

Научная статья

УДК 614.844.1; DOI: 10.61260/1998-8990-2024-4-130-143

**НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОБОБЩЕННОГО КРИТЕРИЯ ВЫБОРА
СРЕДСТВ ПОЖАРОТУШЕНИЯ**

✉Сытдыков Максим Равильевич;

Иванов Андрей Владимирович.

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

✉sytdykov@igps.ru

Аннотация. Одними из основных технических средств тушения пожаров на объектах нефтегазовой промышленности являются установки пожаротушения, использующие в своей конструкции модули порошкового пожаротушения импульсного действия. Под технической эффективностью модулей порошкового пожаротушения импульсного действия понимается их способность ликвидировать пожары с наименьшим расходом огнетушащих веществ и отсутствием повторного воспламенения.

На эффективность модулей порошкового пожаротушения импульсного действия влияет ряд технических параметров, основным из которых является вытеснение огнетушащих веществ из корпуса созданием избыточного давления за счет нагнетания сжатого воздуха или сгорания газогенерирующих элементов. Таким образом, выбор предпочтительного вида такого элемента конструкции установок, как модули порошкового пожаротушения импульсного действия, напрямую влияет на эффективность установки в целом.

Для подтверждения или опровержения результатов ранее проведенной оценки значимости технических параметров модулей порошкового пожаротушения импульсного действия методом экспертной оценки возникла необходимость применения общеизвестных математических методов. С этой целью авторами применен комплексный подход выбора наиболее эффективного образца модуля порошкового пожаротушения импульсного действия для оценки и повышения эффективности установок пожаротушения.

Ключевые слова: установки пожаротушения, модули порошкового пожаротушения, пожар, анализ размерности, оценка эффективности, метод Парето

Для цитирования: Сытдыков М.Р., Иванов А.В. Научное обоснование обобщенного критерия выбора средств пожаротушения // Проблемы управления рисками в техносфере. 2024. № 4 (72). С. 130–143. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-4-130-143.

Scientific article

**SCIENTIFIC SUBSTANTIATION OF THE GENERALIZED CRITERION
FOR THE SELECTION OF FIRE EXTINGUISHING AGENTS**

✉Sytdykov Maxim R.;

Ivanov Andrey V.

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

✉sytdykov@igps.ru

Abstract. One of the main technical means of extinguishing fires at oil and gas industry facilities are fire extinguishing installations using pulsed powder extinguishing modules in their design. The technical efficiency of pulsed powder extinguishing modules in their design is understood as their ability to eliminate fires with the lowest consumption of extinguishing agents and the absence of re-ignition.

The efficiency of the pulsed powder extinguishing modules in their design is influenced by a number of technical parameters, the main of which is the displacement of extinguishing agents from the housing by creating excessive pressure due to the injection of compressed air or combustion of gas-generating elements. Thus, the choice of the preferred type of such an element of the installation design as the pulsed powder extinguishing modules in their design directly affects the efficiency of the installation as a whole.

In order to confirm or refute the results of an earlier assessment of the significance of the technical parameters of the pulsed powder extinguishing modules in their design by the expert assessment method, it became necessary to use well-known mathematical methods. To this end, in the article, the authors applied an integrated approach to selecting the most effective pulsed powder extinguishing modules in their design sample for evaluating and improving the effectiveness of fire extinguishing installations.

Keywords: fire extinguishing installations, powder extinguishing modules, fire, dimension analysis, efficiency assessment, Pareto method

For citation: Sytdykov M.R., Ivanov A.V. Scientific substantiation of the generalized criterion for the selection of fire extinguishing agents // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2024. № 4 (72). P. 130–143. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-4-130-143.

Введение

В работе [1] проведена оценка значимости технических параметров модулей порошкового пожаротушения импульсного действия (МПП ИД) методом экспертной оценки, определенных в соответствии с ГОСТ Р 53286–2009 «Установки порошкового пожаротушения автоматические. Модули». На основе полученных результатов авторами определены наиболее значимые технические параметры МПП ИД (расход огнетушащих веществ (ОВВ) на тушение пожара, защищаемая площадь и объем), оказывающие влияние на их эффективность, а также определены наиболее эффективные МПП ИД, имеющие товарные названия «Буран-0,3» и «Буран-0,5».

Ввиду субъективизма метода экспертной оценки в данной работе авторами предлагается провести оценку эффективности МПП ИД, выпускаемых отечественными производителями, используя метод анализа размерностей и π -теоремы, нечеткой логики, а также метод Парето.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить перечень основных технических показателей МПП ИД, влияющих на их эффективную работу;
- составить уравнения связи основных технических параметров МПП ИД;
- вывести безразмерные комплексы (симплексы) и определить их физическую сущность;
- на основании экспертной оценки и сформированных комплексных показателей провести оценку технической эффективности представленных на рынке Российской Федерации МПП ИД;
- сформировать обобщенный показатель эффективности образца МПП ИД с применением аппарата нечеткой логики и математического программного обеспечения MatLab;
- сформировать критерий выбора образца МПП ИД, используя метод диаграммы Парето.

Методы исследования

Для оценки эффективности МПП ИД определены основные технические параметры, влияющие на процесс вытеснения ОТВ, которые представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные технические параметры МПП ИД и их размерность

№ п/п	Наименование параметров	Символ	Формула размерности
1	Время срабатывания устройства	t	с
2	Длина струи порошка	l	м
3	Защищаемая площадь	S	м^2
4	Защищаемый объем	V_3	м^3
5	Масса устройства	M	кг
6	Масса остатка порошка	m	кг
7	Масса порошка	m_n	кг
8	Объем устройства	V	м^3
9	Рабочее давление	P	$\text{кг} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$
10	Расход ОТВ при тушении пожара	Q	$\text{кг} \cdot \text{м}^{-2}$

В соответствии с π -теоремой [2] из десяти величин, имеющих три размерности, сформированы семь уравнений безразмерности:

$$\pi_1 = l \cdot P^{x_1} \cdot t^{y_1} \cdot S^{z_1}. \quad (1)$$

$$\pi_2 = V_3 \cdot P^{x_2} \cdot t^{y_2} \cdot S^{z_2}. \quad (2)$$

$$\pi_3 = M \cdot P^{x_3} \cdot t^{y_3} \cdot S^{z_3}. \quad (3)$$

$$\pi_4 = m \cdot P^{x_4} \cdot t^{y_4} \cdot S^{z_4}. \quad (4)$$

$$\pi_5 = m_n \cdot P^{x_5} \cdot t^{y_5} \cdot S^{z_5}. \quad (5)$$

$$\pi_6 = V \cdot P^{x_6} \cdot t^{y_6} \cdot S^{z_6}. \quad (6)$$

$$\pi_7 = Q \cdot P^{x_7} \cdot t^{y_7} \cdot S^{z_7}. \quad (7)$$

В уравнениях (1–7) показатели степени являются величинами, определяющими степень влияния того или иного параметра на процесс вытеснения ОТВ [3, 4].

Окончательно имеем безразмерный комплекс:

$$\pi_7 = \frac{Q \cdot S^{1/2}}{P \cdot t^2}.$$

Сообразуясь с физической сущностью протекающего процесса и возможностями метода по образованию вторичных комплексов, образован обобщенный комплексный показатель π_8 :

$$\pi_8 = \frac{\pi_1}{\pi_5} = \frac{l \cdot P \cdot t^2 \cdot S^{1/2}}{S^{1/2} \cdot m_n}.$$

Физическая сущность безразмерных комплексных показателей представлена в табл. 2.

Таблица 2

Физическая сущность безразмерных комплексных показателей

Комплексы	Соотношения размерностей	Физическая сущность показателей
$\pi_1 = \frac{l}{S^{1/2}}$	$[\pi_1] = \frac{M}{M}$	Удельная дальность подачи струи
$\pi_2 = \frac{V_3}{S^{3/2}}$	$[\pi_2] = \frac{M^3}{M^3}$	Удельный объем, защищаемый установкой
$\pi_3 = \frac{M}{P \cdot t^2 \cdot S^{1/2}}$	$[\pi_3] = \frac{\kappa_2 \cdot M \cdot c^2}{\kappa_2 \cdot c^2 \cdot M} = \frac{Па}{Па}$	Удельное максимальное давление в аппарате относительно давления окружающей среды
$\pi_4 = \frac{m}{P \cdot t^2 \cdot S^{1/2}}$	$[\pi_4] = \frac{\kappa_2 \cdot M \cdot c^2}{\kappa_2 \cdot c^2 \cdot M} = \frac{Па}{Па}$	Недостаток давления для оставшегося ОТВ
$\pi_5 = \frac{m_n}{P \cdot t^2 \cdot S^{1/2}}$	$[\pi_5] = \frac{\kappa_2 \cdot M \cdot c^2}{\kappa_2 \cdot c^2 \cdot M} = \frac{Па}{Па}$	Удельное давление в установке, необходимое для вытеснения ОТВ
$\pi_6 = \frac{V}{S^{3/2}}$	$[\pi_6] = \frac{M^3}{M^3}$	Удельный объем ОТВ
$\pi_7 = \frac{Q \cdot S^{1/2}}{P \cdot t^2}$	$[\pi_7] = \frac{\kappa_2 \cdot M^2 \cdot c^2}{c^2 \cdot \kappa_2 \cdot M^2} = \frac{Дж}{Дж}$	Отношение кинетической энергии, необходимой для охвата всей защищаемой поверхности, к потенциальной энергии всей установки
$\pi_8 = \frac{l \cdot P \cdot t^2 \cdot S^{1/2}}{S^{1/2} \cdot m_n}$	$[\pi_8] = \frac{Дж}{Дж}$	Характеризует потери энергии вытесняющего газа от соотношения длины струи ОТВ и защищаемой поверхности

Анализируя данные табл. 2, видим, что полученный первичный безразмерный комплекс π_7 , характеризующий отношение кинетической энергии, необходимой для охвата всей защищаемой поверхности, к потенциальной энергии всей установки, и вторичный безразмерный комплекс π_8 , характеризующий потери энергии вытесняющего газа от соотношения длины струи ОТВ и защищаемой поверхности, напрямую влияют на эффективность доставки ОТВ в очаг пожара и его тушения.

В табл. 3 представлены численные значения технических параметров МПП ИД, выпускаемых отечественными производителями.

На основании данных в табл. 3 получены численные значения сформированных комплексов, представленные в табл. 4.

Таблица 3

Численные значения технических параметров МПП ИД

Товарное название устройства	Время работы устройства, с	Длина струи порошка, м	Защищаемая площадь, м ²	Защищаемый объем, м ³	Масса устройства, кг	Масса порошка, кг	Масса остатка порошка, кг	Объем устройства, л	Рабочее давление, МПа	Расход ОТВ при тушении пожара, кг/м ²
Тунгус-0,65	1	3	1,2	1,2	3	0,49	0,049	0,65	2,4	2,46
Буран-2,5	1	4	6	8	5	1,8	0,18	2,2	2,4	0,8
Тунгус-4	1	9	16	27	7	4	0,4	4,3	2,4	0,41
Тунгус-6	1	9	25	33	10	6	0,6	6,5	2,4	0,38
Тунгус-9	1	13	33	42	13	8,6	0,86	9	2,2	0,37
Тунгус-10	1	16	18,3	75	20	9,5	0,95	9,2	2	1,04
Тунгус-24	1	18	58	89	36	22	2,2	24	1,8	0,58
МПП-6 Смерч	1	9	18	18	10,7	5,7	0,7	6	0,85	0,56
Ураган-3	1	11	14	14	5,85	3	0,3	3,5	2	0,4
Ураган-5М	1	16	40	54	10	5,5	0,55	6,5	2	0,24
Буран-0,3	0,5	3	1	1,2	1,4	0,3	0,03	0,33	1	1,37
Буран-0,5	0,5	5	2	2	1,6	0,48	0,048	0,55	0,7	0,78
Тунгус-2	0,5	3,5	7	16	3	1,95	0,195	2,5	1	0,4
Буран-8	1	6	21	42	11,3	7	0,7	7,8	1,2	0,5
Гарант-12	1	12	25	50	19,9	10,8	1,08	12	1,8	0,75
Бизон	1	6	30	60	36,5	7,8	0,82	8	1,6	1,19

Таблица 4

Численные значения комплексных показателей

Товарное название устройства	π_1	π_2	$\pi_3 \cdot 10^6$	$\pi_4 \cdot 10^7$	$\pi_5 \cdot 10^6$	$\pi_6 \cdot 10^5$	$\pi_7 \cdot 10^6$	$\pi_8 \cdot 10^6$
Тунгус-0,65	2,739	0,913	1,141	0,186	0,186	49,447	1,123	14,694
Тунгус-2	1,633	0,544	0,851	0,306	0,306	14,969	0,817	5,333
Тунгус-4	2,250	0,422	0,729	0,417	0,417	6,719	0,683	5,400
Тунгус-6	1,800	0,264	0,833	0,500	0,500	5,200	0,792	3,600
Тунгус-9	2,263	0,222	1,029	0,681	0,681	4,748	0,966	3,326
Тунгус-10	3,740	0,958	2,338	1,110	1,110	11,752	2,224	3,368
Тунгус-24	2,364	0,201	2,626	1,605	1,605	5,433	2,454	1,473
МПП-6 Смерч	2,121	0,236	2,967	1,941	1,581	7,857	2,795	1,342
Ураган-3	2,940	0,267	0,782	0,401	0,401	6,682	0,748	7,333
Ураган-5М	2,530	0,213	0,791	0,435	0,435	2,569	0,759	5,818
Буран-0,3	3,000	1,200	5,600	1,200	1,200	33,000	5,480	2,500
Буран-0,5	3,536	0,707	6,465	1,939	1,939	19,445	6,303	1,823
Буран-2,5	1,323	0,864	4,536	2,948	2,948	13,499	4,233	0,449
Буран-8	1,309	0,436	2,055	1,273	1,273	8,105	1,909	1,029
Гарант-12	2,400	0,400	2,211	1,200	1,200	0,960	2,083	2,000
Бизон	1,095	0,365	4,165	0,936	0,890	4,869	4,074	1,231

В табл. 5 представлены результаты оценки технической эффективности МПП ИД методом экспертной оценки и анализа размерности.

Таблица 5

Результаты оценки технической эффективности МПП ИД

Товарное название устройства	Результат экспертной оценки (средневзвешенный показатель)	МПП ИД	Численное значение $\pi_7 \cdot 10^6$	МПП ИД	Численное значение $\pi_8 \cdot 10^{-6}$
Буран-0,3	6,4	Буран-0,5	6,30	Буран-2,5	0,45
Буран-0,5	6,49	Буран-0,3	5,48	Буран-8	1,03
Буран-2,5	6,58	Буран-2,5	4,23	Бизон	1,23
Тунгус-0,65	6,63	Бизон	4,07	МПП-6 Смерч	1,34
Ураган-3	6,72	МПП-6 Смерч	2,80	Тунгус-24	1,47
Ураган-5М	6,75	Тунгус-24	2,45	Буран-0,5	1,82
Тунгус-4	6,77	Тунгус-10	2,22	Гарант-12	2,00
Тунгус-2	7,38	Гарант-12	2,08	Буран-0,3	2,50
Тунгус-6	7,59	Буран-8	1,91	Тунгус-9	3,33
Тунгус-9	8,93	Тунгус-0,65	1,12	Тунгус-10	3,37
МПП-6 Смерч	9,57	Тунгус-9	0,97	Тунгус-6	3,60
Тунгус-10	9,78	Тунгус-2	0,82	Тунгус-2	5,33
Буран-8	10,11	Тунгус-6	0,79	Тунгус-4	5,40
Тунгус-24	10,35	Ураган-5М	0,76	Ураган-5М	5,82
Гарант-12	10,65	Ураган-3	0,75	Ураган-3	7,33
Бизон	11,05	Тунгус-4	0,68	Тунгус-0,65	14,69

Полученные в ходе оценки результаты (табл. 5) показывают, что наиболее эффективному образцу МПП ИД соответствует наибольшее численное значение комплексного показателя π_7 и наименьшие численные значения комплексного показателя π_8 и экспертной оценки. Однако по данным, представленным в табл. 5, нельзя однозначно сказать, какой МПП ИД эффективнее, так как полученные результаты на основе примененных методов рознятся. Поэтому авторами предлагается сформировать обобщенный показатель эффективности (ОПЭ) МПП ИД с применением аппарата нечеткой логики и математического программного обеспечения MatLab [5].

В работе использована система нечеткого вывода первого порядка – Мамдани, а входные данные заданы в виде трех параметров: численных значений π_7 , π_8 и экспертной оценки (средневзвешенный показатель) (рис. 1).

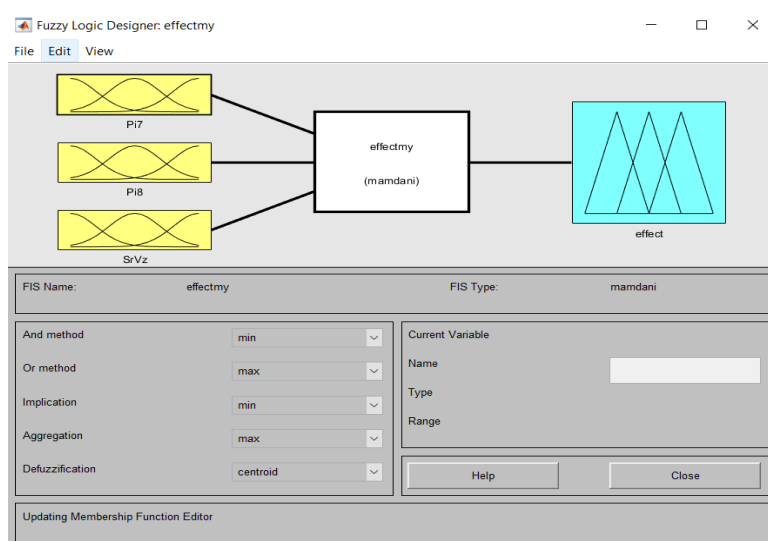


Рис. 1. Графический интерфейс системы нечеткого вывода с заданными параметрами

Для входных и выходных переменных использована треугольная функция принадлежности, термы определены по трем точкам. Заданы интервалы оценки эффективности для трех показателей и вывода, являющегося критерием – «ОПЭ». Интервалами оценки эффективности является шкала градации, заданная авторами:

- наивысшая эффективность;
- очень высокая эффективность;
- высокая эффективность;
- умеренная эффективность;
- низкая эффективность.

Для каждой шкалы заданы определенные интервалы, представленные на рис. 2.

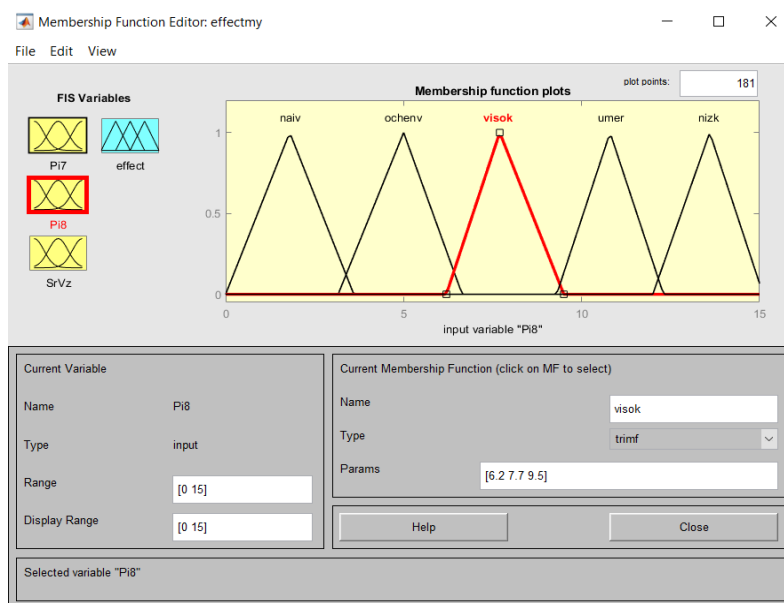


Рис. 2. Функция принадлежности для входной переменной π_8 на интервале «Высокая эффективность»

На рис. 3 представлена база правил, сформированная для критерия ОПЭ.

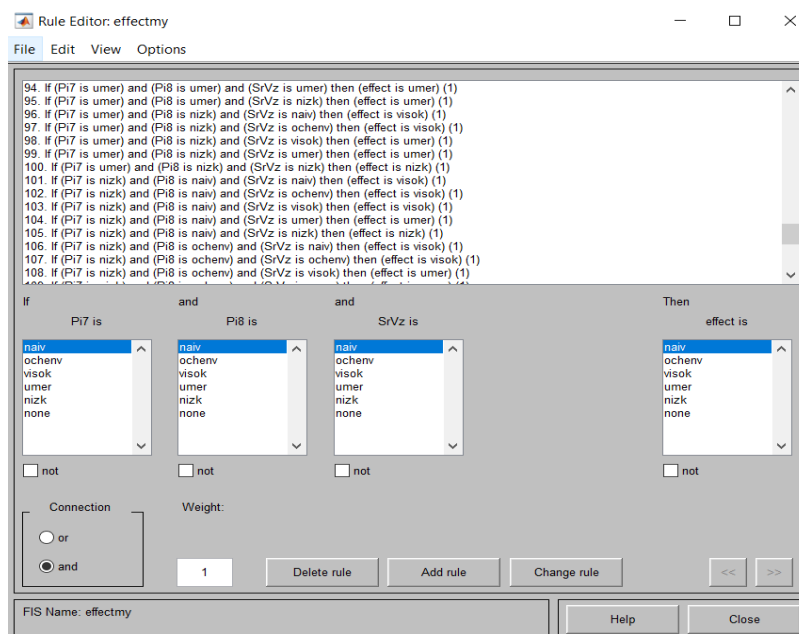


Рис. 3. Редактор правил критерия ОПЭ

На основе сформулированных правил проведены вычисления результата нечеткого вывода для конкретных значений входной переменной. На рис. 4, 5 представлены результаты нечеткого вывода первого порядка для МПП ИД с наибольшим и наименьшим численными значениями критерия ОПЭ соответственно.

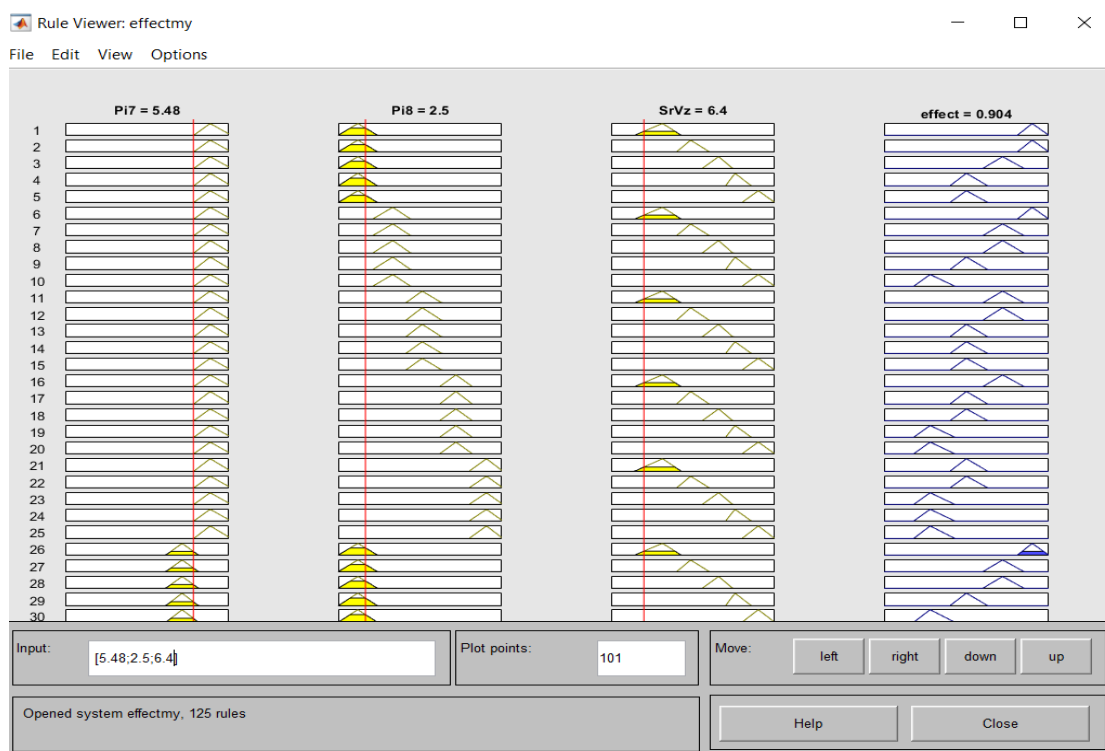


Рис. 4. Результат нечеткого вывода для входных значений [5,48; 2,5; 6,4]

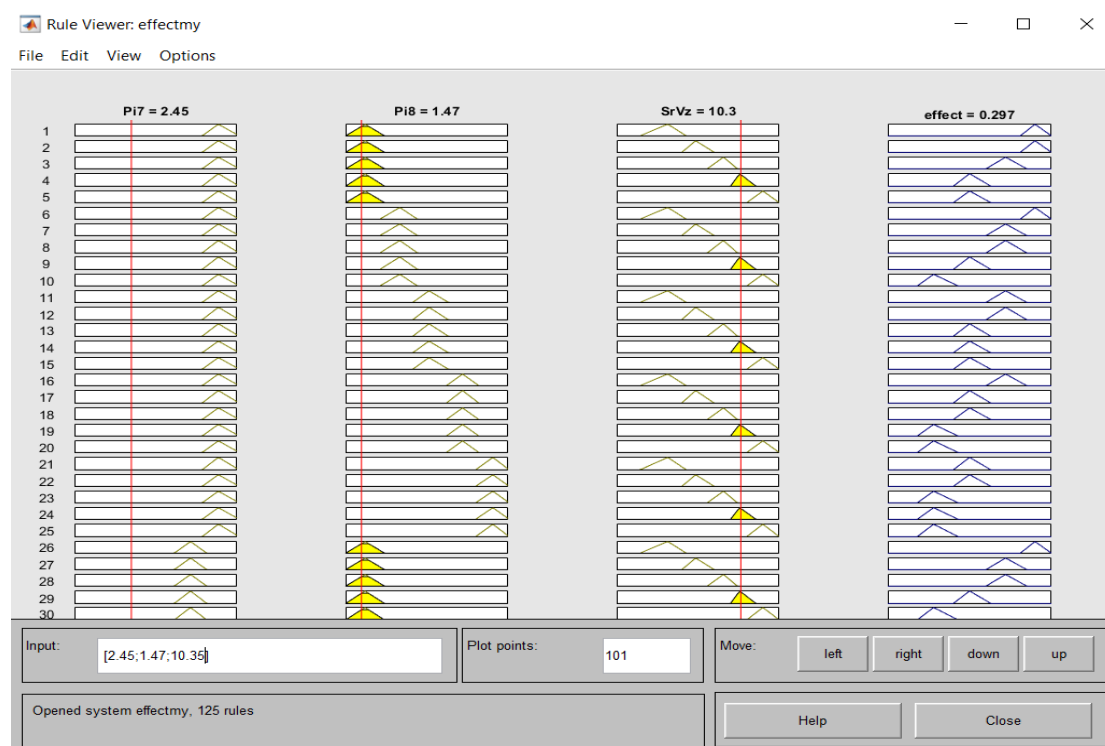


Рис. 5. Результат нечеткого вывода для входных значений [2,45; 1,47; 10,35]

Данные, представленные на рис. 4, 5, показывают, что наибольший критерий ОПЭ соответствует МПП ИД, имеющим товарные названия «Буран-0,5» и «Буран-0,3», равный 0,904, а наименьший – «Тунгус-24», равный 0,297.

Результаты вычислений критерия ОПЭ для каждого рассмотренного МПП ИД представлены в табл. 6.

Таблица 6

Результаты вычисления критерия ОПЭ МПП ИД

№ п/п	Товарные названия МПП ИД	Численное значение ОПЭ
1	Буран-0,5	0,904
2	Буран-0,3	0,904
3	Буран-2,5	0,724
4	Тунгус-10	0,514
5	Тунгус-6	0,513
6	Тунгус-0,65	0,513
7	Ураган-5М	0,512
8	МПП-6 Смерч	0,511
9	Ураган-3	0,511
10	Тунгус-4	0,511
11	Тунгус-2	0,510
12	Тунгус-9	0,464
13	Буран-8	0,366
14	Гарант-12	0,299
15	Бизон	0,298
16	Тунгус-24	0,297

С целью более детального анализа результатов разработанной нечеткой модели построены графики поверхностей нечеткого вывода зависимости критерия ОПЭ от входных показателей эффективности в виде функций принадлежности, представленные на рис. 6–8.

Поверхности нечетких выводов для каждой из зависимостей показывают прямую зависимость критерия ОПЭ от показателя технической эффективности π_7 и обратную зависимость от показателя технической эффективности π_8 и экспертной оценки (средневзвешенного показателя). Например, на рис. 6 при значении π_7 , стремящемся к 0, и значении π_8 , стремящемся к максимальному численному значению 15, критерий ОПЭ низкий, что подтверждает прямо и обратно пропорциональную зависимости данных показателей.

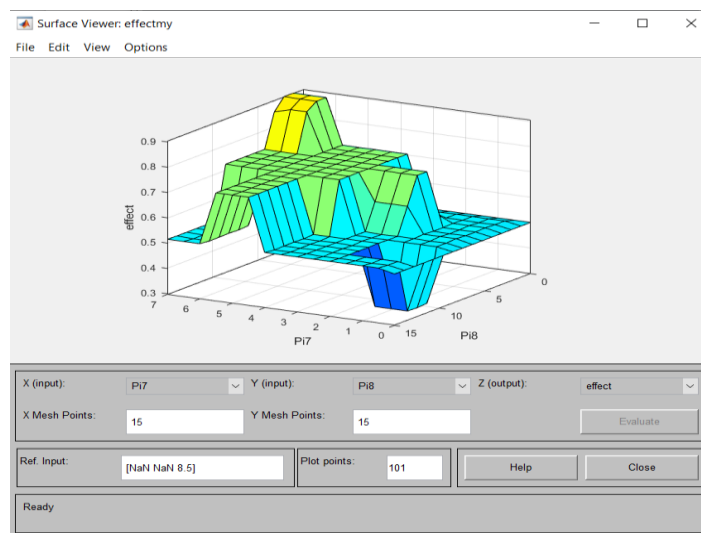


Рис. 6. Поверхность нечеткого вывода зависимости критерия ОПЭ от показателей технической эффективности π_7 и π_8

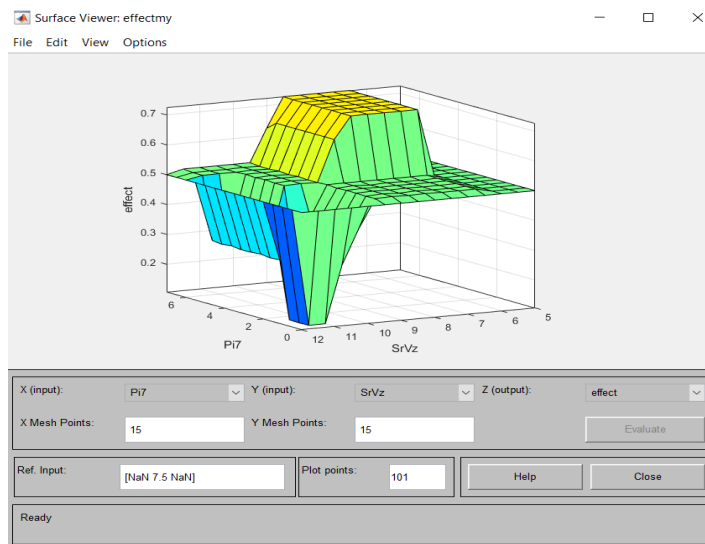


Рис. 7. Поверхность нечеткого вывода зависимости критерия ОПЭ от показателя технической эффективности π_7 и экспертной оценки

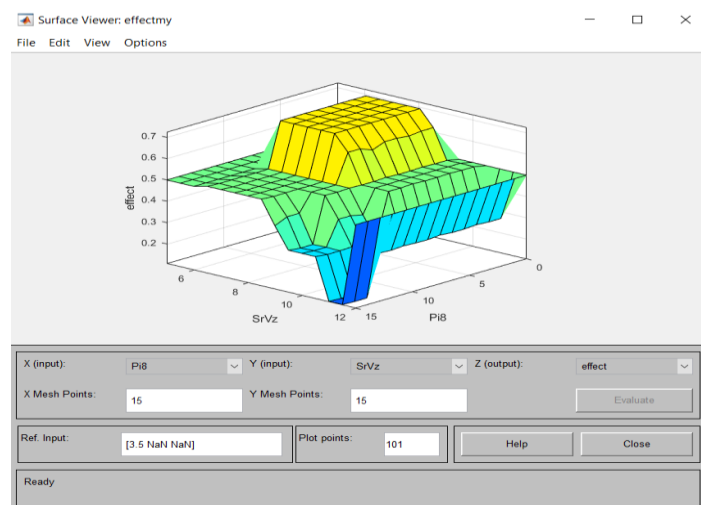


Рис. 8. Поверхность нечеткого вывода зависимости критерия ОПЭ от показателя технической эффективности π_8 и экспертной оценки

В табл. 7 представлены результаты комплексной оценки технической эффективности МПП ИД, представленных на рынке Российской Федерации, рассчитанной методами экспертной оценки, анализа размерностей и аппарата нечеткой логики.

Таблица 7

Результаты комплексной оценки технической эффективности МПП ИД

№ п/п	Товарные названия МПП ИД	Экспертная оценка (средневзвешенный показатель)	Численное значение $\pi_7 \cdot 10^6$	Численное значение $\pi_8 \cdot 10^{-6}$	ОПЭ	Эффективность
1	Буран-0,3	6,4	6,30	0,45	0,904	наивысшая
2	Буран-0,5	6,49	5,48	1,03	0,904	
3	Буран-2,5	6,58	4,23	1,23	0,724	очень высокая
4	Тунгус-10	9,78	2,22	3,37	0,514	высокая
5	Тунгус-6	7,59	0,79	3,6	0,513	
6	Тунгус-0,65	6,63	1,12	14,69	0,513	
7	Ураган-5М	6,75	0,76	5,82	0,512	
8	МПП-6 Смерч	9,57	0,97	1,34	0,511	
9	Ураган-3	6,72	2,8	7,33	0,511	
10	Тунгус-4	6,77	0,68	5,4	0,511	
11	Тунгус-2	7,38	0,82	5,33	0,510	
12	Тунгус-9	8,93	0,97	3,33	0,464	
13	Буран-8	10,11	1,91	1,03	0,366	
14	Гарант-12	10,65	2,08	2,00	0,299	умеренная
15	Бизон	11,05	4,07	1,23	0,298	
16	Тунгус-24	10,35	2,45	1,47	0,297	

Из представленных в табл. 7 данных видно, что наивысшую техническую эффективность имеют МПП ИД с товарными названиями «Буран-0,3» и «Буран-0,5», в то время как МПП ИД с товарными названиями «Гарант-12», «Бизон» и «Тунгус-24» показали умеренную техническую эффективность.

В тоже время выбор конкретного образца МПП ИД нецелесообразно производить только по значениям ОПЭ, так как в данном случае не учитывается экономическая эффективность принятого решения.

Экономическая эффективность технических устройств осуществляется одним из самых популярных статистических методов – диаграммой Парето, положительно зарекомендовавший себя для решения двухкритериальной задачи (стоимость – техническая эффективность МПП ИД).

Согласно принципу Эджворта-Парето, наибольшую экономическую эффективность показывают МПП ИД, имеющие наименьшую стоимость и наибольшую техническую эффективность [6]. Решение о выборе наилучшего образца МПП ИД принимается на основе метода Парето [7, 8]. В табл. 8 представлены численные значения экономической эффективности МПП ИД.

Таблица 8

Численные значения экономической эффективности МПП ИД

№ п/п	Товарные названия МПП	Стоимость МПП ИД, руб.	Удельное значение обобщенного показателя эффективности $ОПЭ_{МПП\ ИД}/ОПЭ_{ср}$	Удельная стоимость $С_{МПП\ ИД}/С_{ср}$
1	Буран-0,3	6 712	1,732	0,612
2	Буран-0,5	6 593	1,732	0,602
3	Буран-2,5	3 801	1,387	0,347
4	Тунгус-10	13 852	0,985	1,264
5	Тунгус-6	6 640	0,983	0,606

№ п/п	Товарные названия МПП	Стоимость МПП ИД, руб.	Удельное значение обобщенного показателя эффективности $ОПЭ_{МПП ИД} / ОПЭ_{ср}$	Удельная стоимость $С_{МПП ИД} / С_{ср}$
6	Тунгус-0,65	3 987	0,983	0,364
7	Ураган-5М	7 193	0,981	0,656
8	МПП-6 Смерч	5 270	0,979	0,481
9	Ураган-3	2 267	0,979	0,207
10	Тунгус-4	6 164	0,979	0,562
11	Тунгус-2	4 820	0,977	0,440
12	Тунгус-9	11 400	0,889	1,040
13	Буран-8	8 645	0,701	0,789
14	Гарант-12	13 331	0,573	1,216
15	Бизон	35 997	0,571	3,285
16	Тунгус-24	38 669	0,569	3,529

Примечание: сведения о стоимости МПП ИД взяты из открытых источников: $ОПЭ_{МПП ИД}$ – обобщенный показатель i -й МПП ИД; $ОПЭ_{ср}$ – среднее значение обобщенного показателя МПП ИД; $С_{МПП ИД}$ – цена i -й МПП ИД; $С_{ср}$ – среднее значение цены МПП ИД

Полученные совокупные данные показывают, что наиболее эффективны МПП ИД с порядковыми номерами 1, 2 и 3. Экономическая эффективность сравниваемых образцов отражена на рис. 9, где штрихпунктирные линии обозначают условные границы зон эффективности МПП ИД (квадранты А, В, С, D) [3, 9].

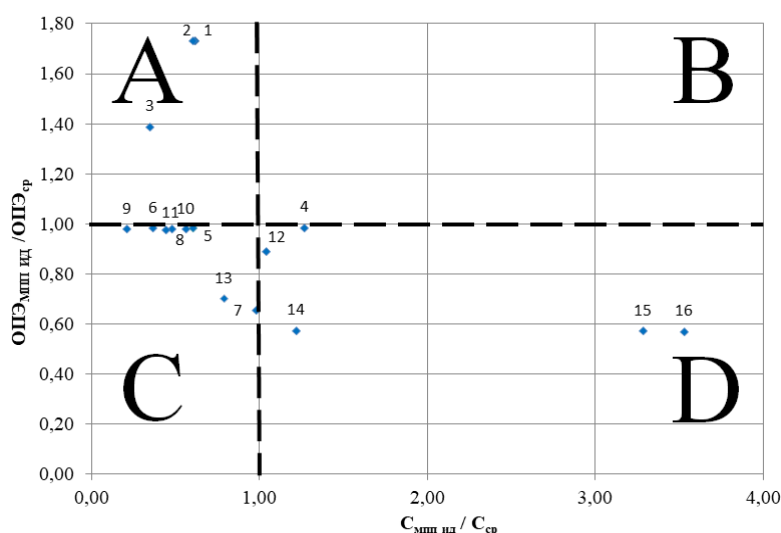


Рис. 9. Оценка эффективности МПП ИД методом Парето

Данные табл. 8 и рис. 9 наглядно показывают, что МПП ИД, входящие в квадрант «А», обладают наибольшей технической эффективностью при низкой стоимости. Таким образом, используя метод диаграммы Парето, авторами предложен критерий выбора МПП ИД, наилучшими из которых являются образцы № 1 (Буран-0,3), № 2 (Буран-0,5) и № 3 (Буран-2,5), представленные на рынке Российской Федерации.

Заключение

На основании результатов проведенной авторами экспертной оценки и сформированных из основных технических показателей МПП ИД, влияющих на их эффективную работу, комплексных показателей проведена оценка технической эффективности данных модулей с применением аппарата нечеткой логики и математического программного обеспечения MatLab.

Полученные данные позволили с помощью метода Парето решить двухкритериальную задачу (стоимость – техническая эффективность МПП ИД) и сформировать критерий выбора наилучших образцов МПП ИД.

Предложенное научное обоснование критерия выбора модулей импульсного действия установок порошкового пожаротушения может быть использовано и для определения наиболее эффективных видов других средств пожаротушения с различными видами ОТВ и способами их вытеснения.

Список источников

1. Сытдыков М.Р., Иванов А.В. Оценка эффективности технических средств порошкового пожаротушения методом экспертной оценки // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 4. С. 13–19. EDN AVKIOX.
2. Крамаренко Н.В. Методы подобия в механике. Анализ размерностей: учеб. пособие. Новосибирск: Новосибирский гос. техн. ун-т, 2020. 212 с. ISBN 978-5-7782-4087-2. EDN AMASNH.
3. Сытдыков М.Р. Методика оценки эффективности порошкового огнетушителя со встроенной пористой емкостью (применительно к пожароопасным производственным объектам нефтебаз): дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2013. 170 с. EDN SUUNQR.
4. Джинчвелашвили Г.А. Решение задач прикладной механики с помощью методов теории подобия и анализа размерностей // Строительство: наука и образование. 2016. № 2. С. 5. EDN WITTPV.
5. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ, 2005.
6. Буравлев А.И. О задачах многокритериального выбора // Вооружение и экономика. 2021. № 1 (55). С. 131–138. EDN CMUHCL.
7. Александрова В.М., Соболенко Л.А. Некоторые методы нахождения эффективных точек многокритериальной задачи оптимизации // Системные исследования и информационные технологии. 2014. № 4. С. 100–110.
8. Ногин В.Д. Логическое обоснование принципа Эджворта-Парето // ЖВМиМФ. 2002. № 7. С. 951–957.
9. Кожевин Д.Ф. Методика комплексной оценки эффективности огнетушителей (применительно к пожароопасным производственным объектам нефтебаз): дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2011. 167 с. EDN QFFUMB.

References

1. Sytdykov M.R., Ivanov A.V. Ocenka effektivnosti tekhnicheskikh sredstv poroshkovogo pozharotusheniya metodom ekspertnoj ocenki // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2022. № 4. S. 13–19. EDN AVKIOX.
2. Kramarenko N.V. Metody podobiya v mekhanike. Analiz razmernostej: ucheb. posobie. Novosibirsk: Novosibirskij gos. tekhn. un-t, 2020. 212 s. ISBN 978-5-7782-4087-2. EDN AMASNH.
3. Sytdykov M.R. Metodika ocenki effektivnosti poroshkovogo ognetushtelya so vstroennoj poristoj emkost'yu (primeritel'no k pozharoопасnym proizvodstvennym ob"ektam neftebaz): dis. ... kand. tekhn. nauk. SPb., 2013. 170 s. EDN SUUNQR.
4. Dzhinchvelashvili G.A. Reshenie zadach prikladnoj mekhaniki s pomoshch'yu metodov teorii podobiya i analiza razmernostej // Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie. 2016. № 2. S. 5. EDN WITTPV.
5. Leonenkov A.V. Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH. SPb.: BHV, 2005.
6. Buravlev A.I. O zadachah mnogokriterial'nogo vybora // Vooruzhenie i ekonomika. 2021. № 1 (55). S. 131–138. EDN CMUHCL.

7. Aleksandrova V.M., Sobolenko L.A. Nekotorye metody nahozhdeniya effektivnyh toчек mnogokriterial'noj zadachi optimizacii // Sistemnye issledovaniya i informacionnye tekhnologii. 2014. № 4. S. 100–110.
8. Nogin V.D. Logicheskoe obosnovanie principa Edzhvorta-Pareto // ZHVMI MF. 2002. № 7. S. 951–957.
9. Kozhevin D.F. Metodika kompleksnoj ocenki effektivnosti ognetushtelej (primenitel'no k pozharoopasnym proizvodstvennym ob"ektam neftebaz): dis. ... kand. tekhn. nauk. SPb., 2011. 167 s. EDN QFFUMB.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 25.09.2024; одобрена после рецензирования: 03.10.2024; принята к публикации: 16.11.2024

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 25.09.2024; approved after review: 03.10.2024; accepted for publication: 16.11.2024

Информация об авторах:

Сытдыков Максим Равильевич, начальник кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: sytdykov@igps.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5343-4764>, SPIN-код: 7548-0539

Иванов Андрей Владимирович, старший преподаватель кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: andrei-ivanov84@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7886-2039>, SPIN-код: 9169-8325

Information about the authors:

Sytdykov Maxim R., head of the department of fire, emergency rescue equipment and automotive industry of 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: sytdykov@igps.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5343-4764>, SPIN: 7548-0539

Ivanov Andrey V., senior lecturer at the department of fire, emergency rescue equipment and automotive industry of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: andrei-ivanov84@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7886-2039>, SPIN: 9169-8325