

Ю. Н. ШЕБЕКО, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник отдела пожарной безопасности объектов и технологий, ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: yn_shebeko@mail.ru)

А. Ю. ШЕБЕКО, канд. техн. наук, начальник отдела пожарной безопасности строительных материалов, ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: ay_shebeko@mail.ru)

А. Н. ГИЛЕТИЧ, д-р техн. наук, начальник отдела производственного контроля Департамента по строительству и эксплуатации гражданских объектов ПАО "Ростелеком" (Россия, 115172, г. Москва, ул. Гончарная, 30; e-mail: angiletich@mail.ru)

УДК 614.841.12

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБУЕМЫХ ПРЕДЕЛОВ ОГНЕСТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Предложен новый вероятностный метод определения требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций, отличный от приведенного в ГОСТ Р 12.3.047–2012. Показано, что он основан: во-первых, на сравнении распределений таких случайных величин, как расчетные времена эвакуации и спасения людей при пожаре на производственном объекте, с одной стороны, и пределы огнестойкости строительных конструкций — с другой, в отличие от стандартного метода, сравнивающего эквивалентную продолжительность пожара и предел огнестойкости; во-вторых, на праве владельца объекта рисковать своим имуществом при безусловном выполнении требований по безопасности персонала производственного объекта и населения, проживающего вблизи объекта. Представлены примеры применения предложенного метода для случаев эвакуации и спасения людей. Отмечено, что для широкого применения метода требуется задание таких исходных данных, как требуемая надежность строительных конструкций, расчетное время эвакуации и дисперсия его нормального распределения, расчетное время спасения и дисперсия его нормального распределения, дисперсия нормального распределения предела огнестойкости.

Ключевые слова: требуемые пределы огнестойкости; вероятностный подход; время эвакуации; время спасения; случайная величина; нормальное распределение; надежность строительных конструкций.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.51-57

Введение

В настоящее время ГОСТ Р 12.3.047–2012 регламентирована методика определения требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций, основанная на [1, 2]. В этих работах реализован вероятностный подход, при котором сравниваются не фиксированные значения предела огнестойкости и эквивалентной продолжительности пожара, а распределения указанных параметров. Аналогичный принцип представлен в британском руководстве [3]. Обобщение основных принципов, описанных в [1, 2], реализовано в работе [4], в которой рассмотрены вероятностные аспекты определения условий пожарной безопасности производственных объектов (например, необходимое и расчетное время эвакуации рассматриваются как случайные величины). Однако на практике чаще всего встречаются ситуации, когда при отсутствии нормативных требований по огнестойкости собственник объекта из экономических

соображений готов примириться с потерей своего объекта, снизив требуемые пределы огнестойкости, которые могут быть рассчитаны по ГОСТ Р 12.3.047–2012. При этом в соответствии с Техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности (Федер. закон № 123) должны быть обеспечены условия безопасной эвакуации (ст. 6 и 53) и проведения мероприятий по спасению людей при пожаре (пп. 1 и 2 ст. 80). В этом случае следует, задавшись вероятностями безопасной эвакуации или спасения, сравнивать распределения, с одной стороны, пределов огнестойкости, а с другой — времени эвакуации или спасения.

Необходимо отметить, что проблема определения требуемых пределов огнестойкости рассматривалась ранее в работах [5–19]. Однако их авторы основывались на детерминистских моделях и не учитывали, что как пределы огнестойкости, так и параметры, определяющие эквивалентную продол-

жительность пожара, являются случайными величинами.

В настоящей работе в соответствии с основным принципом вероятностного подхода, реализованного в работах [1–4], разработан метод определения требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций производственных объектов, основанный на сравнении распределений таких случайных величин, как времена эвакуации и спасения, с одной стороны, и пределы огнестойкости — с другой. При этом рассматривается несущая способность строительных конструкций, что характерно для этажерок и эстакад предприятий нефтегазовой отрасли.

Методология определения требуемых пределов огнестойкости

Как и в работе [4], примем, что условие безопасности можно записать в виде соотношения параметров x_1 и x_2 :

$$x_1 < x_2, \quad (1)$$

где x_1 — расчетное время эвакуации или время спасения;

x_2 — предел огнестойкости.

Качественная интерпретация условия (1) представлена на рис. 1 [4].

Как было отмечено выше, параметры x_1 и x_2 являются случайными величинами, для которых предполагаются нормальные распределения плотностей вероятности P_1 и P_2 [20]:

$$P_1 = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} \exp \left[-\frac{(x_1 - x_{10})^2}{2\sigma_1^2} \right]; \quad (2)$$

$$P_2 = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2} \exp \left[-\frac{(x_1 - x_{20})^2}{2\sigma_2^2} \right], \quad (3)$$

где x_1 и x_2 — параметры распределения;

x_{10} , x_{20} — центры распределений;

σ_1 , σ_2 — дисперсии распределений.

Параметр x_{10} для средней величины времени эвакуации рассчитывается методами, регламентированными в [21]. Он зависит от параметра σ_1 , который отражает различия в скоростях движения различных групп людей при эвакуации в случае пожара. Для параметра x_{10} , характеризующего время спасения людей при пожаре, нет общепринятых методик расчета. Можно сделать лишь экспертное предположение, что время спасения x_{10} будет, по крайней мере, в 2,5–3 раза больше времени эвакуации. Действительно, в случае эвакуации x_{10} представляет собой усредненное время самостоятельного движения людей с опасного объекта в безопасную зону. В случае спасения с объекта с малым количеством присутствующего персонала спасатели должны: во-первых, прибыть на объект; во-вторых, принять ре-

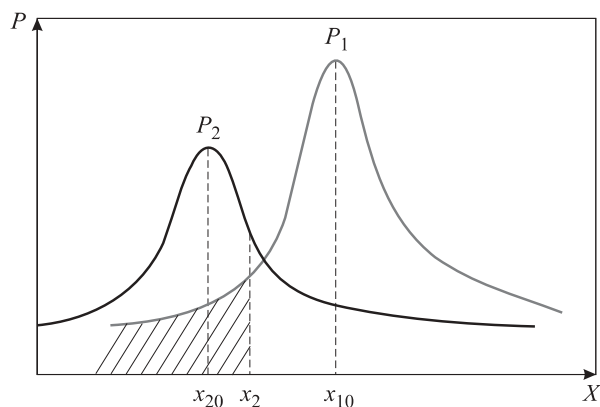


Рис. 1. Качественная интерпретация условий безопасной эвакуации: P — плотность вероятности для рассматриваемых распределений. Площадь заштрихованной области численно равна вероятности выполнения условия (1) при заданном значении x_2

Fig. 1. A qualitative interpretation of conditions of a safe evacuation: P is a probability density for the presented distributions. The shaded area is numerically equal to a probability of a fulfillment of the condition (1) at a given value x_2

шение о путях, по которым будет проводиться спасение; в-третьих, пройти по намеченным путям, что из-за развития пожара может занять заметно больше времени по сравнению с движением к месту проведения спасательных работ (например, в связи с блокированием опасными факторами пожара путей, по которым может быть осуществлено спасение).

Параметр x_{20} для средней величины предела огнестойкости должен быть определен исходя из заданной вероятности невыполнения условий безопасной эвакуации Q_0 , а также параметров x_{10} , σ_1 и σ_2 .

Следуя подходу [2, 3], развитому для определения надежности строительных конструкций, вероятность Q_0 невыполнения условия безопасной эвакуации (1) для нормальных распределений (2) и (3) можно описать соотношением

$$Q_0 = F(-\gamma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{-\gamma} \exp \left(-\frac{x^2}{2} \right) dx, \quad (4)$$

где $F(-\gamma)$ — функция Лапласа, значения которой могут быть заимствованы из [20];

γ — параметр, описываемый соотношением

$$\gamma = (x_{20} - x_{10})/\sigma_s; \quad (5)$$

$$\sigma_s = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2)^{1/2}. \quad (6)$$

На рис. 2 показана зависимость вероятности Q_0 невыполнения условия безопасной эвакуации (1) от параметра γ (по данным [4]). Эта зависимость может быть использована для расчета требуемого предела огнестойкости x_{20} . Методика его определения заключается в следующем.

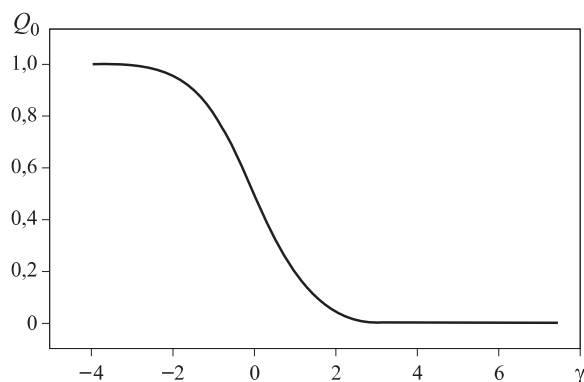


Рис. 2. Зависимость вероятности Q_0 невыполнения условий безопасности от параметра γ

Fig. 2. A dependence of the probability Q_0 of a non-fulfilment of the condition of a safety on a parameter γ

Определяется расчетное время эвакуации x_{10} и его дисперсия σ_1 . Далее находится дисперсия для предела огнестойкости σ_2 . Задается вероятность Q_0 исходя из экспертной оценки потери строительными конструкциями несущей способности до окончания эвакуации и/или спасения. На основе графика, представленного на рис. 2, по известному значению Q_0 находится соответствующий параметр γ . Затем по формуле, полученной из соотношений (5) и (6), определяется x_{20} :

$$x_{20} = x_{10} + \gamma (\sigma_1^2 + \sigma_2^2)^{1/2}. \quad (7)$$

Наиболее трудным вопросом при нахождении требуемого предела огнестойкости x_{20} является определение параметров σ_1 и σ_2 , которые, вообще говоря (даже если не принимать во внимание процедуру спасения), зависят от качества работ по огнезащите строительных конструкций, контингента эвакуирующихся, знания персоналом путей эвакуации. Для случая спасения задача определения параметра σ_1 существенно усложняется в силу малоизученности временных факторов процесса спасения.

Апробация предложенного метода

Для приближенной оценки величины σ_2 воспользуемся данными работы [22], в которой, в частности, приведены дисперсии времени выхода пожара на наружные ограждения здания. Ясно, что эти данные не в полной мере характеризуют параметр σ_2 , но могут быть использованы для оценочных расчетов. Согласно [22] σ_2 может достигать значения, составляющего до 20 % от указанного выше времени. Если ожидаемое значение x_{20} равно 60 мин, то $\sigma_2 = 12$ мин.

Согласно оценкам [5], полученным на основе экспериментальных данных по эвакуации людей с реальной технологической этажерки [23], σ_1 со-

ставляет около 10 % от расчетного времени эвакуации. Если принять $x_{10} = 15$ мин (это типичное время эвакуации с технологической части морской нефтеперерабатывающей платформы во временное убежище), то σ_1 составит 1,5 мин.

Полагая $Q_0 = 10^{-4}$, из рис. 2 находим, что $\gamma = 3,8$. Отсюда $x_{20} = 61$ мин. Остается дать интерпретацию данного параметра. Это время, в течение которого строительные конструкции должны сохранять несущую способность при различных сценариях проектного пожара (в том числе в случае углеводородного режима пожара и факельного горения). Если при углеводородном режиме пожара можно руководствоваться требованиями ГОСТ Р ЕН 1363-2-2014, то в случае факельного горения такой возможности нет, поскольку стандарт отсутствует. И это несмотря на то, что факельное горение, как показала практика, может существенно снизить предел огнестойкости строительной конструкции, особенно металлической без конструктивной огнезащиты. Возможно, поэтому в руководстве [24] регламентирован выбор предела огнестойкости несущих конструкций опор и несущих конструкций эстакад трубопроводов, а также площадок и этажерок в зоне воздействия пожара в диапазоне от 90 до 180 мин. В руководстве [24] под зоной воздействия пожара понимается пространство (как в длину и ширину, так и в высоту), в которое при аварийной ситуации могут выйти из оборудования и трубопроводов горючие сжиженные газы, легко воспламеняющиеся и горючие жидкости, горение которых может привести к существенным повреждениям технологического оборудования и трубопроводов.

Гораздо сложнее вопрос о требуемых пределах огнестойкости несущих конструкций с точки зрения безопасности процесса спасения людей. Для расчетов могут быть использованы приведенные выше формулы, однако нет надежных данных по времени спасения x_{10} и его дисперсии σ_1 . Как отмечено выше, по экспертным оценкам x_{10} может быть принято равным утроенному времени эвакуации, т. е. в нашем случае 45 мин. Тогда, принимая, что σ_1 составляет 10 % от x_{10} , получаем $\sigma_1 = 4,5$ мин. Расчет по формуле (7) дает при этом для прочих приведенных выше параметров $x_{20} = 94$ мин. Эта величина близка к минимальному регламентированному руководством [24] значению 90 мин.

Выводы

На основе вышеизложенного могут быть сделаны следующие выводы. В настоящей работе предложена новая методика оценки требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций производственных объектов, которая, в первую очередь, актуальна для технологических эстакад и этажерок

предприятий нефтяной и газовой промышленности. Данная методика основана на сравнении времен эвакуации и спасения, с одной стороны, и пределов огнестойкости строительных конструкций, обеспечивающих безопасную эвакуацию, — с другой. Для простоты не рассматривалось блокирование путей эвакуации другими опасными факторами пожара. Кроме того, для простоты было принято, что распределения рассматриваемых параметров являются нормальными, хотя в ряде работ говорится об иных видах распределения (см., например, [25]). Поскольку основная задача настоящей работы заключалась в анализе необходимости использования вероятностных методов для определения требуемых пределов огнестойкости, сделанные упрощения, на наш взгляд, допустимы.

Представлены примеры модельных расчетов. При этом выявлена необходимость наличия некоторого минимума исходных данных (расчетное время эвакуации и дисперсия его распределения, расчетное время спасения и дисперсия его распределения, дисперсия распределения предела огнестойкости, требуемая вероятность потери строительными кон-

струкциями несущей способности до окончания эвакуации и/или спасения). Если требуемая вероятность потери строительными конструкциями несущей способности задается директивно, а время эвакуации может быть с определенным приближением рассчитано по имеющимся методикам, то в отношении определения прочих параметров требуются дальнейшие исследования (например, крупномасштабные испытания для определения дисперсий времен эвакуации и спасения, времени спасения, а также накопление статических данных по дисперсии предела огнестойкости). Следовательно, расчет требуемых пределов огнестойкости, исходя из условий безопасной эвакуации или безопасного спасения (с точки зрения возможного обрушения строительных конструкций), в настоящее время вряд ли возможен с необходимой надежностью результатов вычислений. В связи с этим на данном этапе представляется необходимым использовать на практике консервативный подход руководства API 2218 [20], особенно с учетом того, что отсутствует методика определения пределов огнестойкости при факельном горении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Присадов В. И.* Надежность строительных конструкций при пожаре // Огнестойкость строительных конструкций : сб. тр. — М. : ВНИИПО, 1986. — С. 70–73.
2. *Присадов В. И.* Разработка методов выбора рациональных систем противопожарной защиты промышленных зданий : дис. ... д-ра техн. наук. — М., 1990. — 290 с.
3. PD 7974-7:2003. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings — Part 7: Probabilistic risk assessment. — London : British Standards Institution, 2003. — 88 p.
4. *Шебеко Ю. Н., Шебеко А. Ю.* Условия пожарной безопасности при определении допустимых параметров функционирования производственных объектов // Пожарная безопасность. — 2009. — № 4. — С. 61–66.
5. *Law M.* A review of formulae for T-equivalence // Fire Safety Science. — 1997. — Vol. 5. — P. 985–996. DOI: 10.3801/iafss.fss.5-985.
6. *Thomas G. C., Buchanan A. H., Fleischmann C. M.* Structural fire design: the role of time equivalence // Fire Safety Science. — 1997. — Vol. 5. — P. 607–618. DOI: 10.3801/iafss.fss.5-607.
7. *Cadorin J. F., Perez Jimenez C., Franssen J. M.* Influence of the section and of the insulation type on the equivalent time // Proceedings of the 4th International Seminar on Fire and Explosion Hazards. — Ulster : University of Ulster, 2004. — P. 547–557.
8. *Шебеко А. Ю., Шебеко Ю. Н.* Взаимосвязь величин температуры строительных конструкций при стандартном и углеводородном температурных режимах пожара // Пожарная безопасность. — 2017. — № 2. — С. 46–49.
9. *Шебеко А. Ю., Шебеко Ю. Н., Гордиенко Д. М.* Расчетная оценка эквивалентной продолжительности пожара для стальных конструкций технологической эстакады нефтеперерабатывающего предприятия // Пожарная безопасность. — 2017. — № 1. — С. 25–29.
10. *Гилетич А. Н., Шебеко А. Ю., Шебеко Ю. Н., Гордиенко Д. М.* Требуемые пределы огнестойкости строительных конструкций высотных зданий // Пожарная безопасность. — 2012. — № 4. — С. 31–39.
11. NFPA 220. Standard on types of building construction. — Quincy, MA : National Fire Protection Association, 2012. — 12 p.
12. *Correia A. M., Pires T. A. C., Rodrigues J. P. C.* Behaviour of steel columns subjected to fire // Proceedings of the 6th International Seminar on Fire and Explosion Hazards. — Leeds, UK : University of Leeds, 2011. — P. 879–890. DOI: 10.3850/978-981-08-7724-8_13-01.

13. Torić N., Peroš B., Boko I. Reliability of steel structures under fire conditions // Proceedings of the 6th International Seminar on Fire and Explosion Hazards. — Leeds, UK : University of Leeds, 2011. — P. 890–901. DOI: 10.3850/978-981-08-7724-8_13-02.
14. Баратов А. Н., Молчадский И. С. Горение на пожаре. — М. : ВНИИПО, 2011. — 502 с.
15. Голованов В. И., Павлов В. В., Пехотиков А. В., Брешина В. Н., Шкутова Т. В. Обеспечение нормируемой огнестойкости стальных конструкций основания резервуаров в условиях температурного режима углеводородного пожара // Пожарная безопасность. — 2018. — № 2. — С. 17–25.
16. Qing Xu, Guo-Qiang Li, Jian Jiang, Yong C. Wang. Experimental study of the influence of topcoat on insulation performance of intumescent coatings for steel structures // Fire Safety Journal. — 2018. — Vol. 101. — P. 25–38. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.08.006.
17. Meijing Liu, Shenggang Fan, Wenjun Sun, Runmin Ding, Ting Zhu. Fire-resistant design of eccentrically compressed stainless steel columns with constraints // Fire Safety Journal. — 2018. — Vol. 100. — P. 1–19. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.06.006.
18. Maciulaitis R., Grigonis M., Malaikiene J. The impact of the aging of intumescent fire protective coatings on fire resistance // Fire Safety Journal. — 2018. — Vol. 98. — P. 15–23. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.03.007.
19. Lucherini A., Giuliani L., Jomaas G. Experimental study of the performance of intumescent coatings exposed to standard and non-standard fire conditions // Fire Safety Journal. — 2018. — Vol. 95. — P. 42–50. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.10.004.
20. Янке Е., Эмде Ф., Леш Ф. Специальные функции: формулы, графики, таблицы / Пер. с нем. — М. : Наука, 1964. — 344 с.
21. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404 (с изм. на 14.12.2010). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902170886> (дата обращения: 05.09.2018).
22. Молчадский И. С., Присадков В. И. Моделирование пожаров в помещениях и зданиях // Юбилейный сборник трудов ВНИИПО / Под ред. А. Я. Корольченко. — М. : ВНИИПО, 1997. — С. 157–175.
23. Шебеко Ю. Н., Гордиенко Д. М., Некрасов В. П., Дроздов А. Е., Черноплеков А. Н., Шавкин С. В., Ляпин А. А., Дешевых Ю. И., Гилетич А. Н. Исследование процесса эвакуации людей при пожаре с этажерки технологической линии газоперерабатывающего завода // Пожарная безопасность. — 2008. — № 1. — С. 83–88.
24. API 2218. Fireproofing practices in petroleum and petrochemical processing plants. — Washington : American Petroleum Institute, 2013. — 60 p.
25. Холицевников В. В., Кудрин И. С. Экспериментальные исследования людских потоков в лестничной клетке многоэтажного здания // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 12. — С. 43–60.

Материал поступил в редакцию 14 октября 2018 г.

Для цитирования: Шебеко Ю. Н., Шебеко А. Ю., Гилетич А. Н. Методы определения требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций производственных объектов // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 11. — С. 51–57. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.51-57.

METHOD OF A DETERMINATION OF REQUIRED FIRE RESISTANCE LIMITS FOR BUILDING STRUCTURES OF INDUSTRIAL OBJECTS

Yu. N. SHEBEKO, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of Department of Fire Safety of Industrial Objects, All-Russian Research Institute for Fire Protection (VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; e-mail: yn_shebeko@mail.ru)

A. Yu. SHEBEKO, Candidate of Technical Sciences, Head of Department of Fire Safety of Building Materials, All-Russian Research Institute for Fire Protection (VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; e-mail: ay_shebeko@mail.ru)

A. N. GILETICH, Doctor of Technical Sciences, Head of Department of Industrial Control at Construction and Operation of Civil Objects "Rostelecom" (Goncharnaya St., 30, Moscow, 115172, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. In this study in accordance with the main principles of a probabilistic approach a method for a determination of required fire resistance limits of building structures of industrial objects was proposed. This method is based on a comparison of such random values as the fire resistance limits and the times required for an evacuation and a rescue. This method is particularly useful for external installation (for example pipe racks) of oil and gas plants.

Methods. A new probabilistic method for a determination of required fire resistance limits of building structures of industrial objects is proposed, which differs from that presented in GOST R 12.3.047–2012. The method is based on a comparison of distribution functions for such random values as an evacuation time, a time required for a rescue and fire resistance limits and differs from the method described in GOST R 12.3.047–2012, in which an equivalent fire duration and the fire resistance limits are compared. The proposed method takes into account that an owner of the object can risk of his property at an undoubtedly execution of requirements of a safety of people in the case of the fire (both personnel and people living near the object). These requirements are stated in a common in the article 6 of the Federal law on 22.07.2008 No. 123-FZ "On a technical regulation of a fire safety in Russian Federation".

Results. The method was tested for the cases of the evacuation and the rescue of people. It was mentioned that for an application of the proposed method the following input data are required: the required reliability of the building structures, the evacuation time and its standard deviation of a distribution, the time required for the rescue and its standard deviation of a distribution, the standard deviation of a distribution of the fire resistance limit.

Conclusion. In this study a new method for an evaluation of the required fire resistance limits of the building structures of industrial objects was proposed which is mostly applicable for the external technological installation (for example pipe racks) of oil and gas plants. The required reliability of the building structures is stated by a directive way. The evacuation time can be evaluated by the methods described in normative documents. But for other values either an analysis of statistical data is required (for the case of the standard deviation of the distribution of the fire resistance limit) or large scale experiments (the standard deviations of the distributions of the evacuation time and the time required for the rescue) should be performed.

Keywords: required fire resistance limits; probabilistic approach; evacuation time; time required for a rescue; random values; normal distribution; reliability of building structures.

REFERENCES

1. V. I. Prisadkov. A realibility of building structures at a fire. In: *Ognestoykost stroitelnykh konstruksiy* [Fire resistances of building structures]. Moscow, VNIPO Publ., 1986, pp. 70–73 (in Russian).
2. V. I. Prisadkov. *A creation of methods for a choice of an optimal fire protection system for industrial buildings*. Dr. tech. sci. diss. Moscow, 1990. 290 p. (in Russian).
3. PD 7974-7:2003. *Application of fire safety engineering principles to the design of buildings — Part 7: Probabilistic risk assessment*. London, British Standards Institution, 2003. 88 p.
4. Yu. N. Shebeko, A. Yu. Shebeko. About the fire safety conditions to determine the admissible parameters of industrial premises functioning. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2009, no. 4, pp. 61–66 (in Russian).
5. M. Law. A review of formulae for T-equivalence. *Fire Safety Science*, 1997, vol. 5, pp. 985–996. DOI: 10.3801/iafss.fss.5-985.
6. G. C. Thomas, A. H. Buchanan, C. M. Fleischmann. Structural fire design: the role of time equivalence. *Fire Safety Science*, 1997, vol. 5, pp. 607–618. DOI: 10.3801/iafss.fss.5-607.
7. J. F. Cadorin, C. Jimenez Perez, J. M. Franssen. Influence of the section and of the insulation type on the equivalent time. In: *Proceedings of the 4th International Seminar on Fire and Explosion Hazards*. Ulster, University of Ulster, 2004, pp. 547–557.

8. A. Yu. Shebeko, Yu. N. Shebeko. Relationship of temperatures of building structures at the standard and hydrocarbon regimes of fires. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2017, no. 2, pp. 46–49 (in Russian).
9. A. Yu. Shebeko, Yu. N. Shebeko, D. M. Gordienko. A settlement assessment of equivalent fire duration for steel structures of pipe rack of a refinery. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2017, no. 1, pp. 25–29 (in Russian).
10. A. N. Giletich, A. Yu. Shebeko, Yu. N. Shebeko, D. M. Gordienko. The required fire resistance limits for the high-rise buildings structures. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2012, no. 4, pp. 31–39 (in Russian).
11. NFPA 220. *Standard on types of building construction*. Quincy, MA, National Fire Protection Association, 2012. 12 p.
12. A. M. Correia, T. A. C. Pires, J. P. C. Rodrigues. Behaviour of steel columns subjected to fire. In: *Proceedings of the 6th International Seminar on Fire and Explosion Hazards*. Leeds, UK, University of Leeds, 2011, pp. 879–890. DOI: 10.3850/978-981-08-7724-8_13-01.
13. N. Torić, B. Peroš, I. Boko. Reliability of steel structures under fire conditions. In: *Proceedings of the 6th International Seminar on Fire and Explosion Hazards*. Leeds, UK, University of Leeds, 2011, pp. 890–901. DOI: 10.3850/978-981-08-7724-8_13-02.
14. A. N. Baratov, I. S. Molchadskiy. *Goreniye na pozhare* [Combustion at a fire]. Moscow, VNIPO Publ., 2011. 502 p. (in Russian).
15. V. I. Golovanov, V. V. Pavlov, A. V. Pekhotikov, V. N. Breshina, T. V. Shkutova. Ensuring the normable fire resistance of tank base steel structures in conditions of temperature regime of hydrocarbon fire. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2018, no. 2, pp. 17–25 (in Russian).
16. Qing Xu, Guo-Qiang Li, Jian Jiang, Yong C. Wang. Experimental study of the influence of topcoat on insulation performance of intumescent coatings for steel structures. *Fire Safety Journal*, 2018, vol. 101, pp. 25–38. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.08.006.
17. Meijing Liu, Shenggang Fan, Wenjun Sun, Runmin Ding, Ting Zhu. Fire-resistant design of eccentrically compressed stainless steel columns with constraints. *Fire Safety Journal*, 2018, vol. 100, pp. 1–19. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.06.006.
18. R. Maciulaitis, M. Grigonis, J. Malaikiene. The impact of the aging of intumescent fire protective coatings on fire resistance. *Fire Safety Journal*, 2018, vol. 98, pp. 15–23. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.03.007.
19. A. Lucherini, L. Giuliani, G. Jomaas. Experimental study of the performance of intumescent coatings exposed to standard and non-standard fire conditions. *Fire Safety Journal*, 2018, vol. 95, pp. 42–50. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.10.004.
20. Janke E., Emde F., Losch F. *Tafeln hoherer funktionen*. Stuttgart, B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, 1960 (Russ. ed.: Janke E., Emde F., Losch F. *Spetsialnyye funktsii: formuly, grafiki, tablitsy*. Moscow, Nauka Publ., 1964. 344 p.).
21. *On the approval of technique of determination of settlement sizes of fire risk on production objects*. Order of Emercom of Russia on 10.07.2009 No. 404 (ed. 14.12.2010) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902170886> (Accessed 6 September 2018).
22. I. S. Molchadskiy, V. I. Prisadkov. Modeling of fires in rooms and buildings. In: *Yubileyny sbornik trudov VNIPO* [Jubilee Proceedings of VNIPO]. Moscow, VNIPO Publ., 1997, pp. 157–175 (in Russian).
23. Yu. N. Shebeko, D. M. Gordienko, V. P. Nekrasov, A. E. Drozdov, A. N. Chernoplekov, S. V. Shavkin, A. A. Lyapin, Yu. I. Deshevykh, A. N. Giletich. An investigation of a people evacuation from a technological pipe rack of a gas processing plant. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2008, no. 1, pp. 83–88 (in Russian).
24. API 2218. *Fireproofing practices in petroleum and petrochemical processing plants*. Washington, American Petroleum Institute, 2013. 60 p.
25. Kholshchevnikov V. V., Kudrin I. S. Experimental investigations of human flows in staircases of a high rise building. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 12, pp. 43–60 (in Russian).

For citation: Yu. N. Shebeko, A. Yu. Shebeko, A. N. Giletich. Method of a determination of required fire resistance limits for building structures of industrial objects. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 11, pp. 51–57 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.51-57.