bezopasnosti» (poslednyaya redakciya): Feder. zakon ot 22 iyulya 2008 g. № 123-FZ. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
13. Ageev P.M., Mel'nik A.A., Shavyrina T.S. Razrabotka nauchno obosnovannyh trebovanij pozharnoj bezopasnosti dlya podzemnyh sooruzhenij metropolitena s uchetom pozharnogo riska // *Nauchno-analiticheskij zhurnal «Aktual'nye problemy bezopasnosti v tekhnosfere»*. 2021. № 1 (1). S. 61–65.
14. Sooruzheniya, ustrojstva, podvizhnoj sostav metropolitena / A.S. Bakulin [i dr.]. M.: Transport, 1979. 239 s.
15. Merkin V.E., Vlasov S.N., Makovskij L.V. Avarijnye situacii pri stroitel'stve i ekspluatacii transportnyh tonnelej i metropolitenov. M.: TIMR, 2000. 198 s.
16. Povyshenie effektivnosti upravleniya bezopasnost'yu passazhirskih perevozok podvizhnym sostavom v metropolitene / A.V. Kalach [i dr.] // *Sibirskij pozharno-spasatel'nyj vestnik*. 2021. № 2 (21). S. 36–42.
17. Experimental studies of the process of occurrence and spread of fire hazards during the burning of rolling stock in a tunnel Gorenje / P.M. Ageev [et al.] // *Journal of physics: conference series*. 2021. Vol. 1902. P. 012047.
18. Tonneli i metropoliteny / Volkov V.P. [et al.]. M.: Transport, 1975. 551 s.
19. SP 120.13330.2012. Metropoliteny. Aktualizirovannaya redakciya SNIp 32-02-2003 // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhnicheskij dokumentacii. URL: docs.cntd.ru/document/1200095542 (data obrashcheniya: 22.09.2023).
20. Prohorov V.P., Vagner E.S. Problema obespecheniya pozharnoj bezopasnosti passazhirskih perevozok v tonnelyah moskovskogo metropolitena // *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*. 2017. № 11–12 (226–227). S. 36–42.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 25.04.2023; одобрена после рецензирования: 02.10.2023;
принята к публикации: 09.10.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 25.04.2023; approved after review: 02.10.2023;
accepted for publication: 09.10.2023

Информация об авторах:

Калач Андрей Владимирович, ведущий научный сотрудник учебно-научного комплекса управления комплексной безопасностью Уральского института ГПС МЧС России (620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22), доктор химических наук, профессор, e-mail: a_kalach@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8926-3151>, SPIN-код: 2584-7456

Агеев Павел Михайлович, старший научный сотрудник отдела сертификации научно-технической продукции в области пожарной безопасности Научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: pageev72@yandex.ru, SPIN-код: 5752-7937

Крутолапов Александр Сергеевич, профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, доцент, e-mail: krutolapov75@list.ru, SPIN-код: 7822-1555

Information about the authors:

Kalach Andrey V., leading researcher of the educational and scientific complex of integrated security management of Ural institute of State fire service of EMERCOM of Russia (620062, Yekaterinburg, Mira str., 22), doctor of chemical sciences, professor, e-mail: A_Kalach@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8926-3151>, SPIN: 2584-7456

Ageev Pavel M., senior researcher of the department of certification of scientific and technical products in the field of fire safety of the Research institute for advanced research and innovative technologies in the field of life safety of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky pr., 149), candidate of technical sciences, e-mail: pageev72@yandex.ru, SPIN: 5752-7937

Krutolapov Alexander S., professor of the department of fire, rescue equipment and automotive industry of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, associate professor, e-mail: krutolapov75@list.ru, SPIN: 7822-1555