

Н. Г. ТОПОЛЬСКИЙ, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры информационных технологий в составе УНК автоматизированных систем и информационных технологий, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: N.Topolskiy@academygps.ru)

Д. В. ТАРАКАНОВ, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры пожарной тактики и основ аварийно-спасательных и других неотложных работ в составе УНК "Пожаротушение", Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (Россия, 153040, г. Иваново, просп. Строителей, 33; e-mail: den-pgsm@mail.ru)

М. О. БАКАНОВ, канд. техн. наук, начальник кафедры пожарной тактики и основ аварийно-спасательных и других неотложных работ в составе УНК "Пожаротушение", Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (Россия, 153040, г. Иваново, просп. Строителей, 33; e-mail: mask-13@mail.ru)

УДК 614.842.4,614.849

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ МОНИТОРИНГА ПОЖАРА В ЗДАНИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫМИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ

Представлена многокритериальная модель мониторинга пожара в здании, предназначенная для формализованного описания процесса сбора информации об изменении значений контролируемых параметров для иерархических систем мониторинга. Рассмотрена специфика изменения параметров мониторинга пожара на основе программной реализации разработанной модели. Предложена мультипликативная модель обобщенного показателя мониторинга для зон контроля с различными по структуре и динамике параметрами мониторинга. Для реализации результатов мониторинга в системах поддержки принятия решений разработана модель теоретико-множественного анализа вариантов управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров, учитывающая важность показателей мониторинга на результирующую функцию принятия решений. Предложены направления дальнейшего развития методологической составляющей процесса моделирования мониторинга пожара в целях повышения объективности принимаемых управленческих решений и снижения влияния субъективных факторов на процесс управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров в зданиях.

Ключевые слова: система мониторинга пожара; моделирование динамики параметров; система поддержки принятия решений; теоретико-множественный анализ; варианты управления; тушение пожаров в зданиях и сооружениях.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.05.26-33

Введение

Крупный пожар является одним из наиболее опасных деструктивных событий, возникающих в процессе жизнедеятельности человечества. Ежегодно прямой материальный ущерб от пожаров в Российской Федерации измеряется миллиардами рублей, более десяти тысяч человек гибнет на пожарах [1]. Большинство крупных пожаров происходит в зданиях. Специфика процесса тушения пожара в здании определяет решающую роль действий первого прибывшего пожарно-спасательного подразделения в недопущении развития пожара до крупного. В соответствии с нормативно-правовой базой, регулирующей вопросы обеспечения пожарной безопасности в Российской Федерации, здания оборудуются

системами и средствами пожарной автоматики, которые являются основополагающими компонентами активной противопожарной защиты зданий и относятся к средствам ведения боевых действий по тушению пожаров [2, 3].

Современное состояние вопроса развития систем и средств пожарной автоматики направлено на расширение их функциональных возможностей и одновременный контроль изменения нескольких параметров пожара, что с формальных позиций теории управления сложными системами можно считать многокритериальным мониторингом пожара в здании [4]. В свою очередь, результаты мониторинга пожара имеют особое значение при принятии решений руководителем тушения пожара, особенно на начальной стадии его развития, когда он еще может

быть потушен силами и средствами первого прибывшего пожарно-спасательного подразделения [5–8].

В соответствии с концепцией единого информационного пространства результаты мониторинга пожара являются компонентой, используемой для управления службами экстренного реагирования на деструктивные события, возникающие в социально-экономической среде. Однако практический аспект управления на основе мониторинга пожара предусматривает использование данного вида информации лишь в системе поддержки принятия решений (далее — СППР).

Стоит отметить, что теоретическая основа разработки и применения СППР предусматривает в качестве источника информации для управления математические модели процессов развития и тушения пожара и/или формализацию экспертного мнения, а результаты мониторинга пожара, в свою очередь, находятся за пределами методического сопровождения СППР. В связи с этим актуальной представляется научная задача, состоящая в разработке многокритериальных моделей мониторинга пожара в здании и их систематизации с моделями принятия решений, используемыми для разработки СППР при тушении пожаров в зданиях.

Для решения поставленной задачи необходимы:

- 1) разработка информационно-аналитической модели мониторинга пожара;
- 2) реализация модели в многокритериальной системе принятия решений.

Совокупность результатов решения поставленной задачи позволит внедрить в информационно-аналитическую составляющую СППР результаты мониторинга пожара в здании, снизить влияние субъективных факторов на процесс управления, повысить оперативность принятия решений, что в динамично меняющейся обстановке на пожаре играет решающую роль в успехе ликвидации пожара на начальной стадии его развития.

Разработка модели мониторинга пожара

Специфика мониторинга пожара в здании с использованием средств пожарной автоматики определяет деление общей площади мониторинга на зоны контроля и наблюдение за одним или несколькими параметрами пожара в каждой конкретной зоне. Результаты мониторинга представляют собой совокупность состояний наблюдаемого параметра в каждой из этих зон. Принципиальная схема мониторинга и его иерархическая структура представлены на рисунке.

Таким образом, специфика мониторинга пожара в здании позволяет заключить, что каждый конкретный вариант действий по тушению пожара в здании,

основанный на результатах мониторинга, будет характеризоваться m показателями наблюдений, для каждого из которых получена векторная оценка для n зон контроля.

Для принятия решений на основе результатов многокритериального мониторинга пожара необходимо иметь представление об изменении каждого из параметров мониторинга. Для получения такой информации в системе мониторинга пожара необходима математическая модель, описывающая в первом приближении процесс изменения параметров мониторинга во времени. Концепция мониторинга пожара предусматривает деление объекта мониторинга на зоны контроля и рассмотрение каждой из них в отдельности с учетом одновременного наблюдения за несколькими параметрами пожара. В связи с этим оценка динамики параметров мониторинга возможна на основе теории клеточных автоматов, в которой совокупность зон и параметров контроля может быть описана системой дифференциальных уравнений.

Тогда каждая из зон контроля будет являться отдельным объектом клеточного автомата с делением по функциональным особенностям на начальную зону контроля, в которой интенсивность изменения параметра мониторинга имеет наибольшие значения, и смежные зоны контроля.

Изменение параметра мониторинга пожара p в зонах контроля определяется по формулам:

- в начальной зоне:

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

- в смежной зоне:

$$\Delta p_j(\tau) = p_j(\tau) - p^0 = \frac{\sum_{i=1, \dots, s} n_{ij} p_i(\tau)}{\sum_{i=1, \dots, s} n_{ij}} \times \left[1 - \exp\left(-Z_j(\tau) \sum_{i=1, \dots, s} n_{ij}\right) \right], \quad (2)$$

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

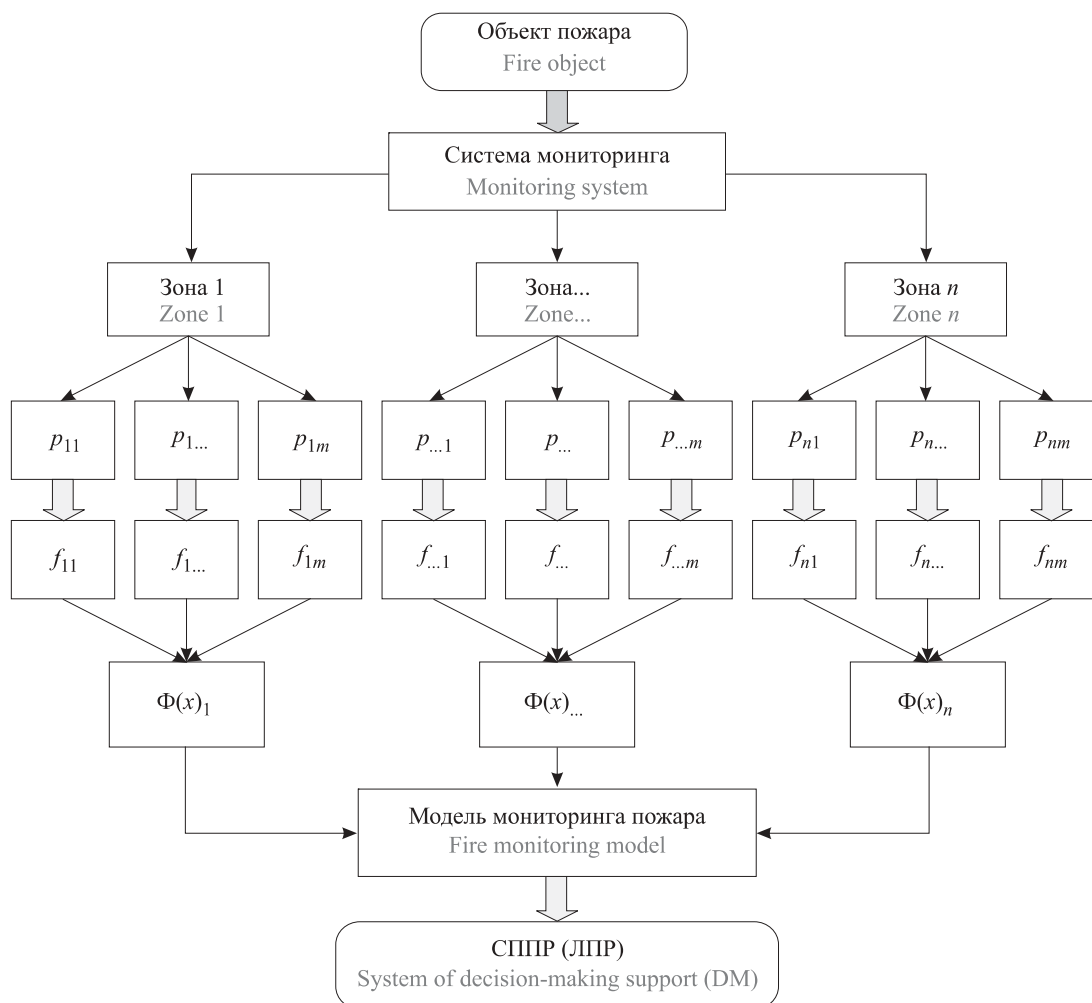
p^0, p^* — начальное и пороговое значения параметра мониторинга пожара;

n_{ij} — коэффициент обмена между зонами контроля i и j ;

s — количество зон контроля в системе мониторинга;

Z_0, Z_j — интенсивность изменения параметров мониторинга пожара в зонах 0 и j .

Стоит отметить, что параметры мониторинга в многокритериальной системе различны по структуре и динамике, поэтому в качестве источника информации для принятия решений необходимо рассматривать нормированные показатели мониторинга f_i , значения которых измеряются по единой количест-



Принципиальная схема применения результатов мониторинга пожара в системе поддержки принятия решений: ЛПР — лицо, принимающее решение

Layout of application of fire monitoring results in the system of decision-making support: DM — decision maker

венной шкале. При переходе от параметра p_i к f_i применимы все известные способы нормализации, однако в качестве рекомендаций на основе опыта разработки СППР можно заключить, что наилучший результат при решении данной задачи дает модель интервальной нормализации.

Разработанная модель мониторинга реализована в виде программного средства. Результаты исследования процесса мониторинга с использованием его компьютерной реализации показали, что, как правило, функция динамики параметра мониторинга имеет экспоненциальный вид. Поэтому в качестве обобщенного критерия мониторинга пожара может быть использована мультипликативная функция $\Phi(x)$, которая записывается следующим образом:

$$\Phi(x) = \prod_{i=1}^m f_i^{\omega_i}(x), \quad (3)$$

где x — варианты управленческих решений;

ω_i — коэффициенты важности i -го нормированного параметра мониторинга пожара; $\sum_{i=1}^m \omega_i = 1$.

Внедрение результатов мониторинга в модели принятия решений

В общей концепции проектирования и практического применения СППР под принятием решений понимают процесс выбора одного или нескольких вариантов из множества имеющихся в распоряжении ЛПР [9, 10]. Такая вербальная постановка задачи принятия решений позволяет рассматривать два объекта модели данного процесса:

- множество вариантов действий:

$$x_i \in X, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad n \geq 2;$$

- множество оценок вариантов по показателям мониторинга пожара:

$$F(X) = f_1(X) \times f_2(X) \times \dots \times f_m(X),$$

где X — исходное множество вариантов в модели принятия решений.

Теоретико-множественный анализ вариантов решений предусматривает построение структуры многомерных подмножеств с указанием рекомен-

даций для окончательного выбора варианта решения в СППР [11–17].

Для реализации результатов мониторинга пожара при теоретико-множественном анализе вариантов решений необходимо рассматривать структуру, состоящую из трех подмножеств, взаимосвязанных последовательными включениями [10]:

$$C(X) \subset P_G(X) \subset P_F(X) \subset X, \quad (4)$$

где $C(X)$ — множество выбранных вариантов;

$P_F(X)$ — множество вариантов и их оценок по показателям мониторинга $F = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$;

$P_G(X)$ — множество вариантов и их оценок по показателям мониторинга с учетом коэффициентов важности $G = \{g_1, g_2, \dots, g_m\}$.

При учете коэффициентов важности в результатах мониторинга каждый новый показатель мониторинга $G = \{g_1, g_2, \dots, g_m\}$ состоит из линейных комбинаций:

$$g_{ij}(x) = f_i(x)^{\theta_j} f_j(x)^{1-\theta_j}, \quad j = 1, 2, \quad (5)$$

где θ_j — коэффициент относительной важности критериев.

Коэффициенты модели теоретико-множественного анализа θ_j рассчитываются на основе коэффициентов важности ω_j функции (3) по формуле

$$\theta_j = k(1 - \omega_j), \quad (6)$$

где k — количество линейных комбинаций параметров мониторинга F .

Таким образом, появляется возможность использовать в классической модели теоретико-множественного анализа вариантов принятия решений ре-

зультаты мониторинга пожара и тем самым повысить объективность модели за счет частичного или полного исключения субъективных факторов [18–21].

Выводы

Мониторинг пожара является одним из источников объективной дополнительной информации для повышения эффективности действий пожарно-спасательных подразделений при тушении пожаров в зданиях. Для внедрения результатов мониторинга пожара в СППР решена задача, состоящая в разработке многокритериальной модели мониторинга пожара в здании и предложены способы ее использования при теоретико-множественном анализе вариантов управления пожарно-спасательными подразделениями.

Разработанная модель учитывает специфику изменения параметров мониторинга пожара в иерархических системах с учетом важности показателей в результирующей функции принятия решений.

Совокупность полученных результатов позволяет повысить объективность управления пожарно-спасательными подразделениями с использованием СППР и частично или полностью исключить субъективные факторы, влияющие на качество принимаемых решений.

Многокритериальная модель мониторинга предназначена для контроля параметров пожара в здании на основе стационарных средств мониторинга. Систематизация данных, полученных с мобильных средств мониторинга, в предложенной модели является направлением дальнейшего совершенствования ее методологической составляющей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Вагнер П. Человечество и пожары (краткий очерк). — М. : ИПЦ “Маска”, 2007. — 124 с.
2. Топольский Н. Г., Хабибуллин Р. Ш., Рыженко А. А., Бедило М. В. Адаптивная система поддержки деятельности центров управления в кризисных ситуациях : монография. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2014. — 151 с.
3. Терещев В. В., Богданов А. Е., Семенов А. О., Тараканов Д. В. Принятие решений при управлении силами и средствами на пожаре. — Екатеринбург : ООО “Издательство “Калан”, 2012. — 100 с.
4. Терещев В. В., Семенов А. О., Смирнов В. А., Тараканов Д. В. Анализ и поддержка решений при тушении крупных пожаров // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2010. — Т. 19, № 9. — С. 51–57.
5. Минаев В. А., Топольский Н. Г., Фадеев А. О., Бондарь К. М., Мокшанцев А. В. Геодинамические риски и строительство. Математические модели : монография. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2017. — 208 с.
6. Терещев В. В. Расчет параметров развития и тушения пожаров. — Екатеринбург : ООО “Издательство “Калан”, 2011. — 460 с.
7. Терещев В. В., Семенов А. О., Тараканов Д. В. Теоретические основы принятия решений при управлении силами и средствами на пожаре // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2012. — Т. 21, № 10. — С. 14–17.

8. Ермилов А. В. Модель формирования профессионально значимых личностных качеств курсантов на занятиях по дисциплине “Пожарная тактика” в учебных и спасательных центрах МЧС России // Вестник Владимирского государственного университета им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. Серия: Педагогические и психологические науки. — 2015. — № 20(39). — С. 60–68.
9. Подиновский В. В., Ногин В. Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач : монография. — М. : Физматлит, 2007. — 256 с.
10. Ногин В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде. Количественный подход : монография. — М. : Физматлит, 2004. — 176 с.
11. 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, No. 6. — P. 48–53. DOI: 10.5120/13255-0732.
12. Hao Cheng, George V. Hadjisophocleous. The modeling of fire spread in buildings by Bayesian network // Fire Safety Journal. — 2009. — Vol. 44, No. 6. — P. 901–908. DOI: 10.1016/j.firesaf.2009.05.005.
13. 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 p. URL: <http://iscram2015.uia.no/wp-content/uploads/2015/05/10-1.pdf> (дата обращения: 05.04.2018).
14. 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. — P. 369–395. DOI: 10.1007/978-3-642-13639-9_15.
15. 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. — P. 265–274. DOI: 10.1007/11875581_32.
16. Xiaodong Chen, Yongjun Liu, Yangyang Liu. The fire vulnerability evaluation of the old building based on fuzzy comprehensive assessment method // Proceedings of the 3rd International Conference on Material, Mechanical and Manufacturing Engineering. — Atlantis Press, 2015. — P. 642–647. DOI: 10.2991/ic3me-15.2015.125.
17. David Mendonça, Giampiero E. G. Beroggi, Daan van Gent, William A. Wallace. Designing gaming simulations for the assessment of group decision support systems in emergency response // Safety Science. — 2006. — Vol. 44, Issue 6. — P. 523–535. DOI: 10.1016/j.ssci.2005.12.006.
18. Minkin D. Yu., Sineshchuk Yu. I., Terekhin S. N., Yusharov 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, No. 20. — P. 5331–5339.
19. 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. — P. 113–127. DOI: 10.3390/fi5020113.
20. 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. — P. 483–488. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.02.172.
21. 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. — P. 857–869. DOI: 10.1007/s10796-013-9475-0.

Материал поступил в редакцию 15 апреля 2018 г.

Для цитирования: Топольский Н. Г., Тараканов Д. В., Баканов М. О. Многокритериальная модель мониторинга пожара в здании для управления пожарно-спасательными подразделениями // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 5. — С. 26–33. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.05.26-33.

MULTI-CRITERIA MODEL FOR MONITORING OF FIRE IN THE BUILDING FOR MANAGING FIRE-RESCUE SUBDIVISIONS

TOPOLSKIY N. G., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of IT-Department of Automated Systems and Informational Technologies, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: N.Topolskiy@academygps.ru)

TARAKANOV D. V., Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of Fire Tactics and Bases of Emergency Rescue and Other Urgent Works Department within the Academic and Research complex (ARC) "Fire Extinguishing", Ivanovo Fire and Rescue Academy of State Firefighting Service of Emercom of Russia (Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo, 153040, Russian Federation; e-mail: den-pgsm@mail.ru)

BAKANOV M. O., Candidate of Technical Sciences, Head of Fire Tactics and Bases of Emergency Rescue and Other Urgent Works Department within the Academic and Research complex (ARC) "Fire Extinguishing", Ivanovo Fire and Rescue Academy of State Firefighting Service of Emercom of Russia (Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo, 153040, Russian Federation; e-mail: mask-13@mail.ru)

ABSTRACT

Introduction. The article considers issues relating to improvement of activities as to extinguishing of major fires by manpower and resources of fire-rescue units for the account of additional information support of officials with the emergency system of control over results of objective remote monitoring of fire in the building. A complex of fire monitoring results is considered as a component of integrated informational space for the control of emergency services reacting at destructive events in social environment.

Development of monitoring model. A class of hierarchical multi-criteria systems of fire monitoring has been considered. In such systems, a multi-criteria model for monitoring fire in the building is developed for formalized description of the process of collection of information on altering values of fire parameters. The model represents a complex of analytical solutions of a system of differential equations which describe alteration of monitoring parameters during fire development. The model is implemented as software with which help evaluation of alteration of fire monitoring parameters is performed and their exponential temporal relationship is detected.

Implementation of results. In order to account monitoring results, in decision-making models methods of monitoring parameter normalization are suggested. For various monitoring parameters in terms of structure and dynamics a multiplicative model of a complex monitoring index is developed. The developed model is adapted to be introduced into systems of decision-making support in terms of set-theoretic analysis of variants for controlling fire-rescue units when extinguishing fires.

Conclusions. Results of set-theoretic analysis of variants for controlling, allowed on a qualitative level to account relative importance of monitoring indices over resulting function of decision making. The following is suggested: trends for further development of methodological component of monitoring of fire in buildings aimed at increase of objectivity of the managerial decisions being made as well as for decrease of impact of human factors upon the process of control of fire-rescue subdivisions when extinguishing fires in buildings.

Keywords: fire monitoring system; simulation of parameter dynamics; system of decision-making support; set-theory analysis; variants of control; fire extinguishing in buildings and constructions.

REFERENCES

1. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V., Wagner P. *Chelovechestvo i pozhary (kratkiy ocherk)* [Mankind and fires (brief notation)]. Moscow, IPTs "Maska" Publ., 2007. 124 p. (in Russian).
2. Topolskiy N. G., Khabibulin R. Sh., Ryzhenko A. A., Bedilo M. V. *Adaptivnaya sistema podderzhki deyatelnosti tsentrov upravleniya v krizisnykh situatsiyakh. Monografiya* [Adaptive system of support of activities of Crisis Management Centers. Monograph]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., Moscow, 2014. 151 p. (in Russian).

3. Terebnev V. V., Bogdanov A. E., Semenov A. O., Tarakanov D. V. *Prinyatiye resheniy pri upravlenii silami i sredstvami na pozhare* [Decision-making within management of manpower and resources at fire]. Yekaterinburg, Kalan Publ., 2012. 100 p. (in Russian).
4. 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, vol. 19, no. 9, pp. 51–57 (in Russian).
5. Minaev V. A., Topolskiy N. G., Fadeev A. O., Bondar K. M., Mokshantsev A. V. *Geodinamicheskiye riski i stroitelstvo. Matematicheskiye modeli. Monografiya* [Geodynamic risks and construction. Mathematical models. Monograph]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2017. 208 p. (in Russian).
6. Terebnev V. V. *Raschet parametrov razvitiya i tusheniya pozharov* [Calculation of parameters of fire spread and extinguishing]. Yekaterinburg, Kalan Publ., 2011. 460 p. (in Russian).
7. Terebnev V. V., Semenov A. O., Tarakanov D. V. Decision making theoretical basis of management on fire. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 10, pp. 14–17 (in Russian).
8. Ermilov A. V. The model of professionally significant personal qualities of cadets formation at the training lessons of “Fire tactics” discipline in training and rescue centers of Emercom of Russia. *Vestnik Vladimirovskogo gosudarstvennogo universiteta im. Aleksandra Grigoryevicha i Nikolaya Grigoryevicha Stoletovkh. Seriya: Pedagogicheskiye i psikhologicheskiye nauki / Vestnik of Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs*, 2015, no. 20(39), pp. 60–68 (in Russian).
9. Podinovskiy V. V., Nogin V. D. *Pareto-optimalnyye resheniya mnogokriterialnykh zadach. Monografiya* [Pareto-efficient solutions of multi-criteria tasks. Monograph]. Moscow, Fizmatlit Publ., 1982. 256 p. (in Russian).
10. Nogin V. D. *Prinyatiye resheniy v mnogokriterialnoy srede. Kolichestvennyy podkhod. Monografiya* [Decision-making in multi-criteria environment. Quantitative approach. Monograph]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2004. 176 p. (in Russian).
11. 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, no. 6, pp. 48–53. DOI: 10.5120/13255-0732.
12. Hao Cheng, George V. Hadjisophocleous. The modeling of fire spread in buildings by Bayesian network. *Fire Safety Journal*, 2009, vol. 44, no. 6, pp. 901–908. DOI: 10.1016/j.firesaf.2009.05.005.
13. Mehdi Ben Lazreg, Jaziar Radianti, Ole-Christoffer Granmo. Smart rescue: architecture for fire crisis assessment and prediction. In: *Proceedings of the 12th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management — ISCRAM 2015* (Kristiansand, Norway, May 24–27, 2015). 7 p. Available at: <http://iscram2015.uia.no/wp-content/uploads/2015/05/10-1.pdf> (Accessed 5 April 2018).
14. Eric Wai Ming Lee. Application of artificial neural network to fire safety engineering. In: Jain L. C., Lim C. P. (eds.). *Handbook on Decision Making. Intelligent Systems Reference Library*. Berlin, Heidelberg, Springer, 2010, vol. 4, pp. 369–395. DOI: 10.1007/978-3-642-13639-9_15.
15. Lee E. W. M., Lau P. C., Yuen K. K. Y. Application of artificial neural network to building compartment design for fire safety. In: Corchado E., Yin H., Botti V., Fyfe C. (eds.). *Intelligent Data Engineering and Automated Learning — IDEAL 2006. Lecture Notes in Computer Science*. Berlin, Heidelberg, Springer, 2006, vol. 4224, pp. 265–274. DOI: 10.1007/11875581_32.
16. Xiaodong Chen, Yongjun Liu, Yangyang Liu. The fire vulnerability evaluation of the old building based on fuzzy comprehensive assessment method. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on Material, Mechanical and Manufacturing Engineering*. Atlantis Press, 2015, pp. 642–647. DOI: 10.2991/ic3me-15.2015.125.
17. David Mendonça, Giampiero E. G. Beroggi, Daan van Gent, William A. Wallace. 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.
18. 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, no. 20, pp. 5331–5339.
19. 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.

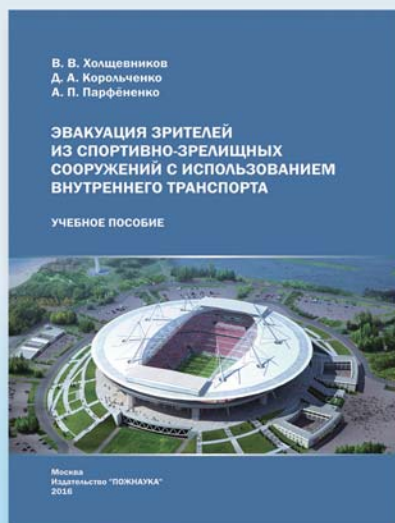
20. Xing Zhi-xiang, Gao Wen-li, Zhao Xiao-fang, Zhu De-zhi. Design and implementation of city fire rescue decision support system. *Procedia Engineering*, 2013, vol. 52, pp. 483–488. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.02.172.
21. Lauras M., Benaben F., Truptil S., Charles A. Event-cloud platform to support decision-making in emergency management. *Information Systems Frontiers*, 2015, vol. 17, issue 4, pp. 857–869. DOI: 10.1007/s10796-013-9475-0.

For citation: Topolskiy N. G., Tarakanov D. V., Bakanov M. O. Multi-criteria model for monitoring of fire in the building for managing fire-rescue subdivisions. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 5, pp. 26–33 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.05.26-33.



ООО “Издательство “ПОЖНАУКА”

предлагает Вашему вниманию



Учебное пособие

Холщевников В. В., Корольченко Д. А., Парфёненко А. П.

ЭВАКУАЦИЯ ЗРИТЕЛЕЙ ИЗ СПОРТИВНО-ЗРЕЛИЩНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВНУТРЕННЕГО ТРАНСПОРТА

Впервые в практике архитектурно-строительного преподавания рассмотрена методология учета важнейшего функционального процесса — движение людских потоков с использованием эскалаторов и лифтовых установок при различных режимах эксплуатации зданий, включая чрезвычайную ситуацию пожара, на примере реального объекта с большим количеством находящихся в нем людей.

121352, г. Москва, а/я 43
тел. (495)228-09-03
e-mail: mail@firepress.ru