

Волновой алгоритм определения оптимального маршрута движения газодымозащитников в зданиях при пожарах и задымлениях

© Е.В. Степанов^{1✉}, Д.В. Тараканов², Н.Г. Топольский¹

¹Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

²Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (Россия, 153040, Ивановская область, г. Иваново, пр-т Строителей, 33)

АННОТАЦИЯ

Введение. Одной из основных задач информационно-аналитической поддержки газодымозащитников является маршрутизация их передвижения в здании. Технические возможности в виде развитых систем дистанционного мониторинга обеспечивают руководителя тушения пожара необходимой информацией о месте первоначального возникновения пожара, а существующий математический аппарат позволяет осуществить прогноз параметров его развития. Цель данной работы — разработка алгоритма определения оптимального маршрута движения газодымозащитников в здании для поддержки принятия управленческих решений на пожаре. Для достижения поставленной цели необходимо разработать теоретическую основу и произвести ее программную реализацию.

Теоретические основы. В работе для моделирования движения газодымозащитников в здании использована теория клеточных автоматов. Применен клеточный автомат с окрестностью Мура. Для мониторинга параметров пожара использованы дифференциальные уравнения Колмогорова.

Результаты и обсуждения. Для определения оптимального пути в здании разработан модифицированный волновой алгоритм. Использовано разработанное программное средство, позволяющее моделировать движение газодымозащитников. При выполнении математического моделирования применяются коэффициенты важности, учитывающие приоритетное значение параметров работы газодымозащитников при выполнении разных видов работ.

Выводы. Результаты исследования дают основания считать, что разработанный алгоритм позволяет выявить оптимальный путь, тем самым давая лицу, принимающему решение о направлении звеньев газодымозащитной службы к месту проведения работ, возможность обоснованного выбора места ввода сил и средств, а также маршрута их движения внутри здания.

Ключевые слова: оптимальный путь; клеточный автомат; информационное обеспечение; управление; мониторинг пожара

Для цитирования: Степанов Е.В., Тараканов Д.В., Топольский Н.Г. Волновой алгоритм определения оптимального маршрута движения газодымозащитников в зданиях при пожарах и задымлениях // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 3. С. 31–40. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.03.31-40

✉ Степанов Егор Владимирович, e-mail: stepanov9619@mail.ru

The wave algorithm used to determine the optimal indoor route for smoke divers in case of fire and fumigation

© Egor V. Stepanov^{1✉}, Denis V. Tarakanov², Nikolay G. Topolskiy¹

¹The State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

²Ivanovo fire and rescue Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters (Stroiteley pr., 33, Ivanovo Region, Ivanovo, 153040, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. One of the main objectives, pursued by the information analysis support extended to smoke divers, is the preparation of indoor routes. Technical capabilities, represented by advanced remote monitoring systems, provide a fire extinguishing manager with the necessary information about the point of fire origin and

mathematical tools allow to predict fire spreading characteristics. The goal of this work is to develop an algorithm for the preparation of an optimal indoor route for smoke divers to support management decisions in the event of fire. To achieve this goal, it is necessary to develop the theoretical framework and implement it in a software programme.

Theoretical foundations. The theory of cellular automata is employed in this paper to simulate the routes of smoke divers inside a building. A cellular automaton with a Moore neighborhood is applied. We use differential equations, similar to the Kolmogorov equations, to monitor the fire parameters.

Results and discussions. A modified wave algorithm was developed to determine the optimal indoor route. The software tool was applied to simulate the route of gas divers. Coefficients of importance were applied in the process of mathematical modeling; they took account of the prioritized work to be performed by smoke divers.

Conclusions. The results of the study suggest that the algorithm allows to identify the optimal itinerary, thereby enabling the decision maker, responsible for sending teams of smoke divers to the work performance location, to make a reasonable choice of the point of entry for the personnel and machinery, as well as their itinerary inside the building.

Keywords: optimal route; cellular automaton; information support; management; fire monitoring

For citation: Stepanov E.V., Tarakanov D.V., Topolskiy N.G. The wave algorithm used to determine the optimal indoor route for smoke divers in case of fire and fumigation. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(3):31-40. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.03.31-40 (rus).

✉ Egor Vladimirovich Stepanov, e-mail: stepanov9619@mail.ru

Введение

Ежегодно прямой материальный ущерб от пожаров в Российской Федерации превышает миллиарды рублей, более 8 тыс. чел. погибают на пожарах [1]. Для устойчивого социально-экономического развития страны и минимизации потерь от пожаров осуществляется совершенствование информационного обеспечения служб экстренного реагирования России. Существующие системы дистанционного мониторинга при пожарах в зданиях позволяют в режиме реального времени получать информацию о текущих параметрах мониторинга. Функционально они подразделяются: на системы противопожарной защиты объекта, системы позиционирования здания и системы телеметрии пожарных. Однако специфика тушения пожара предусматривает необходимость принятия решений для управления по прогнозным значениям. Для реализации данной функции разрабатываются системы поддержки принятия решений, позволяющие осуществлять прогноз значений параметров управления [2–11]. Целью данной работы является разработка алгоритма определения оптимального маршрута движения газодымозащитников в здании для поддержки принятия управленческих решений на пожаре. Для достижения цели исследования необходимо:

- создать теоретическую основу, позволяющую моделировать параметры, влияющие на движение газодымозащитников в здании;
- разработать алгоритм определения оптимального маршрута в здании с учетом сложившейся обстановки на месте пожара;
- произвести программную реализацию с целью дальнейшего использования в системах поддержки принятия решений на пожаре.

Теоретическая часть

Модель клеточного автомата — это дискретная математическая модель, включающая в себя совокупность ячеек, каждая из которых на рассматриваемый дискретный момент времени может находиться в одном из многих состояний [12]. В работе для прогноза информационных ресурсов использована модель мониторинга пожара в здании [11], представляющая собой клеточный автомат. Данная модель предусматривает декомпозицию общей площади здания на зоны контроля, в которых осуществляется дистанционный мониторинг одновременно нескольких параметров пожара. Совокупность взаимодействующих зон и параметров мониторинга задана системой дифференциальных уравнений, аналогичной модели «гибели-размножения» как частного случая записи системы уравнений Колмогорова. Аналитическое решение относительно параметра мониторинга пожара p определяется по формулам [11]:

- начальная зона контроля:

$$\Delta p_0(\tau) = p_0(\tau) - p^0 = p^* [1 - \exp(-Z_0(\tau))]; \quad (1)$$

- смежная зона контроля:

$$\Delta p_j(\tau) = p_j(\tau) - p^0 = \frac{\sum_{i=1, \dots, s} n_{i,j} p_i(\tau)}{\sum_{i=1, \dots, s} n_{i,j}} \times \quad (2)$$

$$\times \left[1 - \exp \left(-Z_j(\tau) \sum_{i=1, \dots, s} n_{i,j} \right) \right];$$

где $p(\tau)$ — параметр мониторинга пожара;

p^0 — начальное значение параметра мониторинга пожара;

p^* — пороговое значение параметра мониторинга пожара;

$n_{i,j}$ — коэффициент обмена между зонами контроля с номерами i и j ;

s — количество зон контроля в системе мониторинга;

Z_j — интенсивность динамики пожара мониторинга в зоне с номером j .

Моделирование динамики параметров пожара во всех зонах контроля описывается системой уравнений [11]:

$$\begin{cases} \frac{dp_0}{dt} = Z_0(\tau)p^* - Z_0(\tau)p_0; \\ \frac{dp_1}{dt} = n_{0,1}Z_1(\tau)p_0 - n_{0,1}Z_1(\tau)p_1; \\ \dots \\ \frac{dp_k}{dt} = n_{(k-1),k}Z_k(\tau)p_{k-1} - n_{(k-1),k}Z_k(\tau)p_k, \end{cases} \quad (3)$$

где p_j — значение параметра пожара в зоне контроля с номером j ;

τ — время.

Математические зависимости позволяют получить значения параметров пожара в каждой зоне контроля системы мониторинга для каждого дискретного момента времени. Для этого строится сетка клеточного автомата и при запуске алгоритма

расчета на момент времени τ последовательно определяется значение параметра пожара для клетки, начиная с номера 0 и до номера N , затем для момента времени $\tau + \Delta\tau$ по значениям параметров на момент времени τ определяют следующую группу значений и т.д. Работа клеточного автомата обеспечивает наполнение базы данных для дальнейшей оценки тактических возможностей газодымозащитников.

В исследовании [11] для определения возможных маршрутов использована сетевая модель здания. Пример результата оценки маршрутов представлен на рис. 1.

Однако сетевое представление здания имеет ряд недостатков, главным из которых является отсутствие возможности представления реального маршрута следования газодымозащитников при больших площадях отдельных помещений. Для решения данной проблемы разработана пространственная модель управления действиями поисково-спасательных подразделений при пожарах и задымлении на основе клеточного автомата [13]. На данном этапе исследования модель может быть применена для тех случаев, когда техническое оснащение газодымозащитников (использование тепловизоров) позволяет передвигаться в здании без использования специальных способов движения (правило левой или правой руки, алгоритмы «отсек» и «дверь» [14]).

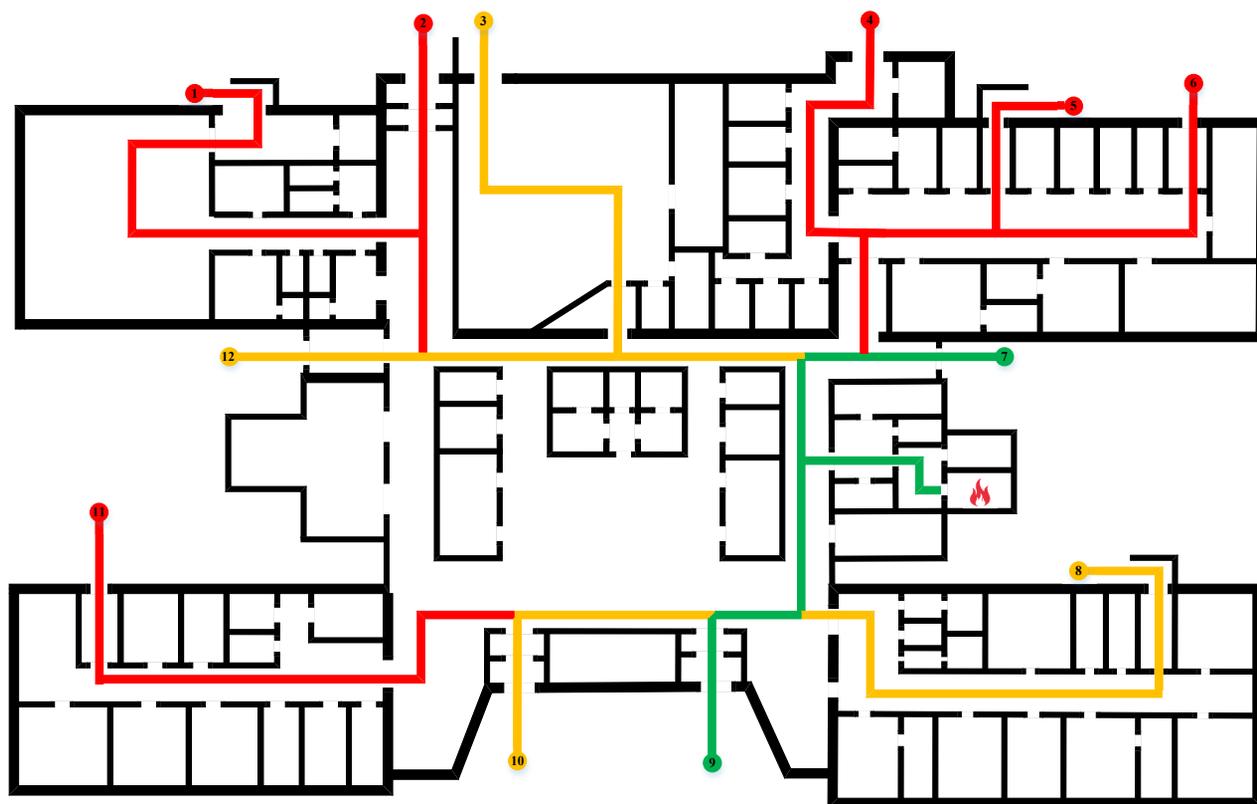


Рис. 1. Оценка маршрутов движения пожарных с применением сетевой модели здания [11]

Fig. 1. Firemen's routes assessed by the network model of the building [11]

Для определения прогнозных значений потребления дыхательных ресурсов и наполнения баз данных предельно допустимых и прогнозных значений использована дискретная модель [15] двух случайных величин, представленных переменными V — ресурс воздуха и T — ресурс времени. Атрибутами метода являются счетные множества:

$$\langle R, R_{an}, \langle V; T \rangle \rangle, \quad (4)$$

где R — множество элементарных работ с элементами $\langle R_1; R_2; \dots; R_n \rangle$;

R_{an} — множество случайных равномерно распределенных чисел, $R_{an} \in (0; 1)$;

$\langle V; T \rangle$ — множество дискретных значений исследуемых случайных величин.

Данный подход подтверждает актуальность его использования широким применением в теории управления [16–24].

Алгоритм нахождения оптимального пути

Для исключения указанных выше недостатков сетевого представления маршрута движения газодымозащитников в здании при определении оптимальности маршрута следования авторами статьи разработан модифицированный волновой алгоритм, выполнена его программная реализация.

Пример решения задачи. Планировка этажа в разработанном программном средстве представлена на рис. 2. При моделировании имитируется поступление сигнала от адресной системы пожарной сигнализации. Местоположение очага пожара для информативности отображается красной клеткой с желтой окрестностью. Местоположение пострадавшего оценивается по информации от систем позиционирования здания (при ее наличии) и также отображается на плане этажа.

Для определения прогнозных значений параметров пожара и наполнения базы данных строится

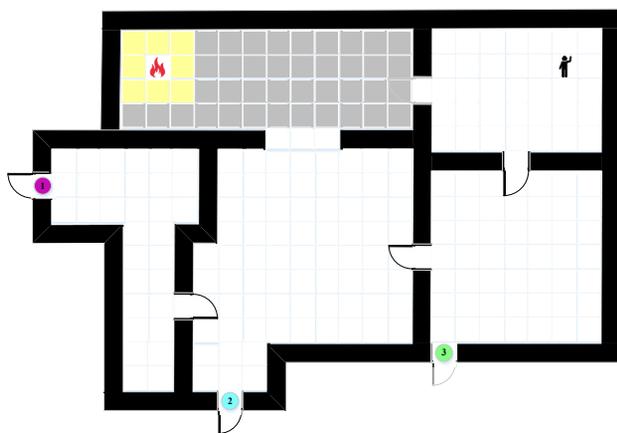


Рис. 2. Планировка этажа здания

Fig. 2. The floor plan of the building

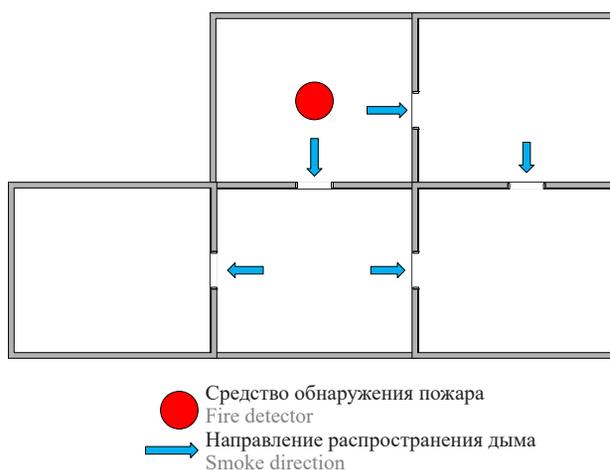


Рис. 3. Иллюстрация схемы для расчета

Fig. 3. The illustration of the computational pattern

клеточный автомат, отображающий планировку здания (рис. 3).

Полученные данные расчета заносятся в базу данных прогнозных значений и используются при дальнейшем анализе маршрута в программном средстве.

Вид выполняемых работ при моделировании устанавливается в автоматическом режиме. Перед началом расчета определяются коэффициенты важности для следующих показателей:

- протяженность маршрута движения (для клеточного автомата учитываются затраты на переход по различным направлениям);
- скорость движения звена газодымозащитной службы (ГДЗС) на маршруте (учитывается видимость на участке маршрута);
- потребление дыхательных ресурсов (учитывается вид выполняемых работ, что, в свою очередь, определяет допустимое время пребывания пожарных внутри здания).

После запуска алгоритма для каждого входа моделируется процесс распространения волны продвижения газодымозащитников. Для окрестности определяется показатель затрат в соответствии с коэффициентами важности. После расчета данного показателя для каждой клетки из окрестности результат сохраняется, и производится шаг. Затем для момента времени $\tau + \Delta t$ определяется следующая группа значений и т.д. (рис. 4).

На экране представляется многослойная структура. Расчет производится для каждого из входов на собственном слое для сохранения результатов и разделения значений при их последующем использовании. Алгоритм заканчивает свою циклическую работу по достижении необходимого объекта (пострадавший, очаг пожара, другое звено ГДЗС). При этом оптимальный путь рассчитывается из соображений минимизации затрат в соответствии с

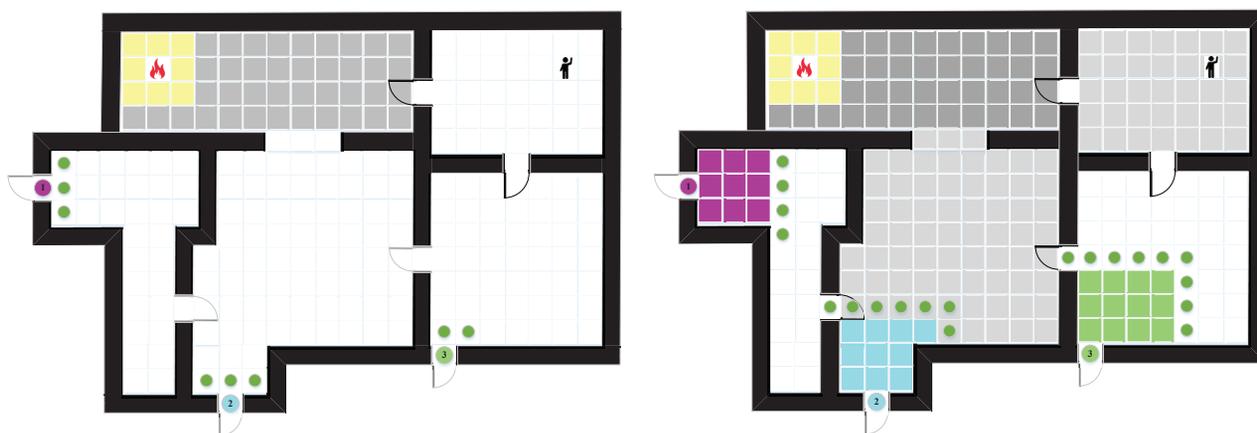


Рис. 4. Работа волнового алгоритма: *a* — определение окрестности; *b* — процесс распространения волны продвижения газодымозащитников

Fig. 4. The operation of the wave algorithm: *a* — neighborhood identification; *b* — wave propagation process

эффицентами важности. Для данного моделирования наилучшим входом для ввода сил и средств является вход 3. Наилучший маршрут представлен на рис. 5. Для случаев, когда дыхательных ресурсов недостаточно для достижения цели поиска, формируется соответствующий отчет.

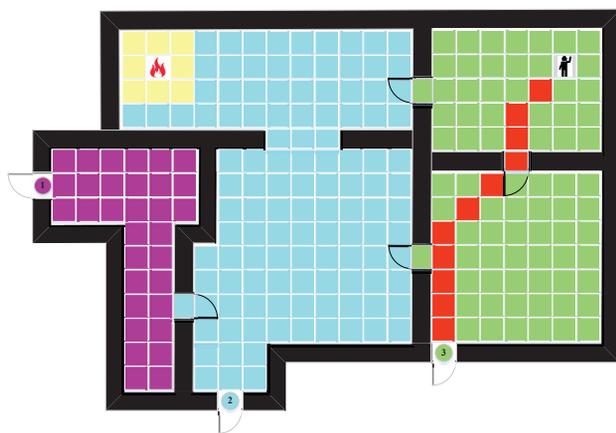


Рис. 5. Построение оптимального маршрута

Fig. 5. Optimal route generation

Для определения наилучшего маршрута выхода из здания производится расчет волновым алгоритмом из точки, в которой в данный момент находится газодымозащитник. При расчете учитывается дополнительная нагрузка в зависимости от состояния пострадавшего при его спасении. Графическое представление алгоритма определения оптимального маршрута представлено на рис. 7.

Для случаев, когда условия видимости и техническое оснащение не позволяют продвигаться по оптимальному маршруту (риск дезориентации), газодымозащитники продвигаются вдоль стен [14]. Для применения алгоритма в данной ситуации необходима его модификация. В данном случае расчет проводится для клеток, прилегающих к стенам. По итогу расчета формируется отчет о наилучшем месте ввода сил и средств в здание и выборе правой или левой руки обхода. Пример расчета для второго выхода представлен на рис. 8.

Дальнейшее исследование направлено на программную реализацию алгоритмов обхода помеще-

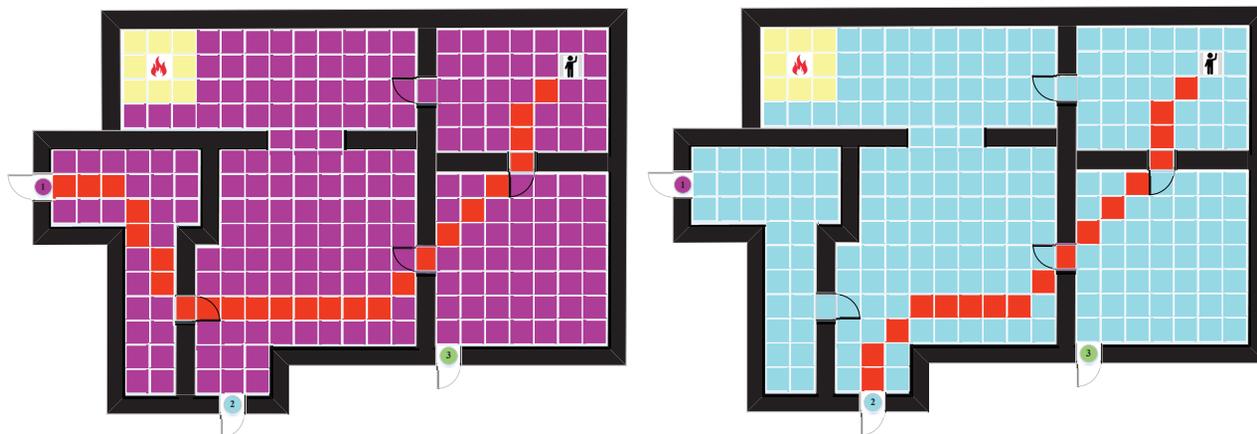


Рис. 6. Построение оптимального маршрута для разных входов в здание: *a* — вход 1; *b* — вход 2

Fig. 6. Generation of optimal routes for different entrances: *a* — Entrance 1; *b* — Entrance 2



Рис. 7. Блок-схема алгоритма определения оптимального маршрута

Fig. 7. The block diagram of the optimal route generation algorithm

6. *Minkin D.Yu., Sineshchuk Yu.I., Terekhin S.N., Yusherov K.S.* A method of constructing a structured database of the typical objects of protection on the basis of cluster analysis // *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 2017. Vol. 95. Issue 20. Pp. 5331–5339.
7. *Lauras M., Benaben F., Truptil S., Charles A.* Event-cloud platform to support decision-making in emergency management // *Information Systems Frontiers*. 2015. Vol. 17. Issue 4. Pp. 857–869. DOI: 10.1007/s10796-013-9475-0
8. *Sanae Khali Issa, Abdellah Azmani, Benaissa Amami.* Vulnerability analysis of fire spreading in a building using fuzzy logic and its integration in a decision support system // *International Journal of Computer Applications*. 2013. Vol. 76. Issue 6. Pp. 48–53. DOI: 10.5120/13255-0732
9. *Hao Cheng, Hadjisophocleous G.V.* The modeling of fire spread in buildings by Bayesian network // *Fire Safety Journal*. 2009. Vol. 44. Issue 6. Pp. 901–908. DOI: 10.1016/j.firesaf.2009.05.005
10. *Mehdi Ben Lazreg, Jaziar Radianti, Ole-Christoffer Granmo.* Smart rescue: architecture for fire crisis assessment and prediction // *Proceedings of the 12 International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management (ISCRAM 2015) (Kristiansand, Norway, May 24–27, 2015)*. 7. URL: <http://iscram2015.uia.no/wp-content/uploads/2015/05/1> (дата обращения: 01.02.2021).
11. *Топольский Н.Г., Тараканов Д.В., Баканов М.О.* Многокритериальная модель мониторинга пожара в здании для управления пожарно-спасательными подразделениями. Пожаро-взрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2018. Vol. 27(5). Pp. 26–33. DOI: 10.18322/rvb.2018.27.5.26-33
12. *Малинецкий Г.Г., Степанцов М.Е.* Применение клеточных автоматов для моделирования движения группы людей // *Журнал вычислительной математики и математической физики*. 2004. Т. 44. № 11. С. 2094–2098.
13. *Топольский Н.Г., Тараканов Д.В., Степанов Е.В., Багажков И.В.* Пространственная модель управления действиями поисково-спасательных подразделений при пожарах и задымлении // *Современные проблемы гражданской защиты/Modern problems of civil protection*. 2020. Т. 36. № 3. С. 47–52. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43956593>.
14. *Кабелев Н.А.* Пожарная разведка: тактика, стратегия и культура. Екатеринбург : Калан, 2016. 348 с.
15. *Гринченко Б.Б.* Вероятностная оценка необходимого запаса воздуха в дыхательных аппаратах при работе на пожаре // *Технологии техносферной безопасности*. 2017. № 4 (74). С. 155–162. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32847853>
16. *Присадков В.И., Мусликова С.В., Хатунцева С.Ю., Костерин И.В., Фадеев В.Е., Шамаев А.М.* Расчетные оценки эффективности тушения пожара в очаге внутренним противопожарным водопроводом // *Пожарная безопасность/Fire Safety*. 2017. № 1. С. 49–53.
17. *Теребнев В.В.* Расчет параметров развития и тушения пожаров. Екатеринбург : Калан, 2011. 460 с.
18. *Lee E.W.M.* Application of artificial neural network to fire safety engineering // *Handbook on Decision Making. Intelligent Systems Reference Library / L.C. Jain, C.P. Lim (eds.)*. Berlin, Heidelberg : Springer, 2010. Vol. 4. Pp. 369–395. DOI: 10.1007/978-3-642-13639-9_15
19. *Lee E.W.M., Lau P.C., Yuen K.K.Y.* Application of artificial neural network to building compartment design for fire safety // *Intelligent Data Engineering and Automated Learning – IDEAL 2006. Lecture Notes in Computer Science / Corchado E., Yin H., Botti V., Fyfe C. (eds.)*. Berlin, Heidelberg : Springer, 2006. Vol. 4224. Pp. 265–274. DOI: 10.1007/11875581_32
20. *Mendonça D., Beroggi G.E.G., van Gent D., Wallace W.A.* Designing gaming simulations for the assessment of group decision support systems in emergency response // *Safety Science*. 2006. Vol. 44. Issue 6. Pp. 523–535. DOI: 10.1016/j.ssci.2005.12.006
21. *Joo-Young Lee, Joonhee Park, Huiju Park, Aitor Coca, Jung-Hyun Kim, Nigel A.S.T. et al.* What do firefighters desire from the next generation of personal protective equipment? Outcomes from an international survey // *Industrial Health*. 2015. Vol. 53. Issue 5. Pp. 434–444. DOI: 10.2486/indhealth.2015-0033
22. *Scholz M., Gordon D., Ramirez L., Sigg S., Dyrks T., Beigl M.* A concept for support of firefighter frontline communication // *Future Internet*. 2013. Vol. 5. Issue 2. Pp. 113–127. DOI: 10.3390/fi5020113
23. *Markus Scholz, Dawud Gordon, Leonardo Ramirez, Stephan Sigg, Tobias Dyrks, Michael Beigl.* A concept for support of firefighter frontline communication // *Future Internet*. 2013. Vol. 5. Issue 2. Pp. 113–127. DOI: 10.3390/fi5020113

24. Xing Zhi-xiang, Gao Wen-li, Zhao Xiao-fang, Zhu De-zhi. Design and implementation of city fire rescue decision support system // *Procedia Engineering*. 2013. Vol. 52. Pp. 483–488. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.02.172.

REFERENCES

1. Polexin P.V., Chebuxanov M.A., Dolakov T.B., Kozlov A.A., Matyushin Yu.A., Firsov A.G. et al. *Fires and fire safety in 2019: A statistical compilation*. Moscow, VNIPO Publ., 2020; 80. (rus).
2. Terebnev V.V., Semenov A.O., Smirnov V.A., Tarakanov D.V. Analysis and support solutions that arise when putting out large fires. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2010; 19(9):51-57. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16902937> (rus).
3. Terebnev V.V., Semenov A.O., Tarakanov D.V. Decision making theoretical basis of management on fire. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2012; 21(10):14-17. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18059941> (rus).
4. Topolskiy N.G., Khabibulin R.Sh., Ryzhenko A.A., Bedilo M.V. *Adaptive system of support of activities of crisis management centers : monograph*. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., Moscow, 2014; 151. (rus).
5. Khorram-Manesh A., Berlin J., Carlström E. Two validated ways of improving the ability of decision-making in emergencies; results from a literature review. *Bulletin of Emergency and Trauma*. 2016; 4(4):186-196.
6. Minkin D.Yu., Sineshchuk Yu.I., Terekhin S.N., Yuserov K.S. A method of constructing a structured database of the typical objects of protection on the basis of cluster analysis. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 2017; 95(20):5331-5339.
7. Lauras M., Benaben F., Truptil S., Charles A. Event-cloud platform to support decision-making in emergency management. *Information Systems Frontiers*. 2015; 17(4):857-869. DOI: 10.1007/s10796-013-9475-0
8. Sanae Khali Issa, Abdellah Azmani, Benaissa Amami. Vulnerability analysis of fire spreading in a building using fuzzy logic and its integration in a decision support system. *International Journal of Computer Applications*. 2013; 76(6):48-53. DOI: 10.5120/13255-0732
9. Hao Cheng, George V. Hadjisophocleous. The modeling of fire spread in buildings by Bayesian network. *Fire Safety Journal*. 2009; 44(6):901-908. DOI: 10.1016/j.firesaf.2009.05.005
10. Mehdi Ben Lazreg, Jaziar Radianti, Ole-Christoffer Granmo. Smart rescue: architecture for fire crisis assessment and prediction. *Proceedings of the 12th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management — ISCRAM 2015. Kristiansand, Norway, May 24-27. 2015*; 7. URL: <http://iscram2015.uia.no/wp-content/uploads/2015/05/10-1.pdf> (accessed: February 1, 2021).
11. Topolskiy N.G., Tarakanov D.V., Bakanov M.O. Multi-criteria model for monitoring of fire in the building for managing fire-rescue subdivisions. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2018; 27(5):26-33. DOI: 10.18322/pvb.2018.27.5.26-33 (rus).
12. Malineczkij G.G., Stepancov M.E. Application of cellular automata for modeling the movement of a group of people. *Computational Mathematics and Mathematical Physics*. 2004; 44(11):2094-2098. (rus).
13. Topolskiy N.G., Tarakanov D.V., Stepanov E.V., Bagazhkov I.V. Spatial model for managing the actions of search and rescue units during fires and smoke. *Modern problems of civil protection*. 2020; 36(3):47-52. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43956593> (rus).
14. Kabelev N.A. *Fire intelligence: tactics, strategy, and culture*. Ekaterinburg, Kalan Publ., 2016; 348. (rus).
15. Grinchenko B.B. Probability estimation an required supply of air breathing apparatus at working on fire. *Technology of Technosphere Safety*. 2017; 4(74):155-162. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32847853> (rus).
16. Prasadkov V.I., Muslakova S.V., Hatuntseva S.Yu., Kosterin I.V., Fadeev V.E., Shamaev A.M. Design assessment of the efficiency of fire fighting in the seat by the in-building fire pipeline. *Pozharnaya bezopasnost/Fire Safety*. 2017; 1:49-53. (rus).
17. Terebnev V.V. *Calculation of fire development and extinguishing parameters. Methodology*. Examples. Tasks. Yekaterinburg, Kalan Publ., 2011; 460. (rus).
18. Lee E.W.M. Application of artificial neural network to fire safety engineering. *Handbook on Decision Making. Intelligent Systems Reference Library*; L.C. Jain, C.P. Lim (eds.). Berlin, Heidelberg, Springer, 2010; 4:369-395. DOI: 10.1007/978-3-642-13639-9_15

19. Lee E.W.M., Lau P.C., Yuen K.K.Y. Application of artificial neural network to building compartment design for fire safety. *Intelligent Data Engineering and Automated Learning — IDEAL 2006. Lecture Notes in Computer Science*; E. Corchad, H. Yin, V. Botti, C. Fyfe (eds.). Berlin, Heidelberg, Springer, 2006; 4224:265-274. DOI: 10.1007/11875581_32
20. Mendonça D., Beroggi G.E.G., van Gent D., Wallace W.A. Designing gaming simulations for the assessment of group decision support systems in emergency response. *Safety Science*. 2006; 44(6):523-535. DOI: 10.1016/j.ssci.2005.12.006
21. Joo-Young Lee, Joonhee Park, Huiju Park, Aitor Coca, Jung-Hyun Kim, Nigel A.S.T. et al. What do firefighters desire from the next generation of personal protective equipment? Outcomes from an international survey. *Industrial Health*, 2015; 53(5):434-444. DOI: 10.2486indhealth.2015-0033
22. Scholz M., Gordon D., Ramirez L., Sigg S., Dyrks T., Beigl M. A concept for support of firefighter frontline communication. *Future Internete*. 2013; 5(2):113-127. DOI: 10.3390/fi5020113
23. Markus Scholz, Dawud Gordon, Leonardo Ramirez, Stephan Sigg, Tobias Dyrks, Michael Beigl. A concept for support of firefighter frontline communication. *Future Internet*. 2013; 5(2):113-127. DOI: 10.3390/fi5020113
24. Xing Zhi-xiang, Gao Wen-li, Zhao Xiao-fang, Zhu De-zhi. Design and implementation of city fire rescue decision support system. *Procedia Engineering*. 2013; 52:483-488. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.02.172

Поступила 12.04.2020, после доработки 30.04.2021;

принята к публикации 14.05.2021

Received April 12, 2021; Received in revised form April 30, 2021;

Accepted May 14, 2021

Информация об авторах

СТЕПАНОВ Егор Владимирович, адъюнкт факультета подготовки научно-педагогических кадров, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Москва, Российская Федерация; РИНЦ ID: 1001434; ORCID: 0000-0002-6185-4312; e-mail: stepanov9619@mail.ru

ТАРАКАНОВ Денис Вячеславович, д-р техн. наук, профессор кафедры пожарной тактики и основ аварийно-спасательных и других неотложных работ в составе учебно-научного комплекса «Пожаротушение», Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Иваново, Российская Федерация; РИНЦ ID: 587331; ORCID: 0000-0002-5811-7397; e-mail: den-pgs@yandex.ru

ТОПОЛЬСКИЙ Николай Григорьевич, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры информационных технологий, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Москва, Российская Федерация; РИНЦ ID: 114882; ORCID: 0000-0002-0921-4764; e-mail: ntopolskii@mail.ru

Information about the authors

Egor V. STEPANOV, Student of the Post-Graduate Course, the State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Moscow, Russian Federation; ID RISC: 1001434; ORCID: 0000-0002-6185-4312; e-mail: stepanov9619@mail.ru

Denis V. TARAKANOV, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department of Fire Tactics and Fundamentals of Emergency Rescue and Other Urgent Work as Part of the Educational and Scientific Complex Fire Fighting, Ivanovo fire and rescue Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Ivanovo Region, Ivanovo, Russian Federation; ID RISC: 587331; ORCID: 0000-0002-5811-7397; e-mail: den-pgs@yandex.ru

Nikolay G. TOPOLYSKIY, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Information Technology, the State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Moscow, Russian Federation; ID RISC: 114882; ORCID: 0000-0002-0921-4764; e-mail: ntopolskii@mail.ru