

Научная статья

УДК 004.896:614.842; DOI: 10.61260/2218-13X-2024-2-62-69

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ

✉ Коткова Елизавета Александровна;

Матвеев Александр Владимирович.

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

✉ kotkovaelizaveta23@gmail.com

Аннотация. При чрезвычайной ситуации, такой как пожар или террористический акт, важным аспектом является безопасная эвакуация людей. Непредсказуемость развития ситуации делает задачу экстренной эвакуации одной из основных проблем. Развитие технологий искусственного интеллекта открывает возможные перспективные пути развития систем управления эвакуацией. Интеллектуальная система управления эвакуацией может помочь отслеживать движение и координаты людей и связанные с этим критические факторы в процессе эвакуации (например, замедление движения по путям, блокирование путей и др.).

Исследование посвящено построению системы поддержки принятия решений при эвакуации людей из зданий на основе результатов моделирования развития пожара, интеллектуального прогнозирования времени эвакуации в условиях сложившейся обстановки при пожаре. Система позволяет динамически формировать оптимальные маршруты эвакуации при меняющейся ситуации. Предлагаемые результаты позволяют в дальнейшем перейти к разработке автоматизированной системы интеллектуального управления эвакуацией, которая позволит обеспечить повышение безопасности эвакуирующихся независимо от сценариев эвакуации и сложившейся ситуации в здании.

Ключевые слова: эвакуация, интеллектуальная система, прогнозирование, структурная схема, мониторинг количества людей, моделирование, управление эвакуацией

Для цитирования: Коткова Е.А., Матвеев А.В. Структурная схема системы интеллектуального управления эвакуацией // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2024. № 2. С. 62–69. DOI: 10.61260/2218-13X-2024-2-62-69.

Scientific article

FRAMEWORK OF THE INTELLIGENT EVACUATION CONTROL SYSTEM

✉ Kotkova Elizaveta A.;

Matveev Alexander V.

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

✉ kotkovaelizaveta23@gmail.com

Abstract. In an emergency, such as a fire or a terrorist attack, an important aspect is the safe evacuation of people. The unpredictability of the situation makes the task of emergency evacuation one of the main problems. The development of artificial intelligence technologies opens up possible promising ways of developing evacuation management systems. An intelligent evacuation management system can help track the movement and coordinates of people and related critical factors during the evacuation process (for example, slowing down traffic along the paths, blocking the paths, etc.).

The study is devoted to the construction of a decision support system for the evacuation of people from buildings based on the results of modeling the development of a fire, intelligent forecasting of the evacuation time in the conditions of the current situation during a fire. The system

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2024

allows dynamically forming optimal evacuation routes in a changing situation. The proposed results allow us to further move on to the development of an automated intelligent evacuation management system, which will ensure increased safety for evacuees, regardless of evacuation scenarios and the current situation in the building.

Keywords: evacuation, intelligent system, forecasting, structural diagram, monitoring the number of people, modeling, evacuation management

For citation: Kotkova E.A., Matveev A.V. Framework of the intelligent evacuation control system // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2024. № 2. P. 62–69. DOI: 10.61260/2218-13X-2024-2-62-69.

Введение

Пожары в зданиях с массовым пребыванием людей несут существенную угрозу для жизни и здоровья их посетителей [1]. Сложившиеся условия пожара могут стать непредсказуемыми, если будут протекать не по планируемыми ранее сценариям [2], и критическими для посетителей, особенно находящихся в отдаленных частях здания. Принятие адекватных решений эвакуирующимися при пожарах, поиск безопасных путей эвакуации в сложившихся условиях пожарной обстановки в режиме реального времени является важным аспектом обеспечения безопасности [3].

Применение искусственного интеллекта может оказать помощь в принятии оперативных и обоснованных решений [4, 5], информировать эвакуирующихся и ответственных за пожарную безопасность в здании о безопасных путях эвакуации. Предлагается создание интегрированной интеллектуальной системы поддержки принятия решений, использующей интеллектуальные измерительные приборы для оперативного сбора данных [6, 7], которая могла бы давать оперативные прогнозы развития пожара, времени эвакуации и информирования с использованием системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ) или мобильных устройств пользователей об оптимальных путях эвакуации.

Большинство систем эвакуации в режиме реального времени опираются на предварительно проанализированные возможные сценарии пожара [8]. Традиционные подходы к координации маршрутов эвакуации статичны и заранее определены. Однако развитие пожара и процесс эвакуации в реальном времени может существенно отличаться от рассмотренных сценариев. Сегодня уже многие здания оснащаются умными датчиками и пожарными извещателями, системами мониторинга количества людей в помещении [9–12]. Объединяя в единую инфраструктуру их можно использовать в системе интеллектуального управления эвакуацией с учетом сложившейся ситуации, оптимизированной в режиме реального времени. Применение такой системы может позволить избежать дополнительных жертв при эвакуации из-за недостатков традиционных подходов к организации процесса эвакуации. Такая система должна быть надежной и масштабируемой, чтобы динамически адаптироваться к количеству эвакуирующихся, степени опасности и требованиям безопасной эвакуации из здания. Концептуальному описанию схемы системы интеллектуального управления эвакуацией посвящено настоящее исследование.

Аналитическая часть

Неотъемлемой составляющей такой системы будет модуль оперативного прогнозирования эффективности (времени) организации эвакуации на основе искусственного интеллекта для оптимизации управленческих решений по эвакуации посетителей здания в режиме реального времени [13, 14]. Система может быть представлена единой совокупностью следующих модулей:

- мониторинга;
- интеллектуального прогнозирования времени эвакуации;

- моделирования пожара;
- интеллектуальной поддержки принятия решений по организации эвакуации;
- управления эвакуацией.

Модуль моделирования пожара решает задачу прогнозирования распространения опасных факторов пожара (ОФП) на основе данных, полученных от датчиков. Модуль интеллектуального прогнозирования эффективности организации эвакуации позволит в режиме реального времени оценить время эвакуации и сравнить альтернативные варианты маршрутов эвакуации на основе данных, полученных от других модулей, и встроенного представления реакции и поведения эвакуирующихся. Модуль интеллектуальной поддержки принятия решений по организации эвакуации объединяет результаты, полученные от всех других модулей, определяет оптимальные маршруты эвакуации и передает информацию через СОУЭ или интеллектуальные портативные устройства пользователей.

На рисунке представлена взаимосвязь между данными модулями системы.

Модуль мониторинга.

Модуль мониторинга во время работы системы интеллектуального управления эвакуацией собирает пространственные и временные данные с интеллектуальных датчиков и пожарных извещателей, видеокамер и устройств подсчета численности посетителей.

Интеллектуальные пожарные извещатели, такие как газоанализаторы, датчики дыма, системы оповещения, температуры и ИК-излучения, подключаются к общей сети. По мере прохождения пожара по фазам (возгорание, тление, рост и распространение) пожарные извещатели срабатывают на соответствующих фазах в зависимости от их близости к источнику возгорания. Входные данные для системы – это пространственное и временное распределение различных измерений, связанных с пожаром. Таким образом, обученная система искусственного интеллекта может определить местоположение пожара, очаг возгорания, скорость роста пожара и направление распространения огня.

Подходы к мониторингу и регистрации количества людей в помещениях здания включают такие технологии, как видеонаблюдение, пассивные или активные детекторы, Wi-Fi/Bluetooth/GPS-счетчики и специальные датчики людей (инфракрасные, LiDAR и т.д.) [15]. При подключении датчиков людей к общей сети системе становится доступно пространственное и временное распределение посетителей зданий. В дополнение к пространственному и временному распределению данных, связанных с пожаром, обученная интеллектуальная система в режиме реального времени может выдавать оптимальные пути эвакуации для посетителей.

Модуль интеллектуального прогнозирования эффективности организации эвакуации.

Предлагаемая система интеллектуального управления эвакуацией включает в себя модуль интеллектуального прогнозирования эффективности организации эвакуации и модуль управления эвакуацией. Модуль интеллектуального прогнозирования эффективности организации эвакуации оценивает возможные маршруты эвакуации с учетом сложившейся ситуации и данных, полученных из модуля мониторинга, и оценивает время эвакуации. В основе этого модуля лежит интеллектуальная модель, содержащая библиотеку заранее смоделированных сценариев эвакуации на основе подхода, предложенного в статье [13], и реализованная в системе интеллектуального прогнозирования [14]. Модуль на основе сложившейся на объекте ситуации и возможных маршрутов эвакуации выдает результаты прогнозирования и передает их в модуль интеллектуальной поддержки принятия решений по организации эвакуации.

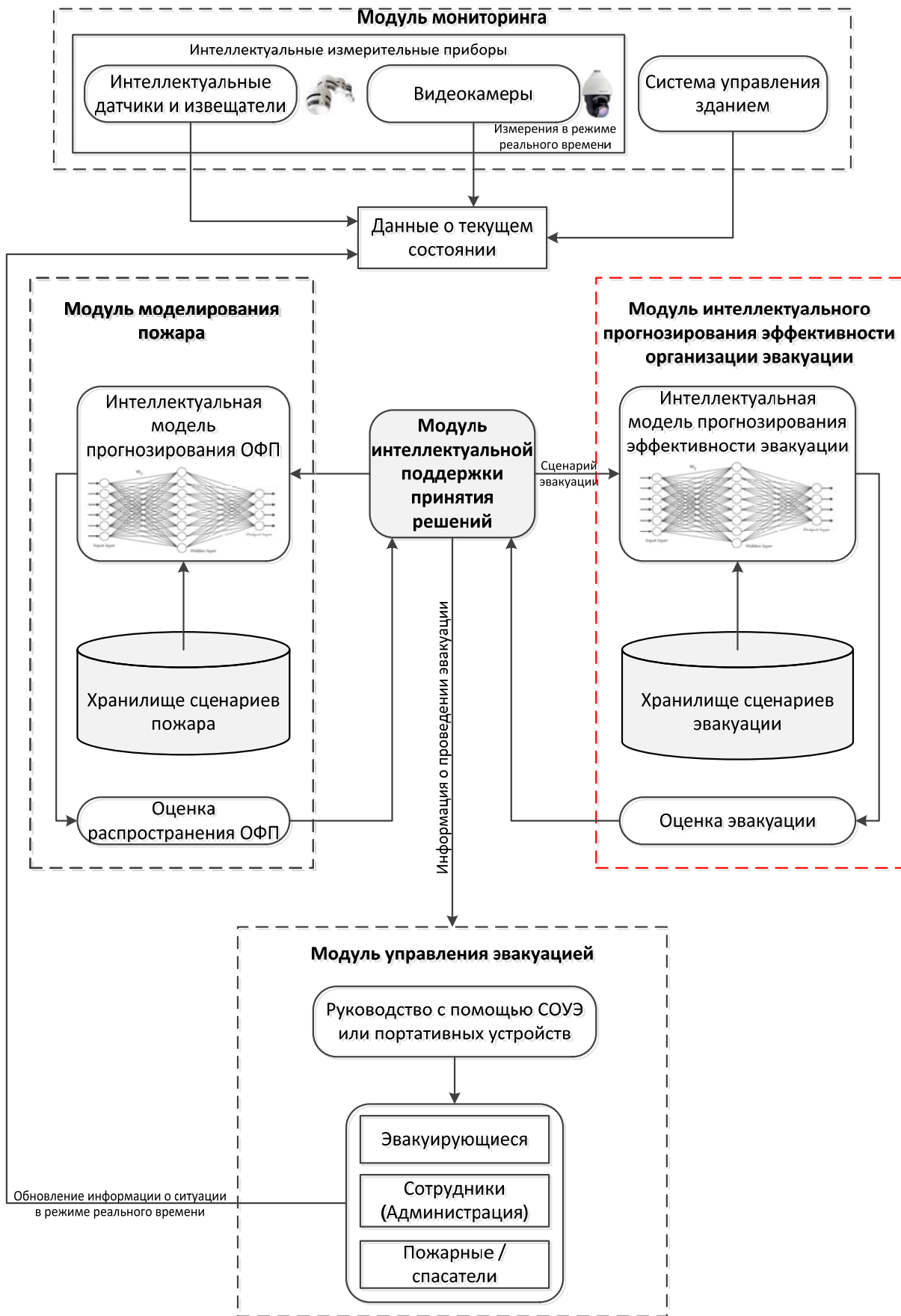


Рис. Структурная схема системы интеллектуального управления эвакуацией

Модуль моделирования пожара.

По аналогии с предлагаемой в работах [13, 14] системой интеллектуального прогнозирования эффективности организации эвакуации, подобный подход может быть применен и для интеллектуального прогнозирования распространения ОФП. В связи с тем, что получение большого набора данных в ходе экспериментов требует значительных затрат, применение существующих инструментов моделирования пожара, использующих полевые и зонные модели, такие как FDS, PyroSim и др., может решить данную проблему. Моделирование различных сценариев развития пожара в здании может использоваться для создания набора данных, связанных с динамикой пожара, для обучения модели интеллектуального прогнозирования развития пожара [16]. Результаты моделирования могут позволить оперативно спрогнозировать данные о распространении огня и скорости его распространения, определять начальное местоположение пожара, скорость распространения ОФП.

В зависимости от типа входных данных датчиков и желаемых выходных данных могут использоваться различные алгоритмы искусственного интеллекта. Например, для входных данных изображений и/или видео подходят сверточные нейронные сети [17].

Модуль интеллектуальной поддержки принятия решений по организации эвакуации.

В основе работы модуля лежит система искусственного интеллекта, которая обучается на основе данных хранилища сценариев пожара и эвакуации. Во время реального пожара собираются данные с датчиков о динамике пожара, местонахождении людей и состоянии эвакуационных выходов. На основе ранее обученных моделей формируются оперативные прогнозы. На основе этих прогнозов модуль интеллектуальной поддержки принятия решений формирует оптимальный маршрут эвакуации и передает решение в модуль управления эвакуацией.

Модуль управления эвакуацией.

Модуль управления эвакуацией получает результаты работы модуля интеллектуальной поддержки принятия решений и преобразует их в рекомендации, которые могут быть направлены трем различным группам потенциальных пользователей. Они включают в себя выбор маршрута, время движения и цель (местоположение цели). Информация может доводиться через СОУЭ, выводиться на мобильные устройства или другие технологии отображения информации в зависимости от группы пользователей (сотрудники или администрация здания, спасатели и эвакуирующиеся).

Некоторые пользователи могут обеспечить обратную связь/ввод данных в систему. Например, пожарные могут указать лестницу, которую они будут использовать для входа, и пометить ее как недоступную для выхода людей (или с пониженной пропускной способностью) до их прибытия. Это позволит скорректировать исходные данные (о состоянии эвакуационных выходов) с целью оптимизации маршрутов эвакуации.

Заключение

Анализ крупных и резонансных пожаров на объектах с массовым пребыванием людей, произошедших в последние годы, показывает, что отсутствие системы информационной поддержки эвакуации в режиме реального времени в условиях динамически меняющейся ситуации не позволяет обеспечить в полной мере безопасность посетителей.

Планирование и определение оптимальных путей эвакуации в режиме реального времени при динамически меняющейся ситуации имеет большое значение для безопасности людей в общественных зданиях. Современные методы имитационного моделирования могут проводить анализ возможных сценариев эвакуации, а затем обеспечивать поддержку принятия решений [18]. Однако эффективные подходы к планированию путей эвакуации для лиц, принимающих решения, по-прежнему сталкиваются с проблемами анализа в реальном времени при меняющейся ситуации. Запуск имитационных моделей может быть достаточно дорогим с точки зрения вычислительного времени. Это особенно актуально в случае

комплексного принятия решений, которое само по себе требует вычислительного времени. Предлагаемый подход применения технологий искусственного интеллекта на основе данных, полученных из имитационных моделей, предлагает компромисс между точностью и оперативностью прогнозирования эффективности решений. Результаты испытаний показали, что предлагаемый подход работает в 8–10 раз быстрее, чем существующее программное обеспечение и традиционные алгоритмы моделирования и поиска оптимального решения по выбору путей эвакуации.

Внедрение предлагаемой системы интеллектуального управления эвакуацией потенциально позволит оптимизировать время эвакуации и тем самым снизить количество пострадавших от пожаров в зданиях с массовым пребыванием людей.

Список источников

1. Присадков В.И., Мушлакова С.В., Фадеев В.Е. К вопросу обеспечения пожарной безопасности торгово-развлекательных центров // *Современные проблемы гражданской защиты*. 2020. № 1 (34). С. 49–59. EDN LHTQQR.
2. Сазонова С.А., Звягинцева А.В., Осипов А.А. Моделирование сценариев развития пожара в торговом развлекательном центре // *Моделирование систем и процессов*. 2021. Т. 14. № 3. С. 50–59. DOI: 10.12737/2219-0767-2021-14-3-50-59. EDN YAQFWT.
3. Шихалев Д.В. Об одном способе управления условием безопасности людей при моделировании эвакуации // *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2021. Т. 9. № 2 (33). DOI: 10.26102/2310-6018/2021.33.2.025. EDN AMDEEG.
4. Мельников Г.О., Турсенев С.А. Интеграция технологии искусственного интеллекта для повышения эффективности эвакуации людей при пожаре // *Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты)*. 2023. № 4 (48). С. 30–36. DOI: 10.61260/2307-7476-2024-2023-4-30-36. EDN DDHLPZ.
5. Коткова Е.А. Модель нейронной сети для прогнозирования предэвакуационного поведения людей при пожаре // *Национальная безопасность и стратегическое планирование*. 2022. № 2 (38). С. 66–72. DOI: 10.37468/2307-1400-2022-2-66-72. EDN UBIKMZ.
6. Jiang H. Mobile fire evacuation system for large public buildings based on artificial intelligence and IoT // *IEEE Access*. 2019. Vol. 7. P. 64101–64109. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2915241.
7. Alqahtani A., Alsubai S., Bhatia M. Applied artificial intelligence framework for smart evacuation in industrial disasters // *Applied Intelligence*. 2024. P. 1–16. DOI: 10.1007/s10489-024-05550-7.
8. Intelligent evacuation management systems: A review / A.M. Ibrahim [et al.] // *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST)*. 2016. Vol. 7. № 3. P. 1–27. DOI: 10.1145/2842630.
9. Шихалев Д.В., Корепанов В.О. Мониторинг распределения людей в здании для задачи управления эвакуацией. Часть 1 // *Технологии техносферной безопасности*. 2019. № 1 (83). С. 68–77. DOI: 10.25257/TTS.2019.1.83.68-77. EDN ZCTHXF.
10. Колодкин В.М., Варламов Д.В. Особенности социотехнической системы спасения людей при пожаре в общественном здании // *Технологии техносферной безопасности*. 2019. № 1 (83). С. 101–112. DOI: 10.25257/TTS.2019.1.83.101-112. EDN EAXVEJ.
11. Ding Y., Zhang Y., Huang X. Intelligent emergency digital twin system for monitoring building fire evacuation // *Journal of Building Engineering*. 2023. Vol. 77. P. 107416. DOI: 10.1016/j.jobbe.2023.107416.
12. BIM integrated smart monitoring technique for building fire prevention and disaster relief / M.Y. Cheng [et al.] // *Automation in Construction*. 2017. Vol. 84. P. 14–30. DOI: 10.1016/j.autcon.2017.08.027.
13. Коткова Е.А., Матвеев А.В. Методика интеллектуального прогнозирования эффективности управления эвакуацией людей из общественных зданий // *Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России»*. 2021. № 4. С. 107–120. EDN PLARHX.

14. Система прогнозирования эффективности эвакуации из зданий с использованием нейронных сетей «Evoneural»: св-во о гос. рег. программы для ЭВМ № 2022611075. Рос. Федерация. № 2022610416: заявл. 13.01.2022: опубли. 19.01.2022 / Е.А. Коткова, А.В. Матвеев; заявитель С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России. EDN: XPWWGT.

15. Bluetooth portal based system to measure the performance of building emergency evacuation plans and drills / V. Astarita [et al.] // IET Intelligent Transport Systems. 2018. Vol. 12. № 4. P. 294–300. DOI: 10.1049/iet-its.2017.0219.

16. Калачин С.В. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении методами машинного обучения // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 3. С. 48–54. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-3-48-54. EDN SZUBRC.

17. Богуш Р.П., Захарова И.Ю. Алгоритм сопровождения людей на видеопоследовательностях с использованием свёрточных нейронных сетей для видеонаблюдения внутри помещений // Компьютерная оптика. 2020. Т. 44. № 1. С. 109–116. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-565. EDN NWRYS.

18. Имитационное моделирование и критерии решений по противопожарной защите общественных зданий / В.И. Присадков [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2023. Т. 32. № 4. С. 5–14. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.04.5-14. EDN JBLZTA.

References

1. Prasadkov V.I., Muslakova S.V., Fadeev V.E. K voprosu obespecheniya pozharnoj bezopasnosti torgovo-razvlekatel'nyh centrov // Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity. 2020. № 1 (34). S. 49–59. EDN LHTQQR.

2. Sazonova S.A., Zvyaginceva A.V., Osipov A.A. Modelirovanie scenarijev razvitiya pozhara v torgovom razvlekatel'nom centre // Modelirovanie sistem i processov. 2021. Т. 14. № 3. S. 50–59. DOI: 10.12737/2219-0767-2021-14-3-50-59. EDN YAQFWT.

3. Shihalev D.V. Ob odnom sposobe upravleniya usloviem bezopasnosti lyudej pri modelirovanii evakuacii // Modelirovanie, optimizaciya i informacionnye tekhnologii. 2021. Т. 9. № 2 (33). DOI: 10.26102/2310-6018/2021.33.2.025. EDN AMDEEG.

4. Mel'nikov G.O., Tursenev S.A. Integraciya tekhnologii iskusstvennogo intellekta dlya povysheniya effektivnosti evakuacii lyudej pri pozhare // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty). 2023. № 4 (48). S. 30–36. DOI: 10.61260/2307-7476-2024-2023-4-30-36. EDN DDHLPZ.

5. Kotkova E.A. Model' nejronnoj seti dlya prognozirovaniya predevakuacionnogo povedeniya lyudej pri pozhare // Nacional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie. 2022. № 2 (38). S. 66–72. DOI: 10.37468/2307-1400-2022-2-66-72. EDN UBIKMZ.

6. Jiang H. Mobile fire evacuation system for large public buildings based on artificial intelligence and IoT // IEEE Access. 2019. Vol. 7. P. 64101–64109. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2915241.

7. Alqahtani A., Alsubai S., Bhatia M. Applied artificial intelligence framework for smart evacuation in industrial disasters // Applied Intelligence. 2024. P. 1–16. DOI: 10.1007/s10489-024-05550-7.

8. Intelligent evacuation management systems: A review / A.M. Ibrahim [et al.] // ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST). 2016. Vol. 7. № 3. P. 1–27. DOI: 10.1145/2842630.

9. Shihalev D.V., Korepanov V.O. Monitoring raspredeleniya lyudej v zdanii dlya zadachi upravleniya evakuaciej. Chast' 1 // Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti. 2019. № 1 (83). S. 68–77. DOI: 10.25257/TTS.2019.1.83.68-77. EDN ZCTHFX.

10. Kolodkin V.M., Varlamov D.V. Osobennosti sociotekhnicheskoy sistemy spaseniya lyudej pri pozhare v obshchestvennom zdanii // Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti. 2019. № 1 (83). S. 101–112. DOI: 10.25257/TTS.2019.1.83.101-112. EDN EAXVEJ.

11. Ding Y., Zhang Y., Huang X. Intelligent emergency digital twin system for monitoring building fire evacuation // *Journal of Building Engineering*. 2023. Vol. 77. P. 107416. DOI: 10.1016/j.jobe.2023.107416.
12. BIM integrated smart monitoring technique for building fire prevention and disaster relief / M.Y. Cheng [et al.] // *Automation in Construction*. 2017. Vol. 84. P. 14–30. DOI: 10.1016/j.autcon.2017.08.027.
13. Kotkova E.A., Matveev A.V. Metodika intellektual'nogo prognozirovaniya effektivnosti upravleniya evakuaciej lyudej iz obshchestvennyh zdaniy // *Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii»*. 2021. № 4. S. 107–120. EDN PLARHX.
14. Sistema prognozirovaniya effektivnosti evakuacii iz zdaniy s ispol'zovaniem nejronnyh setej «Evoneural»: sv-vo o gos. reg. programmy dlya EVM № 2022611075. Ros. Federaciya. № 2022610416: zayavl. 13.01.2022: opubl. 19.01.2022 / E.A. Kotkova, A.V. Matveev; zayavitel' S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii. EDN: XPWWGT.
15. Bluetooth portal based system to measure the performance of building emergency evacuation plans and drills / V. Astarita [et al.] // *IET Intelligent Transport Systems*. 2018. Vol. 12. № 4. P. 294–300. DOI: 10.1049/iet-its.2017.0219.
16. Kalachin S.V. Prognozirovanie opasnyh faktorov pozhara v pomeshchenii metodami mashinnogo obucheniya // *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2020. № 3. S. 48–54. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-3-48-54. EDN SZUBRC.
17. Bogush R.P., Zaharova I.Yu. Algoritm soprovozhdeniya lyudej na videoposledovatel'nostyah s ispol'zovaniem svyortochnyh nejronnyh setej dlya videonablyudeniya vnutri pomeshchenij // *Komp'yuternaya optika*. 2020. T. 44. № 1. S. 109–116. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-565. EDN NWRYSK.
18. Imitacionnoe modelirovanie i kriterii reshenij po protivopozharnoj zashchite obshchestvennyh zdaniy / V.I. Prasadkov [i dr.] // *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2023. T. 32. № 4. S. 5–14. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.04.5-14. EDN JBLZTA.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 16.03.2024; одобрена после рецензирования: 17.05.2024; принята к публикации: 28.05.2024

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 16.03.2024; approved after review: 17.05.2024; accepted for publication: 28.05.2024

Сведения об авторах:

Коткова Елизавета Александровна, преподаватель кафедры прикладной математики и информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: kotkovaelizaveta23@gmail.com, SPIN-код: 4460-3894

Матвеев Александр Владимирович, заведующий кафедрой прикладной математики и информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: fcvega_10@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0778-3218>, SPIN-код: 5778-8832

Information about the authors:

Kotkova Elizaveta A., lecturer of the department of applied mathematics and information technologies of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: kotkovaelizaveta23@gmail.com, SPIN: 4460-3894

Matveev Alexander V., head of the department of applied mathematics and information technologies of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: fcvega_10@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0778-3218>, SPIN: 5778-8832