

Б. Б. ГРИНЧЕНКО, адъюнкт, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (Россия, 153040, г. Иваново, просп. Строителей, 33; e-mail: grinchenko.borya@mail.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)

УДК 614.842.4,614.849

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПРИ РАБОТАХ НА ПОЖАРАХ В НЕПРИГОДНОЙ ДЛЯ ДЫХАНИЯ СРЕДЕ

Разработана вероятностная модель управления безопасностью участников тушения пожара при работах в непригодной для дыхания среде с учетом условий и ограничений временных ресурсов. Проведена детерминированная постановка задачи управления безопасностью участников тушения пожара; предложена ее вероятностная интерпретация в терминах общей теории управления риском. Показано, что время выполнения работ в непригодной для дыхания среде и время защитного действия дыхательных аппаратов могут быть представлены непрерывными случайными величинами. Рассмотрен комплекс деструктивных событий, связанных с недостатком времени защитного действия дыхательного аппарата для успешного и безопасного ведения работ в непригодной для дыхания среде. На основе методологии анализа непрерывных случайных величин разработан метод оценки риска реализации рассматриваемых деструктивных событий. Предложены детерминированные и вероятностные формы критериев безопасности работ, проводимых в непригодной для дыхания среде, а также разработаны методы расчета их количественных значений. Сформирована концепция управления безопасностью, включающая в себя комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на снижение значений риска возникновения деструктивных событий до минимального или приемлемого уровня в зависимости от поставленной задачи управления. Показано, что разработанная модель может быть использована для цифровой обработки данных, полученных от телеметрических систем мониторинга показателей безопасности участников тушения пожара.

Ключевые слова: пожар; управление безопасностью пожарных; критерии безопасности; деструктивные события; анализ рисков; вероятностная модель.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.06.45-51

Введение

Управление безопасностью при работах на пожарах в непригодной для дыхания среде является неотъемлемой частью общей концепции управления силами и средствами пожарно-спасательных подразделений [1–3]. На практике при ведении работ в непригодной для дыхания среде участники тушения пожара ограничены по времени их выполнения. Данное ограничение определяется временем защитного действия средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения, а критерием управления безопасностью в данном случае является количественная оценка допустимого времени выполнения работ в непригодной для дыхания среде. В настоящее время при управлении безопасностью используются детерминированные процедуры анализа количественных критериев [4, 5]. Однако в современных условиях методологическая основа управления

безопасностью нуждается в совершенствовании по причине внедрения в практику борьбы с пожарами современных телеметрических систем мониторинга показателей безопасности участников тушения пожара. Метрологическая структура данных, получаемых от телеметрических систем, имеет вероятностную природу, и применение детерминированных методов при цифровой обработке данных не во всех случаях обеспечивает адекватный результат при управлении.

Альтернативой детерминированным методам анализа критериев безопасности является вероятностный подход, основанный на теоретических аспектах концепции управления риском. Так, в практике решения задач безопасности теория управления риском получила широкое развитие при анализе различных по структуре деструктивных событий [6]. В рамках данной теории под термином *управление риском* по-

нимается комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на снижение значений соответствующих вероятностей возникновения деструктивных событий до минимального или приемлемого уровня в зависимости от поставленной задачи управления [6].

Таким образом, целью настоящей работы является разработка модели управления безопасностью при работах на пожарах в непригодной для дыхания среде на основе общей теории управления рисками. При разработке модели необходимо провести формальную постановку задачи управления безопасностью в терминах теории управления риском и предложить метод расчета величины риска реализации деструктивных событий, связанных с нехваткой объема дыхательной смеси для успешного выполнения работ в непригодной для дыхания среде.

Детерминированная модель управления безопасностью

Рассмотрим комплекс деструктивных событий, связанных с недостатком объема дыхательной смеси для выполнения комплекса работ в непригодной для дыхания среде. При работах в этих условиях под деструктивными будем понимать события, реализация которых на практике может являться препятствием для успешного выполнения поставленных перед участниками тушения пожара задач, а в исключительных случаях приводить к их травмированию и/или гибели.

Итак, рассмотрим комплекс R , представляющий собой совокупность работ R_i , для реализации которого потребуется ресурс времени T (мин), рассчитываемый по формуле

$$T = T_0 + \sum_{i=1}^n T_i, \quad (1)$$

где T_0 — ресурс времени, необходимый для проведения непредвиденных работ R_0 , мин;

T_i — ресурс времени, необходимый для выполнения i -й работы, мин.

Тогда объем дыхательной смеси, необходимый для успешного выполнения комплекса работ R , будет определяться по формуле

$$V = V_0 + \sum_{i=1}^n V_i, \quad (2)$$

где V_0 — объем дыхательной смеси, необходимый для выполнения непредвиденных работ R_0 , л;

V_i — объем дыхательной смеси, необходимый для успешной реализации i -й работы R_i , л.

В свою очередь, объем дыхательной смеси обеспечивает фактическое время защиты T_3 (мин), которое для комплекса работ R определяется следующим образом:

$$T_3 = T_{30} + \sum_{i=1}^n T_{3i}, \quad (3)$$

где T_{30} — ресурс времени защиты при объеме дыхательной смеси V_0 , мин;

T_{3i} — ресурс времени защиты при объеме дыхательной смеси V_i , мин.

Тогда в детерминированной постановке задачи управления безопасностью количественные критерии успешного выполнения комплекса работ R будут определяться следующими соотношениями:

- для каждой работы R_i — локальный критерий безопасности:

$$T_{3i} > T_i; \quad (4)$$

- для комплекса работ R — интегральный критерий безопасности:

$$T_3 > T. \quad (5)$$

Выполнение неравенств (4) и (5) является совокупным условием безопасности при ведении работ в непригодной для дыхания среде.

Вероятностная модель управления безопасностью

Рассмотрим задачу управления безопасностью в вероятностной постановке. Воспользуемся аналогией с работой [7] и предположим, что практическая реализация концепции управления рисками в части оценки достаточности объема дыхательной смеси будет предусматривать оценку вероятности реализации деструктивных событий Q_i для каждой составляющей комплекса работ R_i и оценку вероятности Q для комплекса работ в целом R . Тогда с вероятностной точки зрения ресурс времени будет представлять собой интервал значений:

- для выполнения работ R_i :

$$T_i^{\min} \leq T_i \leq T_i^{\max}; \quad (6)$$

- для защиты при объеме дыхательной смеси V_i :

$$T_{3i}^{\min} \leq T_{3i} \leq T_{3i}^{\max}. \quad (7)$$

Таким образом, для того чтобы сравнить по соотношениям (4) и (5) интервалы значений (6) и (7) в соответствии с вероятностным подходом, необходимо определить закон распределения сравниваемых случайных величин.

Основные результаты исследований [8–12] позволяют предположить, что временной ресурс работ в непригодной для дыхания среде и время защиты являются непрерывными случайными величинами, подчиняющимися нормальному закону распределения с плотностью:

$$f(T) = \frac{1}{\sqrt{2D\pi}} \exp\left(-\frac{(T - \bar{T})^2}{2D}\right), \quad (8)$$

где D — дисперсия случайной величины, мин²;
 $\bar{T}$ — математическое ожидание случайной величины, мин.

Следовательно, при анализе интервальных значений (6) и (7) можно перейти к анализу их вероятностных оценок $\langle \bar{T}_i, D_i \rangle$ и $\langle \bar{T}_{zi}, D_{zi} \rangle$.

Формальная постановка задачи

При выполнении работы R_i за интервал времени, характеризуемый параметрами $\langle \bar{T}_i, D_i \rangle$ и запасом дыхательной смеси V_i , который обеспечивает интервал времени защитного действия, характеризуемый параметрами $\langle \bar{T}_{zi}, D_{zi} \rangle$, необходимо определить риск Q_i реализации события S , состоящего в том, что объема дыхательной смеси V_i будет недостаточно для выполнения работы R_i .

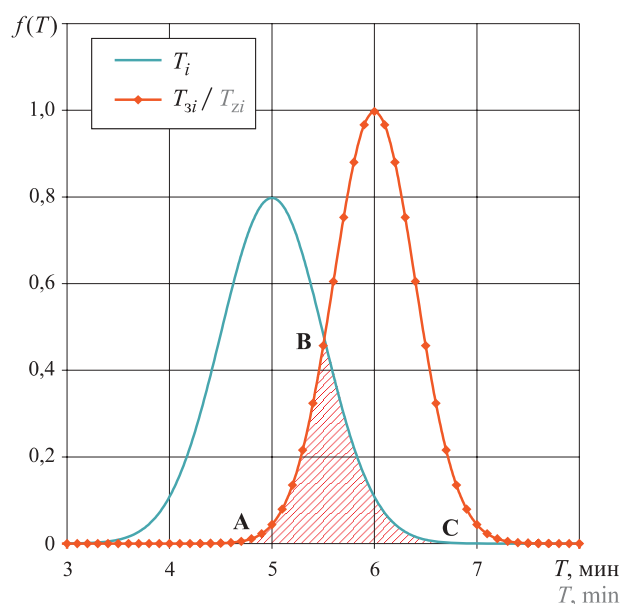
В классической теории вероятностей решение данной задачи предусматривает вычисление обобщенного показателя Z_i двух случайных величин с параметрами $\langle \bar{T}_i, D_i \rangle$ и $\langle \bar{T}_{zi}, D_{zi} \rangle$ по формуле

$$Z_i = \frac{\bar{T}_{zi} - \bar{T}_i}{\sqrt{D_{zi} + D_i}}. \quad (9)$$

Далее, используя функцию распределения нормальной случайной величины, определяют искомую вероятность:

$$Q_i(S) = \frac{1}{2} \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{Z_i}{\sqrt{2}} \right) \right]. \quad (10)$$

Геометрическая интерпретация решения поставленной задачи представлена на рисунке для случая, когда $\langle \bar{T}_i = 5 \text{ мин}, D_i = 0,25 \text{ мин}^2 \rangle$; $\langle \bar{T}_{zi} = 6 \text{ мин}, D_{zi} = 0,16 \text{ мин}^2 \rangle$ и $Z_i = 1,56 \rightarrow Q_i(S) = 0,06$.



Геометрическая интерпретация решения задачи исследования
 Geometrical interpretation of the solution of the research problem

При анализе данных, представленных на рисунке, очевидно, что для фигуры $\langle ABC \rangle$ условие локального критерия безопасности (4) не выполняется, так как $T_{zi} > T_i$. Таким образом, вероятность $Q_i(S)$ будет характеризоваться площадью фигуры $\langle ABC \rangle$.

Модель управления безопасностью

С точки зрения теории управления рисками управление безопасностью сводится к максимизации вероятности безопасного выполнения работ в непригодной для дыхания среде или, что эквивалентно, к минимизации риска наступления деструктивного события S , связанного с недостатком объема дыхательной смеси. Модель получила широкое развитие как в отечественных [6, 7, 10] так и в зарубежных [13–21] работах.

Сформируем модель управления безопасностью в терминах теории управления рисками, используя при этом локальный и интегральный критерии безопасности (4) и (5):

- интегральный риск (интегральный критерий безопасности):

$$Q(S) \leq Q^*; \quad (11)$$

- локальный риск (локальный критерий безопасности):

$$Q_i(S) \leq Q_i^*; \quad (12)$$

- соотношение между локальным и интегральным рисками:

$$Q(S) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - Q_i(S)), \quad (13)$$

где Q^* — приемлемый уровень интегрального риска;
 Q_i^* — приемлемый уровень локального риска.

Одновременный анализ локального и интегрального рисков необходим для того, чтобы исключить возможность компенсации недостаточных фактических значений локального риска при проведении i -й работы (недостатка объема дыхательной смеси V_i для выполнения i -й работы R_i) избыточным значением локального риска при проведении j -й работы (избытка объема дыхательной смеси V_j для выполнения j -й работы R_j).

С методической точки зрения для удобства аналитического расчета уровней риска $Q(S)$ для случая, когда $Q \in [0,05; 0,5]$, можно воспользоваться приближенной аппроксимацией:

$$Q_i(S) = a \exp(-bZ_i^n), \quad (14)$$

где a, b, n — константы модели;
 $\langle a = 0,5; b = 1,2; n = 1,25 \rangle$.

Тогда, для того чтобы управлять безопасностью при выполнении работы R_i , необходимо при фиксированном

рованных значениях $\langle \bar{T}_i, D_i \rangle$ выбрать такой объем дыхательной смеси V_i с параметрами $\langle \bar{T}_{zi}, D_{zi} \rangle$, при котором значение Z_i , рассчитанное по формуле (9), будет не менее значения Z_i^* , соответствующего предельно допустимому значению риска Q_i^* :

$$Z_i^* = \left[\frac{1}{b} \ln \left(\frac{a}{Q_i^*} \right) \right]^{1/n}. \quad (15)$$

В свою очередь для комплекса работ R интегральный риск будет иметь значение, определенное по формуле (13).

Заключение

Современные требования к управлению силами и средствами на пожаре определяют необходимость совершенствования методологической составляющей существующих процедур анализа показателей безопасности участников тушения пожара, проводящих работы в непригодной для дыхания среде. Разработанная на основе общей теории управления рисками вероятностная модель управления безопасностью при работе в непригодной для дыхания среде

позволяет использовать в качестве исходных данных результаты мониторинга показателей безопасности, полученные от телеметрических систем. Необходимо отметить, что для решения инженерных задач управления безопасностью предложенную модель управления целесообразно реализовать в виде программы для ЭВМ. В сравнении с детерминированной моделью управления достоинство вероятностной модели состоит в возможности варьирования интервальными значениями показателей безопасности путем изменения величины локального и интегрального рисков. Дополнительным полезным свойством модели является возможность линейного положительного преобразования исходных вероятностных характеристик, что позволяет при ее практическом применении использовать не только плановые, но и фактические значения входящих в модель показателей.

Работа выполнена при поддержке фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (№ 12589 ГУ/2017).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Ногин В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде. Количественный подход : монография. — М. : Физматлит, 2004. — 176 с.
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. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Вагнер П. Человечество и пожары (краткий очерк). — М. : ИПЦ “Маска”, 2007. — 124 с.
7. Холщевников В. В. Проблема беспрепятственной эвакуации людей из зданий, пути ее решения и оценки // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2006. — Т. 15, № 1. — С. 30–35.
8. 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 водоснабжением // Пожарная безопасность. — 2017. — № 1. — С. 49–53.
9. Терещев В. В. Расчет параметров развития и тушения пожаров. — Екатеринбург : “Изд-во “Калан”, 2011. — 460 с.
10. Гринченко Б. Б. Вероятностная оценка необходимого запаса воздуха в дыхательных аппаратах при работе на пожаре // Технологии техносферной безопасности. — 2017. — № 4(74). — С. 155–162.
11. Стрелец В. М. Сравнительный анализ закономерностей расхода запаса воздуха при работе спасателей в аппаратах на сжатом воздухе // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. — 2014. — № 4(41). — С. 136–141.

12. *Стрілець В. М., Бородич П. Ю., Росоха С. В.* Закономірності діяльності рятувальників при проведенні аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену : монографія [Закономерности деятельности спасателей при проведении аварийно-спасательных работ на станциях метрополитена : монография]. — Харків : НУЦЗХ, КП “Міська друкарня”, 2012. — 119 с.
13. *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.
14. *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.
15. *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.
16. *Joo-Young Lee, Joonhee Park, Huiju Park, Aitor Coca, Jung-Hyun Kim, Nigel A. S. Taylor, Su-Young Son, Yutaka Tochihara.* What do firefighters desire from the next generation of personal protective equipment? Outcomes from an international survey // Industrial Health. — 2015. — Vol. 53, Issue 5. — P. 434–444. DOI: 10.2486/indhealth.2015-0033.
17. *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. — P. 113–127. DOI: 10.3390/fi5020113.
18. *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.
19. *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.
20. *Kim J.* Cooperative exploration and protection of a workspace assisted by information networks // Annals of Mathematics and Artificial Intelligence. — 2013. — Vol. 70, Issue 3. — P. 203–220. DOI: 10.1007/s10472-013-9383-5.
21. *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. — Vol. 4, No. 4. — P. 186–196.

Матеріал поступив в редакцію 20 мая 2018 г.

Для цитирования: Гринченко Б. Б., Тараканов Д. В. Модель управления безопасностью при работах на пожарах в непригодной для дыхания среде // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 6. — С. 45–51. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.06.45-51.

English

SAFETY MANAGEMENT MODEL FOR FIREFIGHTING IN UNSUITABLE FOR BREATHING ENVIRONMENT

GRINCHENKO B. B., Adjunct, Ivanovo Fire and Rescue Academy of State Firefighting Service of Emercom of Russia (Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo, 153040, Russian Federation; e-mail: grinchenko.borya@mail.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)

ABSTRACT

Introduction. Modern telemetry safety indicators monitoring systems of fire fighting participants and the metrological structure of data obtained from such systems determine the need to improve

the methodological basis for fire fighters safety management, who work in unsuitable for breathing environment. A research task has been set up. It consists of the development of a safety management model for firefighting in unsuitable for breathing environment on the basis of a general theory of risk management. A method for calculation of the risk magnitude of implementing destructive events associated with a lack of volume of breathing mixture for the successful performance of work in unsuitable for breathing environment was developed in order to cope with this task.

Formal task description and solution method. Officially, the task of the fire fighters safety management for fire-fighting in unsuitable for breathing environment is reduced to determining the risk of implementing an event that the volume of the breathing mixture is not enough to successfully complete the work during the required time period. Quantitative criteria for the successful completion of a set of operations in unsuitable for breathing environment were formed in a deterministic and probabilistic formulations in order to solve this task. The concepts of integral and local risk of the implementation of destructive events associated with the specifics of working in unsuitable for breathing environment were introduced.

Conclusions. The developed probability model of safety management is based on the theoretical background of risk management when working in unsuitable for breathing environment. The model allows to use as initial data the results of safety indicators monitoring obtained from telemetric systems. The advantage of the probability model is the possibility of varying interval values of safety indicators by changing the magnitude of local and integral risks. An additional useful property of the model is the possibility of a linear positive conversion of the initial probabilistic characteristics, which allows using not only planned figures, but actual values of the parameters included in the model in its practical application.

Keywords: fire; fire fighters safety management; safety criteria; destructive events; risk analysis; probability model.

REFERENCES

1. Terebnev V. V., Semenov A. O., Smirnov V. A., Tarakanov D. V. Analysis and support solutions that arise when putting out large fires. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 9, pp. 51–57 (in Russian).
2. Terebnev V. V., Semenov A. O., Tarakanov D. V. Decision making theoretical basis of management on fire. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 10, pp. 14–17 (in Russian).
3. Topolskiy N. G., Khabibulin R. Sh., Ryzhenko A. A., Bedilo M. V. *Adaptivnaya sistema podderzhki deyatel'nosti 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).
4. 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).
5. Minaev V. A., Topolskiy N. G., Fadeev A. O., Bondar K. M., Mokshantsev A. V. *Geodinamicheskiye riski i stroitel'stvo. 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. 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).
7. Kholshchevnikov V. V. Variety of decisions and valuation of problem of unimpeded people evacuation from buildings. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2006, vol. 15, no. 1, pp. 30–35 (in Russian).
8. Prisadkov 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, no. 1, pp. 49–53 (in Russian).
9. 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).
10. Grinchenko B. B. Probability estimation an required supply of air breathing apparatus at working on fire. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2017, no. 4(74), pp. 155–162 (in Russian).

11. Strelec V. M. Comparative analysis of the flow patterns of air reserve for rescuers in SCBA. *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, 2014, no. 4(41), pp. 136–141 (in Russian).
12. Strelec V. M., Borodich P. Yu., Rosokha S. V. *Zakonomernosti deyatelnosti spasateley pri provedenii avariynno-spasatelnykh rabot na stantsiyakh metropoliteny. Monografiya* [Operating procedures during emergency rescue and salvage operations at underground stations: monograph]. Kharkov, Miska dvukarnya Publ., 2012. 119 c. (in Ukraine).
13. Lee E. W. M. 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.
14. 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.
15. 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.
16. Joo-Young Lee, Joonhee Park, Huiju Park, Aitor Coca, Jung-Hyun Kim, Nigel A. S. Taylor, Su-Young Son, Yutaka Tochihiro. 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.
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. Kim J. Cooperative exploration and protection of a workspace assisted by information networks. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 2013, vol. 70, issue 3, pp. 203–220. DOI: 10.1007/s10472-013-9383-5.
21. 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, vol. 4, no. 4, pp. 186–196.

For citation: Grinchenko B. B., Tarakanov D. V. Safety management model for firefighting in unsuitable for breathing environment. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 6, pp. 45–51 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.06.45-51.