

Научная статья

УДК 51-74:614.842.4; DOI: 10.61260/2218-13X-2023-4-59-70

МЕТОД МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ В ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

✉ Кожевин Дмитрий Федорович;

Матвеев Александр Владимирович;

Самигуллин Гафур Халафович;

Смирнов Алексей Сергеевич.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ kozhevin_df@igps.ru

Аннотация. Оценка эффективности технических средств является важной практической задачей на этапе выбора их состава при проектировании сложных организационно-технических систем. Предлагается авторский метод многокритериальной оценки эффективности технических средств на основе анализа размерностей, позволяющий учитывать множество их частных характеристик. Данный метод позволяет решать задачи определения количественных значений обобщенных показателей эффективности и результативности технических средств и на их основе производить выбор предпочтительного варианта для включения в структуру организационно-технических систем. Представлен практический пример использования метода для выбора датчиков при синтезе системы противопожарной защиты объекта.

Ключевые слова: оценка, эффективность, результативность, надежность, организационно-технические системы, технические средства

Для цитирования: Кожевин Д.Ф., Матвеев А.В., Самигуллин Г.Х., Смирнов А.С. Метод многокритериальной оценки эффективности технических средств в организационно-технических системах // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2023. № 4. С. 59–70. DOI: 10.61260/2218-13X-2023-4-59-70.

Scientific article

METHOD OF MULTI-CRITERIA EVALUATION OF TECHNICAL MEANS EFFICIENCY IN ORGANISATIONAL AND TECHNICAL SYSTEMS

✉ Kozhevin Dmitry F.;

Matveev Alexander V.;

Samigullin Gafur Kh.;

Smirnov Alexey S.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM OF Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ kozhevin_df@igps.ru

Abstract. Evaluation of the efficiency of technical means is an important practical task at the stage of selecting their composition when designing complex organizational and technical systems. The author's method of multicriteria evaluation of technical means efficiency on the basis of dimension analysis is proposed, which allows to take into account many of their private characteristics. This method allows solving the problems of determining the quantitative values of generalised indicators of efficiency and effectiveness of technical means and, on their basis, selecting the preferred option for inclusion in the structure of organisational and technical systems. A practical example of using the method to select sensors in the synthesis of fire protection system of the object is presented.

Keywords: assessment, efficiency, effectiveness, reliability, organizational and technical systems, technical means

For citation: Kozhevin D.F., Matveev A.V., Samigullin G.Kh., Smirnov A.S. Method of multi-criteria evaluation of technical means efficiency in organisational and technical systems // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2023. № 4. P. 59–70. DOI: 10.61260/2218-13X-2023-4-59-70.

Введение

Эффективность различного рода технических или организационно-технических систем напрямую зависит от эффективности входящих в их структуру технических средств или элементов. Оценка эффективности технических средств является важной практической задачей на этапе выбора их состава при проектировании сложных организационно-технических систем [1].

К настоящему времени еще не сложилось одного универсального метода, позволяющего оценивать эффективность технических средств. Под каждую проектируемую техническую или организационно-техническую систему проектировщиком используется свой подход к оценке средств, обуславливающий некоторый субъективизм [2]. При оценке эффективности могут использоваться различные методы, которые основываются на таких дисциплинах, как: системотехника, системный анализ, теория надежности, исследование операций и др.

Проблема применения различных подходов к оцениванию эффективности начинается в первую очередь с того, что среди специалистов до сих пор отсутствует единое мнение, что понимать под термином «эффективность» [3–5]. В различных отечественных и зарубежных руководящих документах также используются разнообразные определения «эффективности» [6–10].

По определению ISO 9000, «эффективность – это соотношение между достигнутым результатом и использованными ресурсами» [6]. При этом в процессе преобразования ISO 9000 в ГОСТ Р ИСО 9000–2015 «Национальный стандарт Российской Федерации. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь» [7] при переводе с английского на русский язык содержится некорректная интерпретация терминов «efficiency» и «effectiveness» [11]. В частности, не учитываются содержательные различия в терминах «результативность» и «производительность». В п. 3.7.11 ГОСТ Р ИСО 9000 приведено понятие «результативность (effectiveness) – степень реализации запланированной деятельности и достижения запланированных результатов». Причем даже в переводчиках (например, Google), и «efficiency», и «effectiveness» соответствуют русскому слову «эффективность». Видимо отсюда и пошло двусмысленное понимание этого термина.

В большинстве существующих исследований показатель эффективности технических средств оценивается лишь одним параметром (вероятность эффективной работы, надежность, время безотказной работы, остаточный ресурс и др.) [12–15].

В частности, решение научно-практических задач по оценке пожарной опасности, как правило, базируется на определении значений пожарного риска или уровня обеспечения пожарной безопасности, требующих применения показателя вероятности эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности. В общем случае требуемое значение вероятности вычисляется по известной формуле, приведенной в работе [16] с помощью табличных данных по вероятности эффективного срабатывания совокупности применяемых технических средств. В развитие существующего подхода в работе [17] предлагается учитывать конфигурацию реальных систем противопожарной защиты объектов (пожарной сигнализации, установок пожаротушения, систем противодымной защиты и оповещения и управления эвакуацией людей) на основе теории надежности при последовательном, параллельном или комбинированном соединении

элементов этих систем. Соответственно, при таком подходе используются исключительно вероятностные показатели, без учета технических характеристик рассматриваемого оборудования, оценка которых важна, например, при выборе двух различных по характеристикам, но одинаковых по надежности приборов.

В этой связи ставится задача многокритериальной оценки эффективности технических средств, учитывающей их различные характеристики.

Для решения подобного класса задач наибольшее развитие получил метод анализа иерархий [18–20], в котором для каждого из критериев ставится в соответствие определенный весовой коэффициент и рассчитывается интегральное значение оценки. Некоторыми авторами при принятии решений по выбору технических средств используются методы нечеткой логики [21, 22].

В настоящем исследовании предлагается авторский метод многокритериальной оценки эффективности технических средств (альтернативных решений), основанный на применении π -теоремы анализа размерностей.

Методы исследования

Предлагается подход к оценке вероятности эффективной работы технических средств с учетом множества их характеристик:

$$P_o = P_{б.р.} \cdot P_{рез} , \quad (1)$$

где P_o – вероятность эффективной работы технического средства; $P_{б.р.}$ – вероятность безотказной работы технического средства; $P_{рез}$ – «техническая эффективность» работы средства, определяющая его «результативность» (степень достижения цели либо получения положительного результата).

Таким образом, физический смысл показателя $P_{рез}$ соответствует приведенному выше определению результативности (R), то есть отражает степень достижения желаемого результата как отношение фактического значения параметра ($k^{факт}$) к требуемому значению ($k^{треб}$):

$$P_{рез} = R_k = \frac{k^{факт}}{k^{треб}} .$$

Иными словами, показатель R_k представляет собой безразмерный комплекс, который может быть получен посредством π -теоремы методом анализа размерностей [23, 24]. Симплексы, входящие в состав комплекса R_k , характеризуют отношение фактического значения величины параметра k к его требуемому значению.

В случае когда для оценки технического средства рассматриваются несколько его характеристик, то из нескольких безразмерных величин возможно составить обобщенный комплекс (определяемый методами экспертной оценки) по следующему правилу «симплекс параметра, положительно влияющего на результативность, описываемой обобщенным комплексом ставится в числитель, отрицательно влияющий – в знаменатель»:

$$\pi = \prod_{i=1}^n R_i ,$$

где $R_i = \frac{k_i^{факт.}}{k_i^{треб.}}$, $i = 1 \dots n$; n – количество характеристик технического средства.

Обобщенный π -комплекс показывает вероятность достижения требуемого результата – общую результативность технического средства. Но в связи с тем, что фактическое значение одного из параметров, описывающих техническое средство, может превышать требуемое, то численное значение R_i может превысить единицу. В случае, если обобщенный π -комплекс превышает единицу, то это означает, что результат достигнут, но с дополнительными затратами, которые снижают в целом эффективность системы

(экономическую). Поэтому при оценке обобщенного π -комплекса, значения, превышающие единицу, рассматривать не имеет смысла.

Ограничение величины результативности и/или эффективности для численного значения комплекса $R=1$ имеет физическую интерпретацию, если провести аналогию со скоростью (понятие «предельная скорость» соответствует скорости света), что является вполне справедливым и может применяться при формировании новых подходов для оценки эффективности технических средств или принимаемых альтернативных решений.

Результаты исследования и их обсуждение

В качестве демонстрации предлагаемого подхода рассматривается конкретная задача выбора технического средства из некоторого конечного множества альтернативных вариантов по критерию результативности. Оценка каждого технического средства проводится по двум характеристикам R_1 и R_2 , причем R_1 положительно влияет на общую результативность, а R_2 – отрицательно, то есть $\pi = R_1/R_2$. Значения показателей R_1 , R_2 и общей результативности сравниваемых технических средств (π) представлены в табл. 1. Как было отмечено выше, предельные значения R_1 , R_2 и π принимаются равными единице. Соответственно:

$$\pi_{\text{пред}} = \begin{cases} \pi, & \text{если } \pi \leq 1 \\ 1, & \text{если } \pi > 1 \end{cases}.$$

Таблица 1

Оценка параметров технических средств

R_1	R_2	π	$\pi_{\text{пред}}$
0,091696	0,904385	0,10139	0,10139
0,132675	0,842063	0,15756	0,15756
0,165361	0,785178	0,210603	0,210603
0,277972	0,920663	0,301925	0,301925
0,206295	0,564315	0,365567	0,365567
0,22396	0,272869	0,82076	0,82076
0,297211	0,344865	0,861818	0,861818
0,618054	0,218041	2,83458	1
0,473903	0,084539	5,60576	1
1	1	1	1

К более эффективным будут относиться средства (решения) с наибольшим значением целевого показателя $\pi_{\text{пред}}$.

По результатам оценки параметров технических средств, представленных в табл. 1, построены линейные зависимости эндогенной переменной $\pi_{\text{пред}}$ от каждой из экзогенных переменных R_1 , R_2 , π , сформированы соответствующие линии тренда (рис. 1) [25].

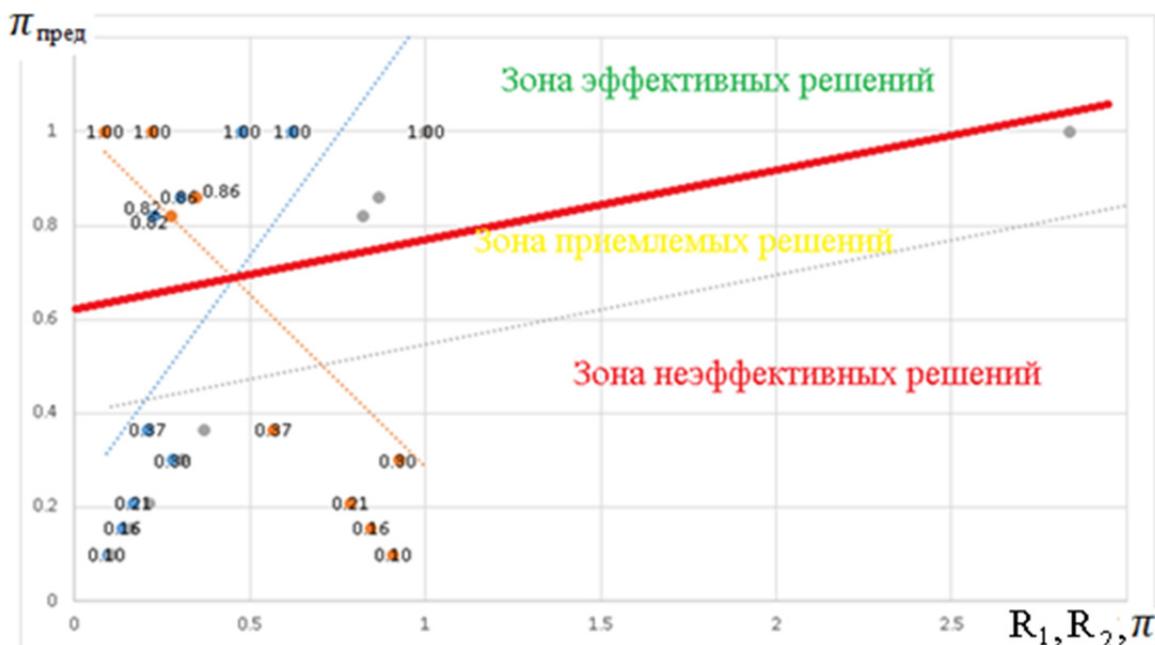


Рис. 1. Графическая интерпретация оценки эффективности технических средств (альтернативных решений) (синим цветом обозначены точки зависимости $\pi_{пред}(R_1)$; синим пунктиром соответствующая линия тренда; оранжевым цветом обозначены точки зависимости $\pi_{пред}(R_2)$; оранжевым пунктиром соответствующая линия тренда; серым цветом обозначены точки зависимости $\pi_{пред}(\pi)$; серым пунктиром соответствующая линия тренда)

На рис. 1 наиболее эффективные решения (с наибольшим значением показателя π), характеризующиеся соответствующими значениями параметров, лежат выше зоны пересечения линий тренда $\pi_{пред}(R_1)$ и $\pi_{пред}(R_2)$, а наименее эффективные – под пересечением, ниже линии тренда $\pi_{пред}(\pi)$. При отсутствии пересечений линий тренда – рассматриваемые технические средства (альтернативные решения) для требуемых условий по критерию эффективности/результативности не подходят.

Данный пример иллюстрирует наиболее простой «одномерный» случай применения показателя результативности при оценке применения технических средств. Причем предлагаемый метод позволяет учитывать не только результативность, но и эффективность, так как нормировка параметров производится именно по абсолютному значению обобщенного комплекса. Предлагаемый метод может быть применим и для многофакторной оценки технических средств в организационно-технических системах.

Алгоритм предлагаемого метода, представлен в табл. 2.

Таблица 2

Алгоритм метода оценки технической эффективности (результативности) применения технических средств

Номер этапа	Наименование этапа	Описание действий на этапе	Обозначение
1	Формирование множества требуемых характеристик средств	Определяются требуемые значения характеристик средств, по которым они будут оцениваться	$k_i^{треб}$
2	Оценка фактических значений характеристик	Оцениваются фактические значения характеристик каждого из множества сравниваемых средств	$k_i^{факт}$

Номер этапа	Наименование этапа	Описание действий на этапе	Обозначение
3	Определение показателей результативности средств	Расчет показателей результативности средств по каждому из критериев (характеристик)	$R_i = \frac{k_i^{\text{факт}}}{k_i^{\text{треб}}}$
4	Формирование обобщенного комплекса	Выявление (методом экспертной оценки) характеристик, численное увеличение которых положительно и отрицательно влияет на результативность (эффективность) средства; положительно влияющие симплексы ставятся в числитель дроби, формирующей обобщенный комплекс, отрицательно влияющие – в знаменатель	$\pi = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_3 \cdot R_4}$
5	Графическая интерпретация многокритериальной оценки технических средств и их ранжирование	Построение графика зависимостей $\pi(R_i)$ с последующей стратификацией, позволяющей ранжировать исследуемые технические средства по возрастанию значения обобщенного комплекса (при превышении значения обобщенного комплекса $\pi_{\text{пред}}$ комплекс приравнивается к $\pi_{\text{пред}}$)	

Пример применения метода многокритериальной оценки эффективности технических средств

Для практического использования предлагаемого метода рассматривается конкретная задача синтеза системы противопожарной защиты объекта, оснащаемого датчиками. Различные варианты защиты помещения датчиками характеризуются следующими параметрами:

- защищаемая площадь (S), м²;
- высота установки (h), м.

Увеличение численного значения обоих параметров направлено на повышение результативности/эффективности датчиков, поэтому комплекс выражается следующей формулой:

$$\pi = R_S \cdot R_h.$$

Исходные данные по фактическим и требуемым значениям характеристик каждого из альтернативных вариантов датчиков для оснащения помещения и результаты оценки значений комплексов обобщены в табл. 3.

Таблица 3

Оценка эффективности/результативности датчиков

№ датч.	Фактическое значение		Требуемое значение		Комплекс расчетный		Комплекс принятый		Результативность
	S	h	$S^{\text{треб}}$	$h^{\text{треб}}$	$S/S^{\text{треб}}$	$h/h^{\text{треб}}$	R_S	R_h	
1	16,16	3,14	20	3	0,81	1,05	0,81	1,00	0,81
2	29,25	6,27	20	3	1,46	2,09	1,00	1,00	1,00
3	92,91	2,64	20	3	4,65	0,88	1,00	0,88	0,88
4	50,74	2,77	20	3	2,54	0,92	1,00	0,92	0,92

Следовательно, вероятность эффективной работы датчиков при одинаковом значении вероятности безотказной работы (при $P_{б.р.}=0,9$) в соответствии с выражением (1) будет равна:

$$P_{o1} = P_{б.р.} \cdot P_{рез1} = 0,9 \cdot 0,81 = 0,729;$$

$$P_{o2} = P_{б.р.} \cdot P_{рез2} = 0,9 \cdot 1,0 = 0,9;$$

$$P_{o3} = P_{б.р.} \cdot P_{рез3} = 0,9 \cdot 0,88 = 0,792;$$

$$P_{o4} = P_{б.р.} \cdot P_{рез4} = 0,9 \cdot 0,92 = 0,828.$$

На рис. 2 представлены результаты оценки эффективности/результативности датчиков на основе предлагаемого метода многокритериальной оценки.

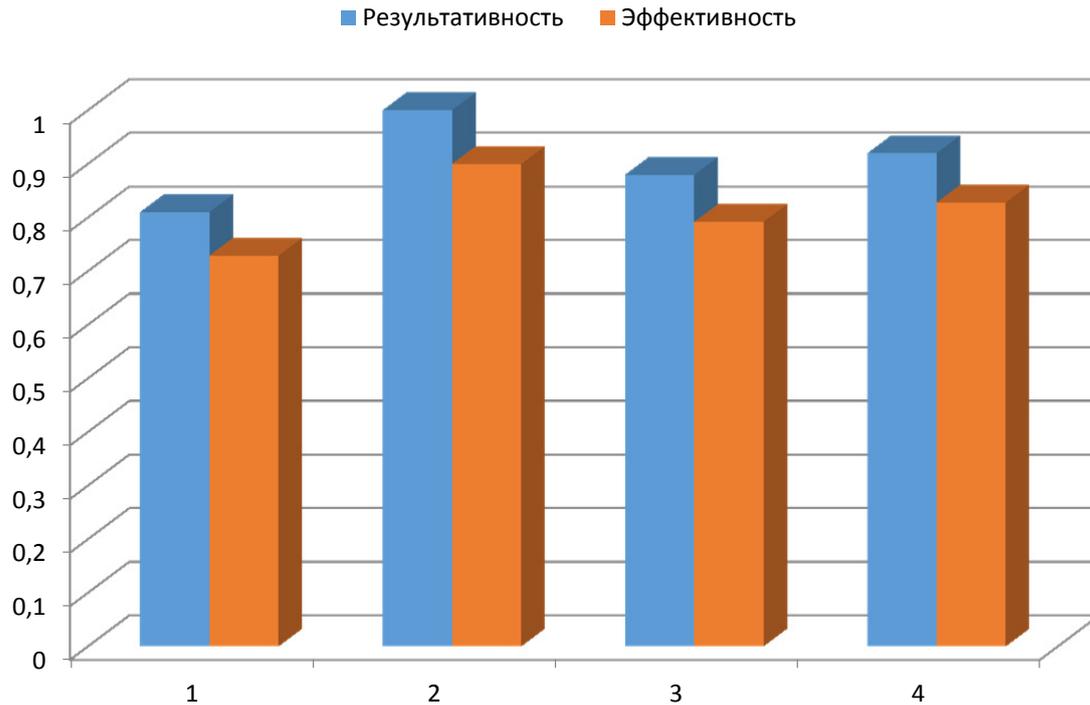


Рис. 2. Оценка эффективности/результативности применения датчиков

Сравнительный анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что наиболее предпочтительными вариантами из предложенных являются датчики № 2 и № 4. Соответственно, датчики № 1 и № 3 являются наименее эффективными для данного помещения.

Заключение

Методические аспекты многокритериальной оценки эффективности технических средств являются важнейшей составляющей для обеспечения эффективного функционирования организационно-технических систем в целом. Научно-методическую основу такой оценки в предлагаемом в статье подходе составляет решение комплекса вопросов, включающих в себя:

- формирование системы характеристик и критериев качества технических средств;
- формализацию показателей, то есть их представление в вычисляемой форме;
- обоснование способа формирования обобщенного комплекса, отражающего общую результативность технического средства с учетом множества критериев и характеристик;

– установление из множества значений показателей правил выбора предпочтительных вариантов технических средств, входящих в структуру организационно-технических систем.

Предлагаемый подход позволяет на единой методической основе с использованием риск-ориентированного подхода решать задачи определения количественных значений показателей эффективности и результативности технических средств и на их основе производить выбор предпочтительного варианта для включения в структуру организационно-технических систем.

Главным достоинством предлагаемого метода является принципиальная возможность через оценку положительно и отрицательно влияющих отдельных характеристик технических средств проводить их количественное оценивание эффективности и результативности в целом.

Необходимо отметить, что предлагаемый подход может быть применим не только при выборе каких-то технических средств, но и при обосновании многокритериальных управленческих решений в организационных системах.

Список источников

1. Запорожцев А.В. Принципы проектирования организационно-технических систем // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. № 3 (100). С. 106–115. EDN REANBT.
2. Макаров П.В., Михеев А.С., Симачев Н.Д. Применение многокритериального подхода при оценке эффективности сложных технических систем // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2015. № 1. С. 23–26. EDN UFEQCH.
3. Мистров Л.Е., Ковалев Г.С. Методы оценки эффективности подсистем управления организационно-технических систем // Нелинейный мир. 2023. Т. 21. № 2. С. 23–37. DOI: 10.18127/j20700970-202302-00. EDN LNORPX.
4. Математическое обеспечение оценки эффективности функционирования организационно-технических систем управления / А.А. Катанович [и др.] // Вопросы оборонной техники. Сер. 16: Технические средства противодействия терроризму. 2018. № 9-10 (123-124). С. 12–21. EDN YMJZHN.
5. Матвеев А.В., Матвеев В.В. Системно-кибернетический подход к определению понятия «безопасность» // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2015. № 1 (9). С. 18–25. EDN THRQRD.
6. ISO:9000:2015: fourth edition. Quality management systems. Fundamentals and vocabulary. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9000:ed-4:v1:en> (дата обращения: 16.09.2023).
7. ГОСТ Р ИСО 9000–2015. Национальный стандарт Российской Федерации. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200124393> (дата обращения: 16.09.2023).
8. Международный стандарт МЭК 50 (191)-90. Надежность и качество услуг. Термины и определения. URL: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/gosts/21964> (дата обращения: 16.09.2023).
9. ГОСТ Р 27.102–2021. Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200181141> (дата обращения: 16.09.2023).
10. ГОСТ 12.0.230.3–2016. Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Оценка результативности и эффективности. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200145713> (дата обращения: 16.09.2023).
11. Юсупов Р.М., Мусаев А.А. Особенности оценивания эффективности информационных систем и технологий // Труды СПИИРАН. 2017. № 2 (51). С. 5–34. DOI: 10.15622/sp.51.1. EDN YIASGN.
12. Костиков Ю.А., Чернова Т.А. О методологии научного исследования эффективности оценки деградационного изменения технических устройств // Инновации и инвестиции. 2018. № 6. С. 237–243. EDN BYGBUJ.

13. Кузнецов К.А. Методы, модели и средства повышения эффективности оценки технического состояния и остаточного ресурса технических устройств // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2016. № 1. С. 37–43. EDN VUAQAH.
14. Лобейко В.И., Поляков С.В., Старусев А.В. Метод оценки критериев эффективности АСУ при заданном техническом требовании на систему // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2012. № 4 (91). С. 138–142. EDN OYITVN.
15. Мистров Л.Е. Метод оценки эффективности организационно-технических систем информационной безопасности // Динамика сложных систем – XXI век. 2014. Т. 8. № 1. С. 62–70. EDN SEBPQZ.
16. Методика «Определение расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» (в ред. приказа МЧС РФ от 14 дек. 2010 г. № 649): приложение к приказу МЧС России от 10 июля 2009 г № 404. Доступ из справ.-правового портала «Гарант».
17. О расчете вероятности эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности при определении расчетных величин пожарного риска на производственных объектах / П.И. Зыков [и др.] // Техносферная безопасность. 2021. № 4 (33). С. 66–71. EDN DHYQJX.
18. Дорошенко В.А., Друк Л.В., Герасимов А.Э. Формирование и многокритериальная оценка исходных вариантов технических средств для синтеза распределенных систем управления на основе анализа иерархий // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2015. Т. 19. № 6. С. 174–179. EDN VIUDNT.
19. Сравнительный анализ методов многокритериальной оценки конкурентоспособности и подвижности автотракторной техники с учетом весовой значимости характеристик / Л.Н. Мазунова [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2022. № 1 (136). С. 125–136. DOI: 10.46960/1816-210X_2022_1_125. EDN WYVBCW.
20. Многокритериальная модель оценки и выбора автоматически управляемых транспортных средств (AGV) для складов / М. Стойчич [и др.] // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2019. Т. 9. № 1. С. 4–20. DOI: 10.18503/2222-9396-2019-9-1-4-20. EDN MAWIFP.
21. Kulak O. A decision support system for fuzzy multi-attribute selection of material handling equipments // Expert Systems with Applications. 2005. Vol. 29. № 2. P. 310–319. DOI: 10.1016/j.eswa.2005.04.004.
22. Ахметханов Р.С., Дубинин Е.Ф., Куксова В.И. Применение методов нечеткой логики в задачах технической диагностики и обеспечения безопасности технических систем // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2020. № 1. С. 52–66. DOI: 10.36535/0869-4176-2020-01-5. EDN XSBRAP.
23. Крамаренко Н.В. Методы подобия в механике. Анализ размерностей: учеб. пособие. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2020. 212 с. ISBN 978-5-7782-4087-2. EDN AMASNH.
24. Бриджмен П. Анализ размерностей. М.; Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2001. 148 с. ISBN 5-93972-043-9. EDN RXGNDH.
25. Матвеев А.В. Методы моделирования и прогнозирования. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2022. 230 с. ISBN 978-5-907116-73-3. EDN IMLKWS.

References

1. Zaporozhcev A.V. Principy proektirovaniya organizacionno-tehnicheskikh sistem // Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva. 2013. № 3 (100). S. 106–115. EDN REANBT.
2. Makarov P.V., Miheev A.S., Simachev N.D. Primenenie mnogokriterial'nogo podhoda pri ocenke effektivnosti slozhnyh tehniceskikh sistem // Transport i hranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya. 2015. № 1. S. 23–26. EDN UFEQCH.
3. Mistrov L.E., Kovalev G.S. Metody ocenki effektivnosti podsystem upravleniya organizacionno-tehnicheskikh sistem // Nelinejnyj mir. 2023. T. 21. № 2. S. 23–37. DOI: 10.18127/j20700970-202302-00. EDN LNORPX.
4. Matematicheskoe obespechenie ocenki effektivnosti funkcionirovaniya organizacionno-tehnicheskikh sistem upravleniya / A.A. Katanovich [i dr.] // Voprosy oboronnoj tekhniki. Ser. 16: Tehnicheskie sredstva protivodejstviya terrorizmu. 2018. № 9-10 (123-124). S. 12–21. EDN YMJZHN.
5. Matveev A.V., Matveev V.V. Sistemno-kiberneticheskij podhod k opredeleniyu ponyatiya «bezopasnost'» // Nacional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie. 2015. № 1 (9). S. 18–25. EDN THRQRD.
6. ISO:9000:2015: fourth edition. Quality management systems. Fundamentals and vocabulary. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9000:ed-4:v1:en> (data obrashcheniya: 16.09.2023).
7. GOST R ISO 9000–2015. Nacional'nyj standart Rossijskoj Federacii. Sistemy menedzhmenta kachestva. Osnovnye polozheniya i slovar'. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200124393> (data obrashcheniya: 16.09.2023).
8. Mezhdunarodnyj standart MEK 50 (191)-90. Nadezhnost' i kachestvo uslug. Terminy i opredeleniya. URL: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/gosts/21964> (data obrashcheniya: 16.09.2023).
9. GOST R 27.102–2021. Nadezhnost' v tekhnike. Nadezhnost' ob"ekta. Terminy i opredeleniya. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200181141> (data obrashcheniya: 16.09.2023).
10. GOST 12.0.230.3–2016. Sistema standartov bezopasnosti truda. Sistemy upravleniya ohranoj truda. Ocenka rezul'tativnosti i effektivnosti. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200145713> (data obrashcheniya: 16.09.2023).
11. Yusupov R.M., Musaev A.A. Osobennosti ocenivaniya effektivnosti informacionnyh sistem i tekhnologij // Trudy SPIIRAN. 2017. № 2 (51). S. 5–34. DOI: 10.15622/sp.51.1. EDN YIASGN.
12. Kostikov Yu.A., Chernova T.A. O metodologii nauchnogo issledovaniya effektivnosti ocenki degradacionnogo izmeneniya tehniceskikh ustrojstv // Innovacii i investicii. 2018. № 6. S. 237–243. EDN BYGBUJ.
13. Kuznecov K.A. Metody, modeli i sredstva povysheniya effektivnosti ocenki tehniceskogo sostoyaniya i ostatochnogo resursa tehniceskikh ustrojstv // Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin. 2016. № 1. S. 37–43. EDN VUAQAH.
14. Lobejko V.I., Polyakov S.V., Starusev A.V. Metod ocenki kriteriev effektivnosti ASU pri zadannom tehniceskome trebovanii na sistemu // Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta. 2012. № 4 (91). S. 138–142. EDN OYITVN.
15. Mistrov L.E. Metod ocenki effektivnosti organizacionno-tehnicheskikh sistem informacionnoj bezopasnosti // Dinamika slozhnyh sistem – XXI vek. 2014. T. 8. № 1. S. 62–70. EDN SEBPQZ.
16. Metodika «Opredelenie raschetnyh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennyh ob"ektah» (v red. prikaza MCHS RF ot 14 dek. 2010 g. № 649): prilozhenie k prikazu MCHS Rossii ot 10 iyulya 2009 g № 404. Dostup iz sprav.-pravovogo portala «Garant».
17. O raschete veroyatnosti effektivnoj raboty tehniceskikh sredstv po obespecheniyu pozharnoj bezopasnosti pri opredelenii raschetnyh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennyh ob"ektah / P.I. Zykov [i dr.] // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2021. № 4 (33). S. 66–71. EDN DHYQJX.

18. Doroshenko V.A., Druk L.V., Gerasimov A.E. Formirovanie i mnogokriterial'naya ocenka iskhodnyh variantov tekhnicheskikh sredstv dlya sinteza raspredelennyh sistem upravleniya na osnove analiza ierarhij // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoj vestnik. 2015. T. 19. № 6. S. 174–179. EDN VIUDNT.

19. Sravnitel'nyj analiz metodov mnogokriterial'noj ocenki konkurentosposobnosti i podvizhnosti avtotraktornoj tekhniki s uchetom vesovoj znachimosti harakteristik / L.N. Mazunova [i dr.] // Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva. 2022. № 1 (136). S. 125–136. DOI: 10.46960/1816-210X_2022_1_125. EDN WYVBCW.

20. Mnogokriterial'naya model' ocenki i vybora avtomaticheski upravlyaemyh transportnyh sredstv (AGV) dlya skladov / M. Stojchich [i dr.] // Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii. 2019. T. 9. № 1. S. 4–20. DOI: 10.18503/2222-9396-2019-9-1-4-20. EDN MAWIFP.

21. Kulak O. A decision support system for fuzzy multi-attribute selection of material handling equipments // Expert Systems with Applications. 2005. Vol. 29. № 2. P. 310–319. DOI: 10.1016/j.eswa.2005.04.004.

22. Ahmethanov R.S., Dubinin E.F., Kuksova V.I. Primenenie metodov nechetkoj logiki v zadachah tekhnicheskoy diagnostiki i obespecheniya bezopasnosti tekhnicheskikh sistem // Problemy bezopasnosti i chrezvychajnyh situacij. 2020. № 1. S. 52–66. DOI: 10.36535/0869-4176-2020-01-5. EDN XSBRAP.

23. Kramarenko N.V. Metody podobiya v mekhanike. Analiz razmernostej: ucheb. posobie. Novosibirsk: Novosibirskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2020. 212 s. ISBN 978-5-7782-4087-2. EDN AMASNH.

24. Bridzhmen P. Analiz razmernostej. M.; Izhevsk: Regulyarnaya i haoticheskaya dinamika, 2001. 148 s. ISBN 5-93972-043-9. EDN RXGNDH.

25. Matveev A.V. Metody modelirovaniya i prognozirovaniya. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2022. 230 s. ISBN 978-5-907116-73-3. EDN IMLKWS.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 24.10.2023; одобрена после рецензирования: 07.11.2023;
принята к публикации: 10.12.2023

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 24.10.2023; approved after review: 07.11.2023;
accepted for publication: 10.12.2023

Сведения об авторах:

Кожевин Дмитрий Федорович, начальник кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: kozhevin_df@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6418-107X>, SPIN-код: 9647-7196

Матвеев Александр Владимирович, заведующий кафедрой прикладной математики и информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: fcvega_10@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0778-3218>, SPIN-код: 5778-8832

Самигуллин Гафур Халафович, профессор кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, доцент, e-mail: samigullin.g@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5688-8921>, SPIN-код: 8830-4253

Смирнов Алексей Сергеевич, первый заместитель начальника Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: sas@igps.ru, SPIN-код: 1677-1402

Information about the authors:

Kozhevin Dmitry F., head of the department of physical and chemical fundamentals of combustion and extinguishing processes, Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: kozhevin_df@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6418-107X>, SPIN: 9647-7196

Matveev Alexander V., head of the department of applied mathematics and information technologies of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, professor, e-mail: fcvega_10@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0778-3218>, SPIN: 5778-8832

Samigullin Gafur Kh., professor of the department of fire safety of technological processes and production, Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, associate professor, e-mail: samigullin.g@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5688-8921>, SPIN: 8830-4253

Smirnov Alexey S., first deputy head of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, professor, e-mail: sas@igps.ru, SPIN: 1677-1402