

А. Н. ЧЛЕНОВ, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры пожарной автоматики, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: chlenov@mail.ru)

Т. А. БУЦЫНСКАЯ, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

С. Ю. ЖУРАВЛЕВ, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры пожарной автоматики, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

В. А. НИКОЛАЕВ, инженер, начальник сектора, Научно-исследовательский центр "Охрана" МВД России (Россия, 111024, г. Москва, ул. Пруд Ключики, 2, стр. 8)

УДК 614.842.4

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МУЛЬТИКРИТЕРИАЛЬНОГО ПОЖАРНОГО ИЗВЕЩАТЕЛЯ

Рассмотрен новый вид технических средств пожарной сигнализации — извещатели пожарные мультикритериальные (ИПМ). Приведена классификация этих извещателей в России и за рубежом. Предложено при оценке эффективности функционирования многоблочного ИПМ учитывать не только характеристики обнаружения, но и его аппаратную надежность. Получено математическое выражение для оценки этой эффективности ИПМ; проведен его численный анализ. Показана возможность оптимизации конструкции извещателей данного вида с использованием введенного параметра.

Ключевые слова: пожарная сигнализация; обнаружение пожара; мультикритериальный пожарный извещатель; канал обнаружения; надежность; техническая эффективность.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.12.55-60

В последние годы на рынке технических средств пожарной сигнализации появились извещатели, характеризующиеся как *мультикритериальные* и *мультисенсорные* [1, 2]. Широкое распространение таких извещателей обусловлено их более высокой эффективностью по сравнению с однотипными комбинированными извещателями. К основным показателям эффективности относят: уменьшение времени обнаружения пожара за счет обнаружения открытых и тлеющих очагов на ранней стадии; защиту от ложных тревог при воздействии пара, аэрозолей, пыли. Быстрое развитие данного вида технических средств потребовало определения их места и роли в системах пожарной сигнализации.

Мультикритериальные и мультисенсорные пожарные извещатели относятся к классу автоматических пожарных извещателей (ИП), реагирующих на два или более физических факторов пожара (ГОСТ Р 53325—2012). Особенностью их в отличие от "обычных" комбинированных ИП является наличие сложного алгоритма обработки информации в сравнении с применяемой ранее простейшей логикой "ИЛИ".

За рубежом разделяют мультикритериальные и мультисенсорные ИП по вкладу анализируемых факторов в принятие решения о формировании извещения "пожар" в системе сигнализации. Мультикри-

териальный ИП оценивает обстановку по основному обнаруживаемому фактору. При этом чувствительность по основному каналу зависит от изменения других контролируемых факторов. Мультисенсорный ИП обнаруживает пожар по нескольким видам контролируемых факторов, но использует сложный алгоритм обработки информации, поступающей от сенсоров (чувствительных элементов), обеспечивающих преобразование текущего значения контролируемого физического параметра окружающей среды в электрический сигнал.

В России терминология, касающаяся различных видов комбинированных ИП, представлена в новом, разрабатываемом в настоящее время ГОСТе "Извещатели пожарные мультикритериальные. Общие технические требования и методы испытаний". В соответствии с ним извещатель пожарный мультикритериальный (ИПМ) определен как "автоматический ИП, контролирующий два или более физических параметра окружающей среды, изменяющихся при пожаре, и обеспечивающий самостоятельно либо во взаимодействии с приемно-контрольным прибором (ППКП) формирование сигнала о пожаре на основании результатов обработки контролируемых данных по заданному алгоритму". Таким образом, термин

ИПМ включает в себя и мультикритериальные, и мультисенсорные ИП.

Классификация ИПМ, учитывающая различные способы их технической реализации, приведена на рис. 1.

Следует отметить особенности данной классификации. В настоящее время в ИПМ для формирования каналов обнаружения действительно используются четыре основных вида контролируемых физических параметров окружающей среды — тепловой, дымовой, пламени, газовый. Вместе с тем данный перечень не ограничивает число возможных обнаруживаемых факторов пожара. Известны, например, устройства, использующие акустические эффекты, сопровождающие пожар [3], изменение видеоизображения в видимой области спектра [4–8] и т. д. Кроме того, особенности используемых принципов действия каналов обнаружения могут потре-

бовать их разделения в пределах одного фактора (например, инфракрасная и ультрафиолетовая области спектра при обнаружении пламени, оптическая и радиоизотопная — при обнаружении дыма). Таким образом, количество каналов обнаружения в общем случае может быть больше четырех.

Второй особенностью является способ технической реализации каналов обнаружения. Они могут быть объединены в один конструктивно законченный блок или представлять собой многоблочную конструкцию с проводными линиями связи между взаимодействующими элементами и с ППКП. Усложнение конструкции и введение дополнительных соединений неизбежно отрицательно скажется на надежности извещателя.

Таким образом, при оценке эффективности ИПМ целесообразно дополнительно учитывать такой важный показатель, как надежность, которая характеризуется степенью готовности извещателя в произвольный момент времени выполнить свою основную функцию, заключающуюся в обнаружении пожара.

Рассмотрим возможность введения комплексного показателя — технической эффективности ИПМ $\mathcal{E}_t$, под которой будем понимать вероятность выполнения им основной задачи (целевой функции), состоящей для работоспособного извещателя в надежном обнаружении пожара:

$$\mathcal{E}_t = P_p P_{оп}, \quad (1)$$

где P_p — вероятность работоспособного состояния; $P_{оп}$ — вероятность обнаружения пожара.

Вероятность P_p характеризуется вероятностью работоспособного состояния к началу возникновения необходимости обнаружения пожара $P_{р.нач.о}$ и вероятностью работоспособного состояния в период его обнаружения $P_{р.оп}$:

$$P_p = P_{р.нач.о} P_{р.оп}. \quad (2)$$

Вероятность $P_{р.нач.о}$ определяется как коэффициент готовности [9], т. е.

$$P_{р.нач.о} \approx \frac{T_{но}}{T_{но} + T_{в}}, \quad (3)$$

где $T_{но}$ — среднее время наработки на отказ; $T_{в}$ — среднее время восстановления.

Для $P_{р.оп}$ можно записать:

$$P_{р.оп} = \exp(-t_o/T_{но}), \quad (4)$$

где t_o — период наблюдения (обычно 10^3 ч).

Рассмотрим ИПМ, состоящий из n каналов обнаружения, при этом отказ любого из них приводит к нарушению работоспособности всего извещателя. В этом случае

$$P_{р.оп}(t) = \prod_{i=1}^n P_{р.оп i} = \exp\left(-t_o \sum_{i=1}^n T_{но i}^{-1}\right), \quad (5)$$

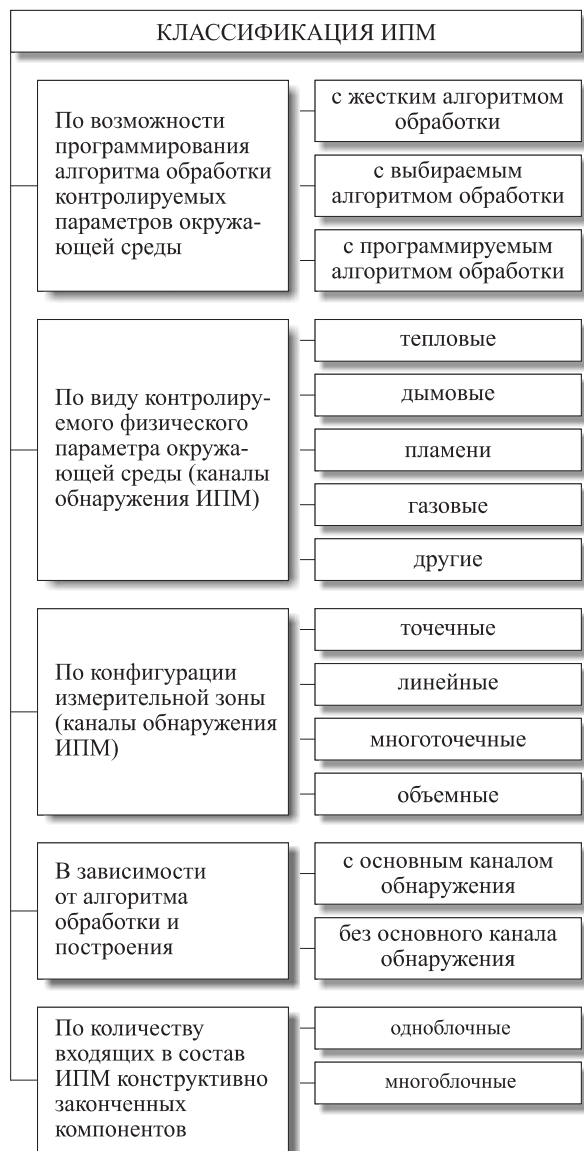


Рис. 1. Классификация ИПМ

где $P_{р.опi}$, $T_{ноi}$ — соответственно вероятность работоспособного состояния в период обнаружения и среднее время наработки на отказ для i -го канала.

Параметр $P_{р.нач.о}$ можно определить с помощью выражения

$$P_{р.нач.о} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n 1/T_{ноi}\right)^{-1}}{\left(\sum_{i=1}^n 1/T_{ноi}\right)^{-1} + T_B}. \quad (6)$$

Подставляя (5) и (6) в (2), получим выражение для вероятности работоспособного состояния ИПМ:

$$P_p = \frac{\left(\sum_{i=1}^n 1/T_{ноi}\right)^{-1}}{\left(\sum_{i=1}^n 1/T_{ноi}\right)^{-1} + T_B} \exp\left(-t_o \sum_{i=1}^n T_{ноi}^{-1}\right). \quad (7)$$

На рис. 2 и 3 в качестве примера представлены зависимости $P_p = F(n, T_B)$ и $P_p = F(T_{ноi}, T_B)$ при определенных значениях остальных параметров. Из рисунков следует, что вероятность работоспособного состояния P_p существенно зависит как от количества каналов обнаружения n , так и от их надежности, характеризуемой параметром $T_{но}$.

В общем случае отдельные каналы обнаружения в ИПМ для принятия решения о пожаре могут объединяться по заданной логической схеме “ИЛИ”, “И” или мажоритарной логике “ m из n ”. В последнем случае обнаружение произойдет, если из n каналов за заданный промежуток времени обнаружат пожар (сработают) m каналов.

Из теории вероятностей известно, что вероятность наступления события обнаружения для n не-

зависимых каналов m раз равна коэффициенту φ_n при Z^m в выражении производящей функции [12]:

$$\varphi_n(Z^m) = \prod_{i=1}^n (q_i + P_{опi} Z^m), \quad (9)$$

где $q_i = 1 - P_{опi}$;

$P_{опi}$ — вероятность обнаружения пожара i -м каналом.

С учетом этого в общем виде для любого $n \geq 1$ при $1 \leq m \leq n$ можно представить выражение для определения вероятности обнаружения $P_{оп}$ в виде [11]:

$$P_{оп} = \sum_{k=0}^{n-m} \left[(-1)^k C_{m+k-1}^k \sum_{m+k}^{n-m-k} \prod P_{опi} \right], \quad (10)$$

где m — количество срабатываний;

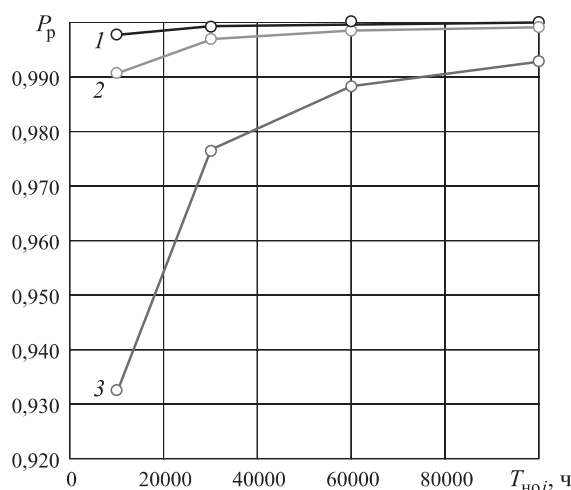


Рис. 3. Зависимость вероятности P_p работоспособного состояния ИПМ от средней наработки на отказ каналов обнаружения $T_{ноi}$ при $t_o = 10^3$ ч, $n = 4$ и времени восстановления T_B : 1 — 6 ч; 2 — 24 ч; 3 — 180 ч

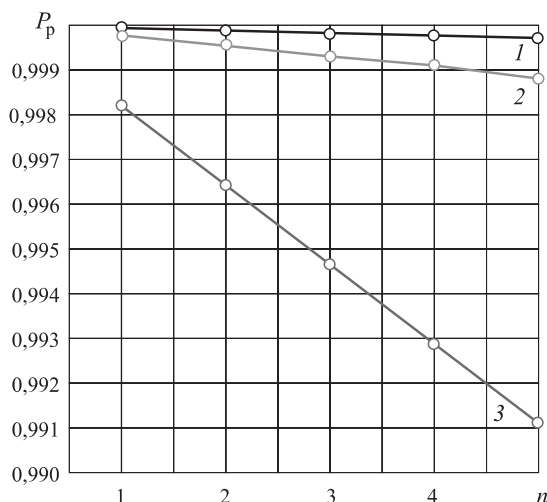


Рис. 2. Зависимость вероятности P_p работоспособного состояния ИПМ от количества каналов обнаружения n при $t_o = 10^3$ ч, $T_{ноi} = 10^5$ ч и времени восстановления T_B : 1 — 6 ч; 2 — 24 ч; 3 — 180 ч

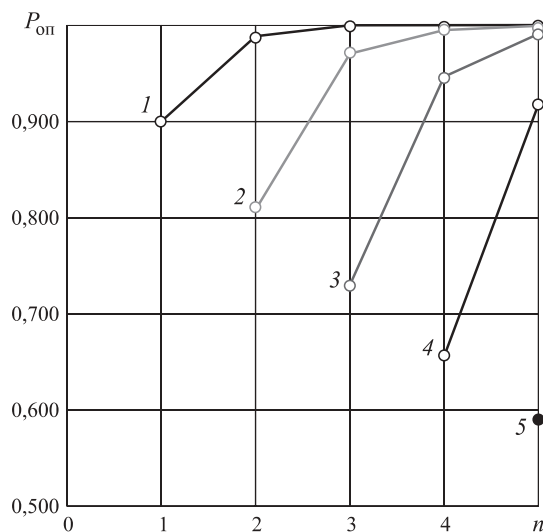


Рис. 4. Зависимость вероятности обнаружения пожара $P_{оп}$ от количества каналов обнаружения n : 1 — $m = 1$; 2 — $m = 2$; 3 — $m = 3$; 4 — $m = 4$; 5 — $m = 5$

n — общее количество каналов обнаружения;
 k — порядковый номер слагаемого суммы, считая первое нулевым;

$(n - m + 1)$ — количество членов (слагаемых) общей суммы — всего выражения (10);

$\sum \prod_{i=1}^{m+k} P_{\text{оп}i}$ — сумма всех возможных произведений вероятностей обнаружения, отличающихся индексом из n по $(m + k)$;

C_{m+k-1}^k — количество сочетаний из $(m + k - 1)$ по k ;

$$C_{m+k-1}^k = \frac{(m + k - 1)!}{(m - 1)! k!};$$

C_n^{n-m-k} — количество членов этой суммы.

На рис. 4 представлена зависимость $P_{\text{оп}} = F(n, m)$ для вероятности обнаружения каждым каналом, составляющей $P_{\text{оп}i} = 0,9$.

Подставив (8) и (10) в (1), окончательно получим выражение для оценки технической эффективности ИПМ, состоящего из n каналов обнаружения:

$$\mathcal{E}_T = \frac{\left(\sum_{i=1}^n 1/T_{\text{но}i} \right)^{-1}}{\left(\sum_{i=1}^n 1/T_{\text{но}i} \right)^{-1} + T_B} \times \sum_{k=0}^{n-m} \left[(-1)^k C_{m+k-1}^k \sum_{i=1}^{n-m-k} \prod_{i=1}^{m+k} P_{\text{р.нач.о}i} \right]. \quad (11)$$

Проведем анализ выражения (11) для определения характера зависимости $\mathcal{E}_T$ от n и m при различных значениях характеристик обнаружения каналов $P_{\text{оп}i}$ и параметров их надежности. На рис. 5 представлена зависимость технической эффективности $\mathcal{E}_T$ от количества каналов обнаружения n при $m = 1$.

Как показано выше, с увеличением n для фиксированного m значение вероятности $P_{\text{р}}$ носит ниспадающий характер, а $P_{\text{оп}}$ — наоборот, восходящий, поэтому зависимость $\mathcal{E}_T(n)$ имеет максимум.

Учитывая это, можно определить оптимальное значение n , при котором величина $\mathcal{E}_T$ становится максимальной в зависимости от надежности каналов обнаружения. Соответствующая зависимость представлена на рис. 6. Для заданных значений параметров и различных значений времени восстановления оптимальное количество каналов обнаружения в ИПМ

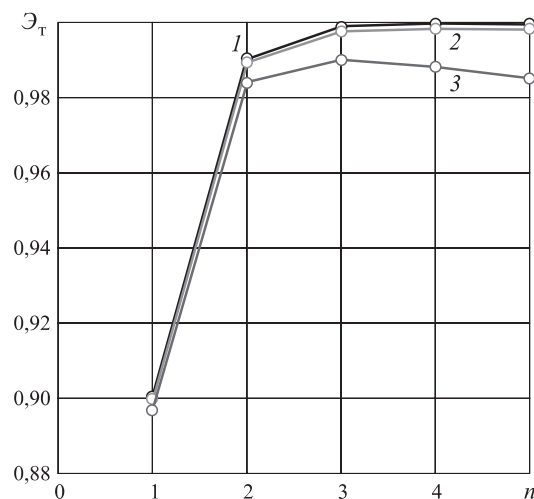


Рис. 5. Зависимость технической эффективности ИПМ $\mathcal{E}_T$ от количества каналов обнаружения n при $m = 1$, $t_0 = 10^3$ ч, $T_{\text{но}i} = 6 \cdot 10^4$ ч, $P_{\text{оп}i} = 0,9$ и времени восстановления T_B : 1 — 6 ч; 2 — 24 ч; 3 — 180 ч

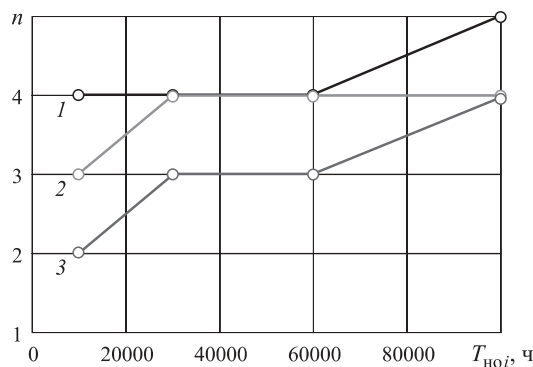


Рис. 6. Зависимость оптимального количества каналов обнаружения ИПМ от среднего времени наработки на отказ каналов обнаружения $T_{\text{но}i}$ при $m = 1$, $t_0 = 10^3$ ч, $P_{\text{оп}i} = 0,9$ и времени восстановления T_B : 1 — 6 ч; 2 — 24 ч; 3 — 180 ч

находится в диапазоне 2–5. Следует отметить, что при выборе оптимального числа каналов n должно учитываться соответствующее значение $\mathcal{E}_T$, которое определяется не только характеристиками ИПМ, но и условиями его эксплуатации и технического обслуживания.

Таким образом, предложенный параметр технической эффективности $\mathcal{E}_T$ может быть использован в обоснованных случаях при разработке и применении ИПМ, а также модульных комплексов и систем пожарной сигнализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неплохов И. Г. Что придет на смену дымовым пожарным извещателям? // Алгоритм безопасности. — 2007. — № 4. — С. 44–47.
2. Фёдоров А. В., Членов А. Н., Лукьянченко А. А., Буцынская Т. А., Демёхин Ф. В. Системы и технические средства раннего обнаружения пожара: монография. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. — 155 с.
3. Членов А. Н., Фомин В. И., Буцынская Т. А., Демёхин Ф. В. Новые методы и технические средства обнаружения пожара. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2007. — 175 с.

4. Yu-Chun Wen, Fa-Xin Yu, Xiao-Lin Zhou, Zhe-Ming Lu. A vector quantization based automatic fire detection system // Information Technology Journal. — 2010. — Vol. 9, Issue 4. — P. 758–765. DOI: 10.3923/itj.2010.758.765.
5. Turgay Çelik, Hasan Demirel. Fire detection in video sequences using a generic color model // Fire Safety Journal. — 2009. — Vol. 44, Issue 2. — P. 147–158. DOI: 10.1016/j.firesaf.2008.05.005.
6. Turgay Çelik. Fast and efficient method for fire detection using image processing // ETRI Journal. — 2010. — Vol. 32, No. 6. — P. 881–890. DOI: 10.4218/etrij.10.0109.0695.
7. Козубовський В., Федак М. Вимірювання та опрацювання даних мультисенсорного датчика з використанням нейронної мережі // Метрологія та прилади. — 2014. — № 1. — С. 33.
8. Членов А. Н., Дровникова И. Г., Демёхин Ф. В. Новые возможности применения видеодетекторов // Вестник МЭИ. — 2010. — № 1. — С. 73–78.
9. Шаровар Ф. И. Пожаропредупредительная автоматика: теория и практика предотвращения пожаров от маломощных загораний : монография. — М. : Специнформатика–СИ, 2013. — 556 с.
10. Вентцель Е. С. Теория вероятностей : учеб. для вузов. — 5-е изд. стер. — М. : Высшая школа, 1998. — 576 с.
11. Справочник по вероятностным расчетам. — М. : Воениздат, 1970. — 536 с.

Материал поступил в редакцию 11 октября 2016 г.

Для цитирования: Членов А. Н., Буцынская Т. А., Журавлев С. Ю., Николаев В. А. Об эффективности функционирования мультикритериального пожарного извещателя // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 12. — С. 55–60. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.12.55-60.

English

OPERATION EFFICIENCY OF MULTICRITERIAL FIRE DETECTOR

CHLENOV A. N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Fire Automatics Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: chlenov@mail.ru)

BUTSYNSKAYA T. A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

ZHURAVLEV S. Yu., Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of Fire Automation Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

NIKOLAEV V. A., Engineer, Head of Department, Scientific Research Center "Okhrana" of Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation (Prud Klyuchiki St., 2, build. 8, Moscow, 111024, Russian Federation)

ABSTRACT

Now detectors that sensing on two and more fire physical factors have appeared and get popular application. These detectors are different concerning usual combined fire detectors and they use more difficult algorithm of information processing.

The considered classification of multicriterial fire detectors has allowed to dedicate two features accounting various ways of their technical implementation.

The first feature is probably number of used types of monitored physical environment parameters. Now four main channels of detection are actively used in such detectors: heat, smoke, flame and gas. However, this list doesn't limit possible detected factors of ignition. Now there are known, for example, devices which use acoustic effects, conducting fire, change video image within scene of specter and others.

The second feature is way of technical implementation of detection channel. They can be joined by one constructively completed unit or be multiblock structure, with wire communication lines between cooperated components and with fire control panel. Construction complication and the introduction additional connections negatively influence on detector's reliability.

Thus, during evaluating of efficiency it is necessary additionally to consider important indicator — reliability, which can be characterized by degree of readiness of multicriterial fire detector to perform its main function of fire detection at any moment of time. In this article the opportunity of introduction of complex indicator “technical readiness” of multicriterial fire detector is considered. This indicator is probability of performance by multicriterial fire detector the main preset task (objective function), that consists in insured fire detection.

The mathematical expression for technical efficiency of multicriterial fire detector is received. Its numeric analysis for determination of dependences character of “technical efficiency” from number of detection channels at different values of detection channels characteristics and parameters their reliability is carried out.

The opportunity of construction detector’s optimization by usage of introduced parameter is shown in this article. The offered parameter of technical efficiency may be used in well-founded cases for designing and application of multicriterial fire detector and also for modular complexes and fire alarm systems.

Keywords: fire alarm; fire detection; multicriterial fire detector; detection channel; reliability; technical efficiency.

REFERENCES

1. Neplokhov I. G. What will change smoke fire detectors? *Algoritm bezopasnosti (Security Algorithm)*, 2007, no. 4, pp. 44–47 (in Russian).
2. Fedorov A. V., Chlenov A. N., Lukyanchenko A. A., Butsynskaya T. A., Demekhin F. V. *Systems and technical means of early detection of fire*. Monograph. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2009. 155 p. (in Russian).
3. Chlenov A. N., Fomin V. I., Butsynskaya T. A., Demekhin F. V. *New procedures and technical means of fire detection*. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2007. 175 p. (in Russian).
4. Yu-Chun Wen, Fa-Xin Yu, Xiao-Lin Zhou, Zhe-Ming Lu. A vector quantization based automatic fire detection system. *Information Technology Journal*, 2010, vol. 9, issue 4, pp. 758–765. DOI: 10.3923/itj.2010.758.765.
5. Turgay Çelik, Hasan Demirel. Fire detection in video sequences using a generic color model. *Fire Safety Journal*, 2009, vol. 44, issue 2, pp. 147–158. DOI: 10.1016/j.firesaf.2008.05.005.
6. Turgay Çelik. Fast and efficient method for fire detection using image processing. *ETRI Journal*, 2010, vol. 32, no. 6, pp. 881–890. DOI: 10.4218/etrij.10.0109.0695.
7. Kozubovskiy V., Fedak M. Measurements and data processing of multitouch sensor by using of neural network. *Metrology and Devices*, 2014, no. 1, p. 33 (in Ukraine).
8. Chlenov A. N., Drovnikova I. G., Demekhin F. V. New possibilities of video detector application. *Vestnik MEI (MPEI Vestnik)*, 2010, no. 1, pp. 73–78 (in Russian).
9. Sharovar F. I. *Fire Warning automatics: the theory and practice of prevention of fires from low-power ignitions*. Monograph. Moscow, Spetsinformatika–SI Publ., 2013. 556 p. (in Russian).
10. Venttsel E. S. *The theory of probabilities*. Textbook for high school. 5th ed. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1998. 576 p. (in Russian).
11. *Handbook of probability calculations*. Moscow, Voenizdat, 1970. 536 p. (in Russian).

For citation: Chlenov A. N., Butsynskaya T. A., Zhuravlev S. Yu., Nikolaev V. A. Operation efficiency of multicriterial fire detector. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 12, pp. 55–60. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.12.55-60.