

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2024.55.3>**ОГНЕСТОЙКОСТЬ МНОГОСЛОЙНЫХ ПРОТИВОПОЖАРНЫХ ШТОР В МЕТРОПОЛИТЕНЕ**

Научная статья

Котлярская И.Л.^{1*}, Шабунина Д.Е.²¹ ORCID : 0000-0002-8396-4870;² ORCID : 0000-0002-6155-060X;^{1,2} Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (iravassilek[at]mail.ru)

Аннотация

Метрополитен, или метро, представляет собой важный элемент городской транспортной инфраструктуры, позволяющий эффективно перемещать значительное количество пассажиров по рельсовым путям, расположенных преимущественно под землей. Однако функционирование метрополитена сопряжено с определенными рисками, и одним из наиболее серьезных является угроза возникновения пожаров. Пожары в закрытых подземных пространствах метро могут привести к катастрофическим последствиям. Огневые испытания четырех вариантов противопожарных штор с различным составом, предназначенных для использования в метрополитенах, выявили критическую зависимость их огнестойкости от типа и состава наполнителя. Изучению подлежали образцы на основе кремнезёмного мата, обшитого тканью с углеродистой пропиткой (№ 1); из базальтового супертонкого волокна (№ 2); из аэрогеля на основе кварца (№ 3) и из керамического мата (№ 4). Образцы № 2, 3, 4 обшиты кремнезёмной тканью с вермикулитовым напылением. Во время стандартного огневого испытания все образцы показали предел огнестойкости по потере целостности E60. Базальтовый наполнитель, обладающий высокой температурой плавления и хорошими теплоизолирующими свойствами, обеспечил более длительную защиту образца от теплового воздействия (I30).

Ключевые слова: пожар, предел огнестойкости, противопожарная штора, базальтовое волокно, аэрогель, тепловизор, метрополитен.

FIRE RESISTANCE OF MULTILAYER FIRE CURTAINS IN SUBWAYS

Research article

Kotlyarskaya I.L.^{1*}, Shabunina D.Y.²¹ ORCID : 0000-0002-8396-4870;² ORCID : 0000-0002-6155-060X;^{1,2} Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (iravassilek[at]mail.ru)

Abstract

The underground, or metro, is an important element of urban transport infrastructure that allows for the efficient movement of significant numbers of passengers along tracks located mostly beneath the ground. However, there are risks associated with the operation of a metro, and one of the most serious is the threat of fire. Fires in the enclosed underground spaces of the metro can have catastrophic consequences. Fire tests of four variants of fire curtains with different compositions intended for use in subways have shown a critical dependence of their fire resistance on the type and composition of the filler. The samples were studied on the basis of silica mat lined with fabric with carbon impregnation (№ 1); from basalt superfine fibre (№ 2); from aerogel on the basis of quartz (№ 3) and from ceramic mat (№ 4). Specimens № 2, 3, 4 are lined with silica fabric with vermiculite spraying. During the standard fire test, all specimens showed a loss of integrity fire resistance limit of E60. The basalt filler, which has a high melting point and good thermal insulation properties, provided longer protection of the specimen against thermal effects (I30).

Keywords: fire, fire resistance limit, fire curtain, basalt fibre, aerogel, thermal imaging camera, underground.

Введение

Метрополитен является неотъемлемой частью современной городской инфраструктуры, обеспечивающей высокоскоростное, устойчивое и стабильное передвижение миллионов людей ежедневно. Его популярность обусловлена быстрой перемещением, независимостью от дорожных пробок, а также, в сравнении с наземным транспортом, высокой пропускной способностью и относительно низким уровнем выбросов вредных веществ в атмосферу [1], [2].

Однако, высокая плотность пассажиропотока и специфическая подземная среда делают метрополитен уязвимым к чрезвычайным ситуациям, наиболее опасной из которых является пожар. Пожар в метро представляет собой крайне серьезную угрозу, потенциально приводящую к многочисленным жертвам, масштабным материальным потерям и длительным нарушениям работы всей транспортной системы города. Пожары, как правило, происходят на станциях метрополитена со сложной конструкцией и с интенсивным пешеходным движением. Согласно статистике, глубина большинства станций метро составляет более 30 метров, а некоторых – даже 70 метров, что является относительно закрытой подземной системой. Количество пассажиров резко возрастает в периоды пиковых поездок на работу, а в праздничные дни, как правило, пассажиры перевозят большое количество легковоспламеняющегося багажа и

электронных изделий. Это делает станции метро потенциально пожароопасными [3]. Трагическими примерами являются пожары в метрополитенах в Тэгу, Баку и Лондоне, приведшие к многочисленным жертвам [4].

Возникновение пожара может быть вызвано самыми различными причинами: от халатности пассажиров (неосторожное обращение с огнём) и технических неисправностей (короткое замыкание, возгорание электрооборудования, поломка тормозной системы и последующее трение колёс о рельсы) до внешних факторов (проникновение огня извне, например, из-под земли, террористические акты) [5].

Особенную опасность представляют пожары в тоннелях, где ограниченное пространство, быстрое распространение дыма и токсичных газов, а также затруднённая эвакуация создают смертельно опасную ситуацию. Например, в результате пожара поезда в туннеле Хокуруку 6 ноября 1972 года погибло 30 человек и было ранено 715 человек [6]. В работе также отмечается, что на процедуру эвакуации также может повлиять тип, количество загруженного топлива, а также его расположение в поезде [7]. Стандарт EN 50553 указывает, что поезд в условиях пожара должен иметь возможность добраться до «безопасной зоны», как это определено в the Safety in Rail Tunnels TSI [8]. Безопасная зона определяется как временное пространство для выживания внутри или снаружи туннеля, где пассажиры и персонал могут найти убежище после своей эвакуации из поезда. Обеспечение такой зоны является сложной инженерной задачей, требующей учёта множества факторов, включая географическое расположение туннелей, тип поезда, характеристики дымоудаления, систему оповещения и эвакуации. Безопасную зону на станциях и внутри туннелей можно обеспечить с использованием трансформируемых противопожарных преград (ТПП), одним из видов которых являются противопожарные шторы. ТПП представляют собой строительные конструкции, обладающие нормированным пределом огнестойкости и классом конструктивной пожарной опасности, а их основной особенностью является способность ограждающей части конструкции преобразовываться в компактный вид путем свертывания или складывания. Это позволяет создавать противопожарные преграды, которые могут открываться и закрываться по мере необходимости, обеспечивая удобство использования и гибкость в эксплуатации. ТПП являются адаптивными конструкциями, так как они способны подстраиваться к изменяющимся условиям и приходят в действие автоматически после срабатывания пожарной сигнализации [9], [10]. Как правило, ТПП выполняются из композитных материалов [11], [12].

В 2022-м году на станции «Сокольники» северо-восточного участка Большой кольцевой линии московского метро были успешно испытаны автоматические противопожарные шторы OLEMAT Counter-Z EI60 (рис. 1) [13]. В случае пожара они должны закрыть балконную часть станции за 30–40 секунд, защищая пассажиров от продуктов горения [14].



Рисунок 1 - Станция метро «Сокольники»
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2024.55.3.1>

Примечание: расположение и крепление шторы (слева); противопожарная штора в развернутом виде (справа)

Ранее, в 2018 году, для модернизации станции «Деловой центр» и перехода на станцию «Выставочная» было изготовлено и установлено необходимое количество противопожарных штор ZAIGER с пределом огнестойкости EI60 (компания «Мироград») [15].

В представленной статье рассматривается и анализируется огневое испытание четырех видов противопожарных штор, которые могут служить трансформируемой противопожарной преградой в депо метрополитенов, на станциях метрополитена, в вестибюлях метро, а также в туннелях, разграничивая эти помещения на пожарные отсеки. Исследуемые варианты рулонных покрытий являются уникальными в своем роде, так как противопожарные шторы с данным составом не исследовались ранее. Предлагаемые противопожарные шторы справляются с огневой нагрузкой, не прибегая к использованию системы орошения, как это в большинстве случаев конструктивно подразумевается. Дополнительная система орошения повышает предел огнестойкости конструкции, но наносит значительный урон интерьеру помещения в случае ее применения [10].

Целью данной работы является разработка противопожарного полотна с пределом огнестойкости не менее E60 с учетом отсутствия орошения водой.

Методы и принципы исследования

В исследовании рассматриваются многослойные противопожарные шторы. Компоненты штор представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Состав исследуемых противопожарных штор

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2024.55.3.2>

Образец	Обкладочная ткань	Наполнитель
№ 1	Кремнеземная ткань	Кремнеземный мат Суперсилика S
№ 2	Кремнеземная ткань с вермикулитовым покрытием	Базальтовые супертонкие волокна ОБМ-5
№ 3	Кремнеземная ткань с вермикулитовым покрытием	Аэрогель на основе кварца Insuflex 650
№ 4	Кремнеземная ткань с вермикулитовым покрытием	Керамический мат

Противопожарные шторы испытываются с учетом следующих нормативных документов:

- ГОСТ 30247.0-94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования» [16];
- ГОСТ Р 53307-2009 «Противопожарные двери и ворота. Метод испытаний на огнестойкость» [17];
- СП 120.13330. 2012 «Метрополитены» [18].

Достижение предельного состояния по потере целостности (Е) происходит в результате образования в конструкции сквозных трещин или отверстий, через которые проникают продукты горения или пламя. Достижение предельного состояния по потере теплоизолирующей способности (I) происходит вследствие повышения температуры на необогреваемой поверхности образцов в среднем более чем на 140 °С в сравнении температурой поверхности опытного образца [19], [20].

Образцы штор № 1-4 были соединены в единое полотно и размещены в вертикальной огневой печи. Расположение образцов представлено на рис. 2 (слева). К каждому виду полотна были прикреплены датчики (термопары) ТПЛ.011-0,5/1,5, которые расположены на поверхности ткани (рис. 2 (справа)) согласно следующим принципам:

- 1) термопара в центре площади полотна (полотен) опытного образца;
- 2) термопара в центре каждой четверти площади полотна (полотен) опытного образца.

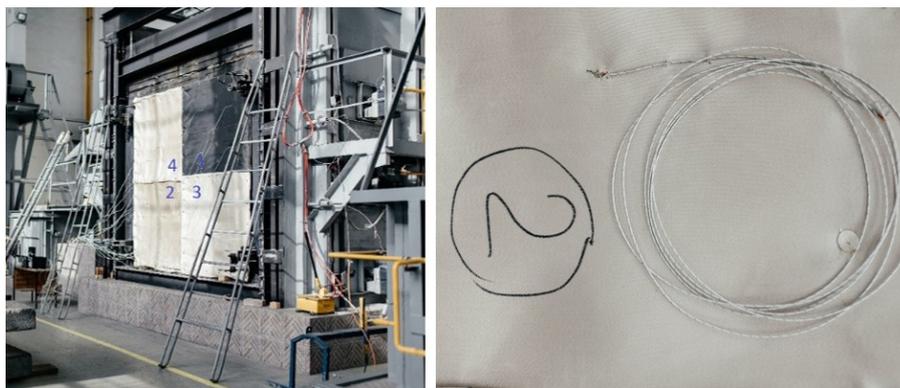


Рисунок 2 - Подготовка к огневому испытанию
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2024.55.3.3>

Примечание: монтаж и расположение полотен (слева); термопара крупным планом (справа)

Показания термопар регистрировались в течение всего периода проведения испытаний при помощи прибора Технограф 160 (рис.3). Температура окружающей среды в начале испытаний составляла 23 °С.

На протяжении экспериментального исследования образцов дополнительно определялись температуры с использованием тепловизора Thermal Seek (рис. 3).



Рисунок 3 - Регистрация значений температуры
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2024.55.3.4>

Примечание: прибор Технограф 160 (слева); тепловизор Thermal Seek (справа)

Основные результаты

В ходе испытаний проводился тщательный мониторинг всех изменений внешнего вида и состояния образцов огнезащитных покрытий. Основные наблюдения:

- 1) 0 мин – начало эксперимента;
- 2) 21 мин - дым от образца под номером 3;
- 3) 25 мин – дым прекратился, изменение цвета образцов (появляются светло-зеленые участки и полосы);
- 4) 34 мин – изменение цвета образцов (появление уже коричневых участков);
- 5) 60 мин – прекращение эксперимента (рис. 4).

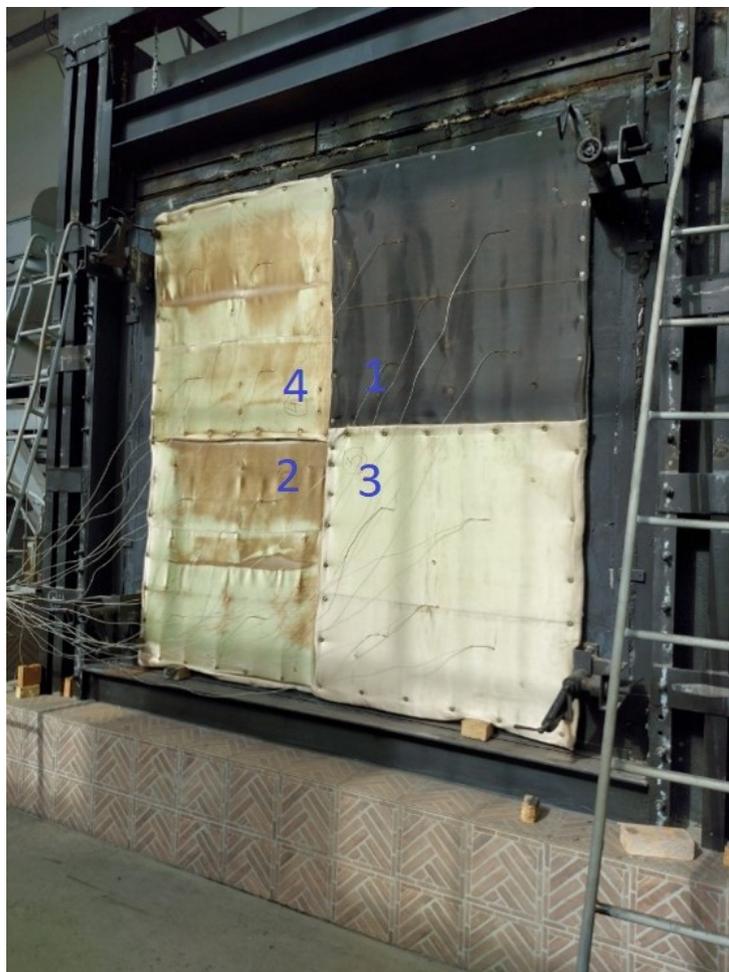


Рисунок 4 - Образцы после огневого испытания
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2024.55.3.5>

В ходе испытания на образцах не было обнаружено сквозных трещин, отверстий или устойчивого пламени на поверхности, что подтверждает их целостность. Таким образом, был достигнут предел огнестойкости по показателю целостности E60.

Согласно данным, полученных Термографом 160, образец № 2, состоящий из кремнеземной обкладной ткани с вермикулитовым покрытием PS-1000V и базальтовым наполнителем, показал наиболее высокую огнестойкость по теплоизолирующей способности I30 (достигнута температура 140°C за 31 мин). Образец № 1 потерял теплоизолирующую способность на 12-й минуте (Суперсилика S), образец № 3 – на 8-й минуте (аэрогель), а 4-й образец на 13-й минуте (керамический мат). Важно отметить, что эффективность каждого наполнителя также зависит от плотности его укладки в шторном полотне и типа используемой ткани. В рамках дальнейших исследований планируется изучить влияние различных комбинаций наполнителей, а также исследовать возможности применения модифицированных аэрогелей с улучшенными термическими и механическими свойствами.

Термограммы (рис. 5), сделанные тепловизором, указывают на то, что образец № 3 имел в приведенные моменты температуру более низкую, чем остальные образцы. Штора с аэрогелем остывала по сравнению с другими образцами.

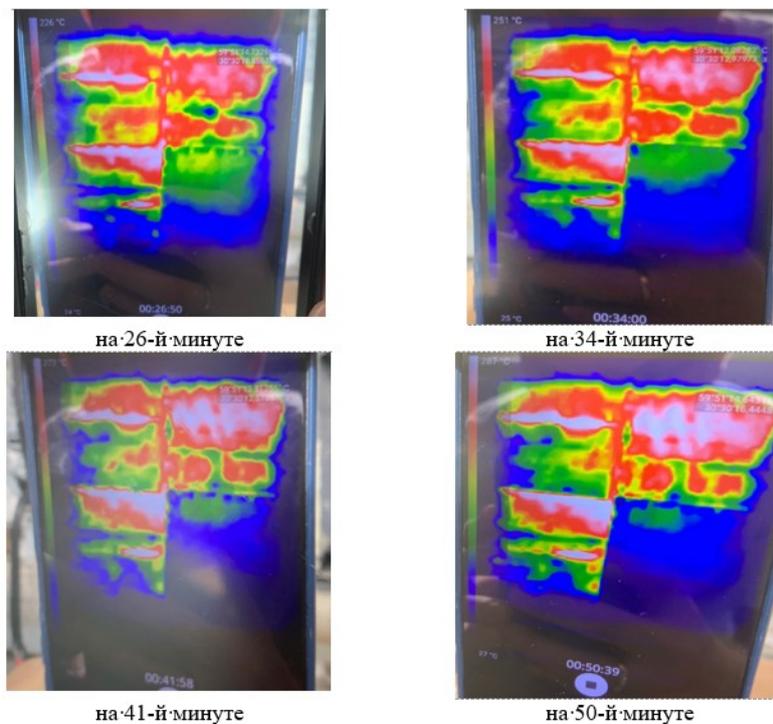


Рисунок 5 - Термограмма образцов
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2024.55.3.6>

Заключение

Исследования, проведенные с четырьмя различными типами противопожарных полотен для трансформируемых преград, показали существенные различия в их поведении под воздействием высоких температур. Базальтовый наполнитель, обладающий высокой температурой плавления и хорошими теплоизолирующими свойствами, обеспечил более длительную защиту образца от теплового воздействия (130). Напротив, аэрогелевый наполнитель, обладающий низкой плотностью и теплопроводностью, оказался менее эффективен в теплоизоляции, что привело к ранней потере теплоизолирующей способности образца – 8 минут. Однако тепловизионная съемка показала, что штора с аэрогелем остывала по сравнению с другими образцами быстрее. Все образцы достигли предела огнестойкости по показателю целостности E60.

Противопожарная штора с базальтовым наполнителем может использоваться в ограждающих перегородках переходов над платформой и над путями станции метрополитена. В рамках дальнейших исследований по данному направлению планируется разработать штору с пределами огнестойкости EI 60 и выше.

Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23–29–00618, <https://rscf.ru/project/23-29-00618/> (дата обращения: 14.10.2024).

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation No. 23-29-00618, <https://rscf.ru/project/23-29-00618/> (accessed: 14.10.2024).

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Zhang H. A Hybrid Spatiotemporal Deep Learning Model for Short-Term Metro Passenger Flow Prediction / H. Zhang, J. He, J. Bao [et al.] // *Journal of Advanced Transportation*. — 2020. — № 1. — 4656435 p. — DOI: 10.1155/2020/4656435.
2. Fang H. Metro Station functional clustering and dual-view recurrent graph convolutional network for metro passenger flow prediction / H. Fang, C.-H. Chen, F.-J. Hwang [et al.] // *Expert Systems with Applications*. — 2023. — № 247. — 122550 p. — DOI: 10.1016/j.eswa.2023.122550.
3. Zhang Z. Research on fire hazard assessment of metro baggage based on improved hierarchical analysis / Z. Zhang, J. Yong, C. Ee [et al.] // *Journal of Infrastructure, Policy and Development*. — 2024. — № 8 (8). — 3083 p. — DOI: 10.24294/JIPD.V8I8.3083.

4. Jang Y.J. The characteristics of ventilated pool fires of Daegok-Sosa subway lines using Model-Scale tunnels and stations / Y.J. Jang, J.H. Kim, J.H. Rho [et al.] // *Tunnelling and Underground Space Technology*. — 2022. — № 121. — 104321 p. — DOI: 10.1016/J.TUST.2021.104321.
5. Zhang J. Pyrolysis, combustion, and fire spread characteristics of the railway train carriages: A review of development / J. Zhang, W. Ji, Z. Yuan [et al.] // *Energy and Built Environment*. — 2023. — № 6. — P. 743–759. — DOI: 10.1016/J.ENBENV.2022.07.001.
6. Chen T. Heat transfer mechanism and emergency operating speed of moving train fires in a metro tunnel / T. Chen, D. Zhou, Z. Lu [et al.] // *Thermal Science and Engineering Progress*. — 2024. — № 47. — 102306 p. — DOI: 10.1016/J.TSEP.2023.102306.
7. Rahman M.T. Effect of Fuel Load and Its Location on the Evacuation Safety in Case of Metro Station Fire in Bangladesh / M.T. Rahman, A. Hanifa, M.A. Rahman // *SSRN Electronic Journal*. — 2024. — № 1. — DOI: 10.2139/SSRN.4859373.
8. McDonald R. Mathematical modelling of cross passage spacing in tunnels / R. McDonald, A. Johnstone // *HS2 Learning Legacy*. — 2020. — № 1. — URL: <https://learninglegacy.hs2.org.uk/document/mathematical-modelling-of-safety-risk-on-the-future-hs2-railway/> (accessed: 11.10.2024).
9. Гравит М.В. Трансформируемые противопожарные преграды в сооружениях и строениях / М.В. Гравит, О.В. Недрышкин, О.Т. Огидан // *Инженерно-строительный журнал*. — 2018. — № 1 (77). — С. 38–46. — DOI: 10.18720/MCE.77.4.
10. Гравит М.В. Трансформируемые противопожарные преграды для заполнения проемов (обзор) / М.В. Гравит, Д.Е. Шабунина, И.Л. Котлярская [и др.] // *Жилищное строительство*. — 2024. — № 4. — с. 31–41. DOI: 10.31659/0044-4472-2024-4-31-41.
11. Прусаков В.А. Базальтовое супертонкое волокно как основа матрицы огнестойкого заполнения деформационных швов в строительных конструкциях / В.А. Прусаков, Я.Б. Симоненко, М.В. Гравит // *Физика и химия стекла*. — 2023. — Т. 49. — № 1. — С. 89–96. — DOI: 10.31857/S0132665122600522.
12. Гравит М.В. Пожарная опасность композитных материалов / М.В. Гравит, Ю.Г. Лазарев, Е.С. Васюткин [и др.] // *Строительные материалы*. — 2021. — № 9. — С. 54–64.
13. OLEMAT fire curtain. — URL: <https://olemat.com/ei60> (accessed: 11.10.2024).
14. Уникальные противопожарные «шторы» испытали на станции «Сокольники». — URL: <https://fp-standart.com/portfolio/socolniki> (дата обращения: 11.10.2024).
15. Пожарная безопасность в Московском метрополитене. — URL: <https://www.mirograd.ru/presscenter/news/pozharnaya-bezopasnost-v-moskovskom-metropolitene.html?ysclid=m252qzo87r455525227> (дата обращения: 11.10.2024).
16. ГОСТ 30247.0-94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования. — Введ. 1996-01-01. — Москва : Издательство стандартов № 1996, 2008. — 7 с.
17. ГОСТ Р 53307-2009. Конструкции строительные. Противопожарные двери и ворота. Метод испытаний на огнестойкость — Введ. 2009-02-18. — Москва : Стандаринформ, 2009. — 33 с.
18. СП 120.13330.2012 Метрополитены. Актуализированная редакция СНиП 32-02-2003 (с Изменениями N 1-4) // docs.cntd.ru. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095542> (дата обращения: 11.10.2024).
19. Кузнецова И.С. Нормирование огнестойкости и идентификация строительных конструкций / И.С. Кузнецова, М.В. Гравит, С.С. Зимин [и др.] // *Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация*. — 2019. — № 4. — С. 28–38. — DOI: 10.25257/FE.2019.4.28-38.
20. Гравит М.В. Пожарно-технические характеристики строительных материалов в европейских и российских нормативных документах. Проблемы гармонизации методов исследования и классификации / М.В. Гравит, О.В. Недрышкин, А.А. Вайтицкий [и др.] // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2016. — Т. 25. — № 10. — С. 16–29. — DOI: 10.18322/PVB.2016.25.10.16-29.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zhang H. A Hybrid Spatiotemporal Deep Learning Model for Short-Term Metro Passenger Flow Prediction / H. Zhang, J. He, J. Bao [et al.] // *Journal of Advanced Transportation*. — 2020. — № 1. — 4656435 p. — DOI: 10.1155/2020/4656435.
2. Fang H. Metro Station functional clustering and dual-view recurrent graph convolutional network for metro passenger flow prediction / H. Fang, C.-H. Chen, F.-J. Hwang [et al.] // *Expert Systems with Applications*. — 2023. — № 247. — 122550 p. — DOI: 10.1016/j.eswa.2023.122550.
3. Zhang Z. Research on fire hazard assessment of metro baggage based on improved hierarchical analysis / Z. Zhang, J. Yong, C. Ee [et al.] // *Journal of Infrastructure, Policy and Development*. — 2024. — № 8 (8). — 3083 p. — DOI: 10.24294/JIPD.V8I8.3083.
4. Jang Y.J. The characteristics of ventilated pool fires of Daegok-Sosa subway lines using Model-Scale tunnels and stations / Y.J. Jang, J.H. Kim, J.H. Rho [et al.] // *Tunnelling and Underground Space Technology*. — 2022. — № 121. — 104321 p. — DOI: 10.1016/J.TUST.2021.104321.
5. Zhang J. Pyrolysis, combustion, and fire spread characteristics of the railway train carriages: A review of development / J. Zhang, W. Ji, Z. Yuan [et al.] // *Energy and Built Environment*. — 2023. — № 6. — P. 743–759. — DOI: 10.1016/J.ENBENV.2022.07.001.
6. Chen T. Heat transfer mechanism and emergency operating speed of moving train fires in a metro tunnel / T. Chen, D. Zhou, Z. Lu [et al.] // *Thermal Science and Engineering Progress*. — 2024. — № 47. — 102306 p. — DOI: 10.1016/J.TSEP.2023.102306.

7. Rahman M.T. Effect of Fuel Load and Its Location on the Evacuation Safety in Case of Metro Station Fire in Bangladesh / M.T. Rahman, A. Hanifa, M.A. Rahman // SSRN Electronic Journal. — 2024. — № 1. — DOI: 10.2139/SSRN.4859373.
8. McDonald R. Mathematical modelling of cross passage spacing in tunnels / R. McDonald, A. Johnstone // HS2 Learning Legacy. — 2020. — № 1. — URL: <https://learninglegacy.hs2.org.uk/document/mathematical-modelling-of-safety-risk-on-the-future-hs2-railway/> (accessed: 11.10.2024).
9. Gravit M.V. Transformiruemye protivopozharnye pregrady v sooruzhenijah i stroenijah [Transformable fire barriers in buildings and structures / M.V. Gravit, O.V. Nedryshkin, O.T. Ogidan // Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal [Magazine of Civil Engineering. — 2018. — № 1 (77). — P. 38–46. — DOI: 10.18720/MCE.77.4. [in Russian]
10. Gravit M.V. Transformiruemye protivopozharnye pregrady dlja zapolnenija proemov (obzor) [Transformable fire barriers for filling openings (overview)] / M.V. Gravit, D.E. Shabunina, I.L. Kotljarskaja, [et al.] // Housing Construction. — 2024. — № 4. — P. 31–41. — DOI: 10.31659/0044-4472-2024-4-31-41. [in Russian]
11. Prusakov V.A. Bazal'tovoe supertonkoe volokno kak osnova matritsy ognestojkogo zapolnenija deformatsionnyh shvov v stroitel'nyh konstruksijah [Super thin basalt fiber as the base of a matrix of the fire-resistant filling of deformation joints in building structures] / V.A. Prusakov, Ja.B. Simonenko, M.V. Gravit // Fizika i himija stekla [Physics and Chemistry of Glass]. — 2023. — Vol. 49. — № 1. — P. 89–96. DOI: 10.31857/S0132665122600522. [in Russian]
12. Gravit M.V. Pozharnaja opasnost' kompozitnyh materialov [Fire hazard of composite materials] / M.V. Gravit, Ju.G. Lazarev, E.S. Vasjutkin [et al.] // Stroitel'nye materialy [Building Materials]. — 2021. — № 9. — P. 54–64. [in Russian]
13. OLEMAT fire curtain. — URL: <https://olemat.com/ei60> (accessed: 11.10.2024).
14. Unikal'nye protivopozharnye "shtory" ispytali na stancii "Sokol'niki" [Unique fire-fighting "curtains" were tested at the Sokolniki station of the metro]. — URL: <https://fp-standart.com/portfolio/socolniki> (accessed: 11.10.2024). [in Russian]
15. Pozharnaja bezopasnost' v Moskovskom metropolitene [Fire safety in the Moscow metro]. — URL: <https://www.mirograd.ru/presscenter/news/pozharnaya-bezopasnost-v-moskovskom-metropolitene.html?ysclid=m252qzo87r455525227> (accessed: 11.10.2024). [in Russian]
16. GOST 30247.0-94. Konstruktsii stroitel'nye. Metody ispytanij na ognestojkost'. Obschie trebovanija [Elements of building constructions. Fire-resistance test methods. General requirements]. — Introd. 1996-01-01. — Moscow : Izdatel'stvo standartov № 1996, 2008.— 7 p. [in Russian]
17. GOST R 53307-2009. Konstruktsii stroitel'nye. Protivopozharnye dveri i vorota. Metod ispytanij na ognestojkost' [Elements of building constructions. Fire doors and gates. Fire resistance test method] — Introd. 2009-02-18. — Moscow : Standartinform, 2009.— 33 p. [in Russian]
18. SP 120.13330.2012 Metropoliteny. Aktualizirovannaja redakcija SNIp 32-02-2003SP 120.13330.2012 [Subways. Updated version of SNIp 32-02-2003] (with Amendments N 1-4) // docs.cntd.ru. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095542> (accessed: 11.10.2024). [in Russian]
19. Kuznetsova I.S. Normirovanie ognestojkosti i identifikatsija stroitel'nyh konstruksij [Rationing of fire resistance and identification of building structures] / I.S. Kuznetsova, M.V. Gravit, S.S. Zimin [et al.] // Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashhenie, likvidacija [Fires and Emergencies: Prevention, Elimination]. — 2019. — № 4. — P. 28–38. — DOI: 10.25257/FE.2019.4.28-38. [in Russian]
20. Gravit M.V. Pozharno-tehnicheskie harakteristiki stroitel'nyh materialov v evropejskih i rossijskih normativnyh dokumentah. Problemy garmonizatsii metodov issledovanija i klassifikatsii [Fire technical characteristics of building materials in the European and Russian regulatory documents. Problems of harmonization of research methods and classification] / M.V. Gravit, O.V. Nedryshkin, A.A. Vajtitskij, A.M. Shpakova, D.G. Nigmatulina // Pozharovzryvobezopasnost' [Fire and Explosion Safety]. — 2016. — Vol. 25. — № 10. — P. 16–29. — DOI: 10.18322/PVB.2016.25.10.16-29. [in Russian]