

Научная статья

УДК 614.844.1

doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2025.40.85.014

Методика оценки эффективности устройств порошкового пожаротушения импульсного действия

Андрей Владимирович Иванов¹

Максим Равильевич Сытдыков²

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

¹<https://orcid.org/0000-0001-7886-2039>

²<https://orcid.org/0000-0002-5343-4764>

Автор, ответственный за переписку: Максим Равильевич Сытдыков, taxim0205@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена решению актуальной проблемы обеспечения пожарной безопасности на опасных производственных объектах нефтегазовой промышленности Российской Федерации, для которой характерен высокий уровень аварийности и значительный материальный ущерб. В качестве основного средства тушения пожаров углеводородов рассматриваются устройства порошкового пожаротушения импульсного действия (УПП ИД).

Целью исследования является разработка комплексной методики для сравнительной оценки и выбора наиболее эффективных образцов УПП ИД. Предлагаемая методика интегрирует метод экспертной оценки значимости технических параметров, математическое моделирование процесса вытеснения огнетушащего вещества (ОТВ) с формированием безразмерных критериев (π_7 , π_8), аппарат нечеткой логики для расчета обобщенного показателя эффективности (ОПЭ) и экономический анализ с построением диаграммы Парето.

Научная новизна заключается в формализации процесса оценки через переход к безразмерным комплексам, характеризующим энергетическую эффективность устройства. Практическая значимость подтверждается разработкой программы для ЭВМ, автоматизирующей расчеты и позволяющей обоснованно выбирать УПП ИД, обеспечивающие оптимальное соотношение их технической эффективности и стоимости.

Данное научное решение может быть успешно внедрено для обеспечения пожарной безопасности объектов защиты, например, объектов нефтегазовой промышленности, путем сравнительного анализа и выбора оптимальных УПП ИД.

Ключевые слова: устройства пожаротушения, нефтегазовая промышленность, пожар, методика, нечеткая логика, экспертная оценка

Для цитирования: Иванов А.В., Сытдыков М.Р. Методика оценки эффективности устройств порошкового пожаротушения импульсного действия // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2025. № 4 (39). С. 191-200.
<https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.40.85.014>.

Original article.

Methodology for evaluating the effectiveness of pulsed powder fire extinguishing devices

Andrey.V. Ivanov¹

Maksim.R. Sytdykov²

Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Saint Petersburg, Russia

¹<https://orcid.org/0000-0001-7886-2039>

²<https://orcid.org/0000-0002-5343-4764>

Corresponding author: Maksim.R. Sytdykov, maxim0205@mail.ru

Abstract. The article is devoted to solving the urgent problem of ensuring fire safety at hazardous production facilities in the oil and gas industry of the Russian Federation, which is characterized by a high level of accidents and significant material damage. As the main means of extinguishing hydrocarbon fires, pulse-action powder fire extinguishing devices (PFDs) are considered.

The purpose of the study is to develop a comprehensive methodology for comparative evaluation and selection of the most effective samples of fire extinguishing agents. The proposed methodology integrates the method of expert assessment of the significance of technical parameters, mathematical modeling of the process of displacement of the fire extinguishing agent with the formation of dimensionless criteria (π_7 , π_8), the fuzzy logic apparatus for calculating the generalized efficiency index (GEI), and economic analysis with the construction of a Pareto chart.

The scientific novelty lies in the formalization of the evaluation process through the transition to dimensionless complexes that characterize the energy efficiency of the device. The practical significance is confirmed by the development of a computer program that automates calculations and allows for the reasonable selection of IPP devices that provide an optimal balance between technical efficiency and cost.

This scientific solution can be successfully implemented to ensure the fire safety of protective facilities, such as oil and gas industry facilities, through comparative analysis and selection of optimal control measures.

Keywords: foam, expansion, average bubble diameter, velocity, dispersion, stability, capillary number

For citation: Иванов А.В., Сытдыков М.Р. Methodology for evaluating the effectiveness of pulsed powder fire extinguishing devices // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2025. № 4 (39). С. 191-200. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.40.85.014>.

Введение

На территории Российской Федерации в эксплуатации объектов экономики находится 16519 опасных производственных объектов (ОПО) нефтегазовой промышленности, из них: ОПО нефтегазодобывающей промышленности – 8616 ед.; ОПО нефтехимических, нефтегазоперерабатывающих производств и объектов нефтепродуктообеспечения – 3968 ед.; ОПО магистрального трубопроводного транспорта – 3935 ед. [1]. Анализ статистических данных аварийности данных объектов показывает, что за последние 10 лет (с 2015 по 2024 годы) произошло 384 аварийных ситуаций, материальный ущерб от которых составил более 46 миллиардов рублей [2]. Одними из наиболее аварийных объектов являются объекты нефтегазодобывающей промышленности. Основными видами аварий на данных объектах являются открытые фонтаны и выбросы, а также взрывы и пожары на объектах. Показатели аварийности в сравнении 2023 года с 2024 годом, связанные:

- с открытыми фонтанами и выбросами – уменьшились на 2 аварии (33,33 % общего количества);
- со взрывом и пожаром – увеличились на 1 аварию (33,33 % общего количества);

– с разрушением технических устройств, разливами нефтесодержащей жидкости – увеличились на 2 аварии (33,33 % общего количества).

Аварий, связанных с падением буровых (эксплуатационных) вышек, разрушением их частей, в 2024 году не зафиксировано.

На Рис.1-3 представлены основные показатели аварийности объектов нефтегазовой промышленности.

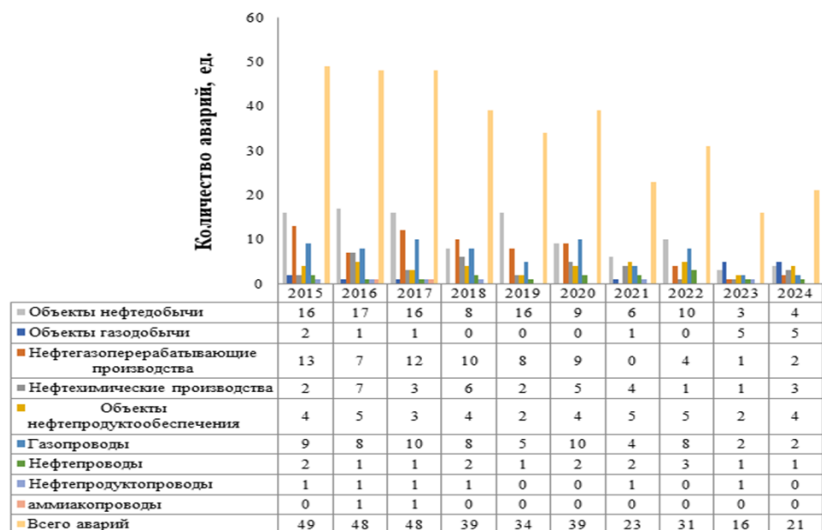


Рис.1. Количество аварийных ситуаций на ОПО нефтегазовой промышленности в 2015-2024 годах

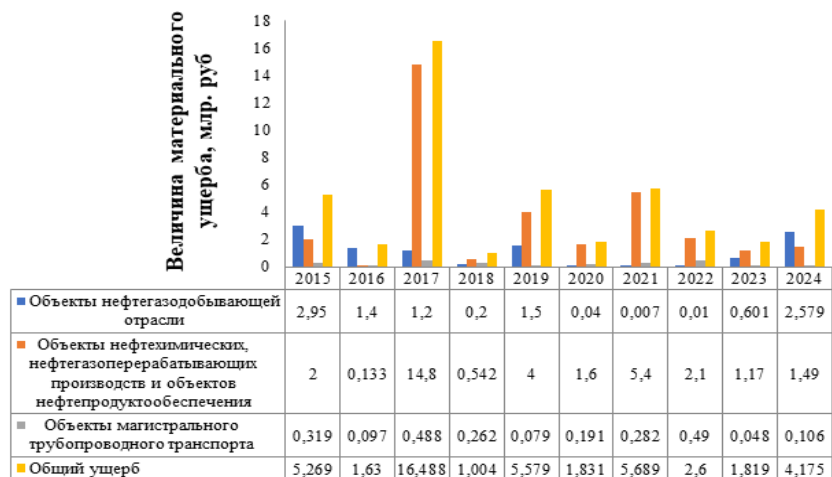


Рис.2. Величина материального ущерба от аварийных ситуаций на ОПО нефтегазовой промышленности в 2015-2024 годах

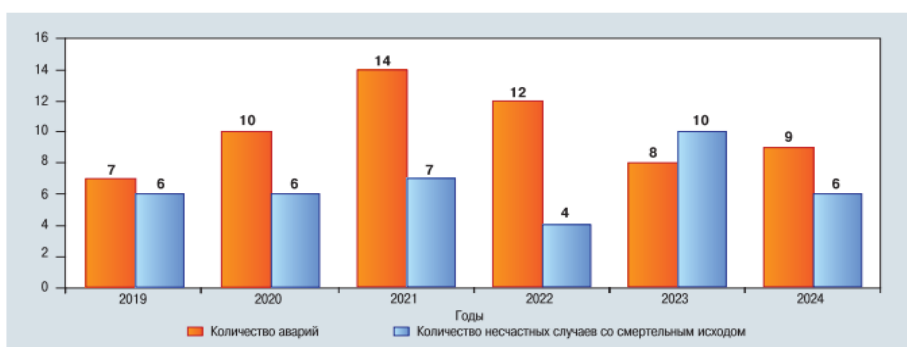


Рис.3. Динамика аварийности и смертельного травматизма на объектах нефтегазодобывающей промышленности в 2019-2024 годах [1]

На ОПО нефтегазодобывающей промышленности основными пожароопасными веществами являются углеводороды и их соединения, пожары которых сопровождаются

высокой температурой горения и большим потоком лучистой энергии [3]. Учеными в работах [4-6] доказана эффективность применения порошковых огнетушащих составов для тушения углеводородов, как одного из наиболее эффективного ОТВ. В работе [7] авторами проведена оценка способов вытеснения ОТВ из устройств пожаротушения, предназначенных для тушения пожаров углеводородов, которая показала, что наиболее эффективным является импульсный способ.

В связи с этим возникает необходимость в совершенствовании имеющихся и разработке новых устройств пожаротушения для тушения пожаров углеводородов, а также оценке их эффективности [8].

С этой целью в данной работе разработана методика оценки эффективности УПП ИД, которая позволит определить пути совершенствования конструкций данных устройств.

Методы исследования

Подходы к разработке различных методик оценки эффективности технических средств отражены в работах [9-10]. Данные методики направлены на формирование интегральных показателей эффективности, включающих в себя оценку, как технических параметров рассматриваемых устройств, так и их стоимость.

Методика, предложенная авторами, является комплексной и включает в себя последовательное применение нескольких научных методов для минимизации субъективности и получения обоснованного результата. Она состоит из следующих ключевых этапов:

1. Определение значимости технических параметров, влияющих на эффективность УПП ИД методом экспертной оценки.

На этом этапе выявляются основные технические параметры УПП ИД, заявленные в технической документации завода-изготовителя, которые, по мнению экспертов, влияют на эффективность тушения. В данном случае определено 10 параметров (время срабатывания, длина струи, защищаемая площадь и объем, масса устройства и порошка, рабочее давление и др.). Эксперты проводят ранжирование технических параметров, в зависимости от их влияния на эффективность тушения и присваивают им соответствующие ранги. На основе математической обработки результатов опроса формируется таблица с численными значениями этих параметров для различных моделей УПП ИД, представленных на рынке [11].

2. Математическое моделирование процесса вытеснения ОТВ из УПП ИД с применением метода анализа размерностей и π -теоремы.

Цель данного этапа заключается в переходе от множества размерных параметров к определенному количеству безразмерных комплексов, которые описывают физическую сущность процесса вытеснения ОТВ из УПП ИД. В процессе перехода все 10 параметров выражаются через 3 основные размерности (масса, длина, время).

Согласно π -теореме из 10 величин с 3 размерностями сформированы 7 независимых безразмерных комплексов ($\pi_1 - \pi_7$), а также вторичный комплекс π_8 как комбинацию первичных для лучшего описания процесса. В результате получены два ключевых безразмерных комплекса, представленных в Таблице.

Таблица. Физическая сущность безразмерных комплексных показателей [12]

Комплексы	Соотношения размерностей	Физическая сущность показателей
$\pi_7 = \frac{Q \cdot S^{1/2}}{P \cdot t^2}$	$[\pi_7] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^2}{\text{с}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{м}^2} = \frac{\text{Дж}}{\text{Дж}}$	Отношение кинетической энергии, необходимой для охвата всей защищаемой поверхности, к потенциальной энергии всего устройства
$\pi_8 = \frac{l \cdot P \cdot t^2 \cdot S^{1/2}}{S^{1/2} \cdot m_{\text{п}}}$	$[\pi_8] = \frac{\text{Дж}}{\text{Дж}}$	Характеризует потери энергии вытесняющего газа от соотношения длины струи ОТВ и защищаемой поверхности

Как видно из данных, представленных в таблице, чем выше значение π_7 , тем эффективнее использование энергии устройства для тушения пожаров и чем ниже значение π_8 , тем меньше потери энергии на их тушение.

Ввиду того, что результаты экспертной оценки, а также значения π_7 и π_8 могут давать противоречивые данные (например, одно устройство лучшее по π_7 , но худшее по экспертным оценкам), возникает необходимость в проведении следующего этапа, направленного на определение интегрального показателя – обобщенного показателя эффективности (ОПЭ).

3. Формирование ОПЭ с использованием метода нечеткой логики и математического программного обеспечения MatLab.

Применение аппарата нечеткой логики позволяет объединить три разнородных критерия в один интегральный показатель – ОПЭ [13]. Для этого используется система нечеткого вывода первого порядка Мамдани, входными данными которой являются численные значения π_7 , π_8 и экспертной оценки (средневзвешенный показатель) для каждого рассматриваемого устройства.

Далее для каждой переменной с помощью треугольных функций задаются термы (лингвистические оценки) с интервалами: «наивысшая эффективность», «очень высокая эффективность», «высокая эффективность», «умеренная эффективность» и «низкая эффективность».

Формулируется база правила в стиле "ЕСЛИ.. ТО...". Например: «ЕСЛИ π_7 высокое, И π_8 низкое, И экспертная оценка высокая, ТО общая эффективность наивысшая».

Программное обеспечение (MatLab) на основе входных данных и базы правил вычисляет четкое численное значение ОПЭ для каждого УПП ИД в диапазоне от 0 до 1. В результате все устройства получают единую, сопоставимую оценку (ОПЭ), которая комплексно учитывает все три исходных критерия.

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

С этой целью проводится заключительный этап оценки эффективности УПП ИД, позволяющий учесть не только техническую эффективность (ОПЭ), но и экономический фактор (стоимость).

4. Формирование критерия выбора устройства пожаротушения.

На данном этапе рассчитываются удельные значения: ОПЭ каждого устройства делится на средний ОПЭ по всем устройствам, а стоимость каждого устройства – на среднюю стоимость.

Строится диаграмма Парето, где по оси Y откладывается удельный ОПЭ (показатель технической эффективности), а по оси X – удельная стоимость (показатель экономической эффективности).

Диаграмма делится на четыре квадранта:

- квадрант А: Высокая эффективность / Низкая стоимость;
- квадрант В: Высокая эффективность / Высокая стоимость;
- квадрант С: Низкая эффективность / Высокая стоимость;
- квадрант D: Низкая эффективность / Низкая стоимость.

По результатам построения диаграммы Парето формируется критерий выбора УПП ИД, служащий показателем их эффективности. Наилучшими признаются устройства, попавшие в квадрант А, так как они обеспечивают максимальную техническую эффективность при минимальных материальных затратах.

Для удобства расчета данного показателя, авторами разработана программа для ЭВМ [14], позволяющая определить наиболее эффективный образец устройств пожаротушения импульсного действия, как одного из основных технических средств тушения пожаров на различных объектах защиты, например, объектах нефтегазовой промышленности.

Графический интерфейс ввода данных программы для ЭВМ и пример построения диаграммы Парето представлены на Рис.4, 5.

Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России
имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева
Кафедра пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства

РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ ПОЖАРОТУШЕНИЯ ИМПУЛЬСНОГО ДЕЙСТВИЯ

Данная программа предназначена для расчета комплексных показателей, которые характеризуют эффективность работы импульсных установок пожаротушения. Они оценивают такие параметры, как удельная дальность подачи струи, удельный объем защищаемой зоны, энергетические соотношения и потери, что позволяет анализировать эффективность доставки огнетушащего вещества (ОТВ) и его воздействия на очаг пожара.

Время срабатывания устройства, t :	1	с	Длина струи порошка, l :	3	м
Защищаемая площадь, S :	1,2	м ²	Защищаемый объем, V_s :	1,2	м ³
Масса устройства, M :	3	кг	Масса порошка, m_n :	0,49	кг
Масса остатка порошка, m :	0,049	кг	Рабочее давление, P :	0,65	кг·м ⁻¹ ·с ⁻²
Объем устройства, V :	2,4	м ³	Расход ОТВ при тушении пожара, Q :	2,46	кг·м ⁻²
Цена образца:	3987	Руб.			

ФОРМУЛЫ ДЛЯ РАСЧЁТА

$\pi_1 = \frac{l}{\sqrt{S}}$	$\pi_2 = \frac{V_s}{S^{3/2}}$	$\pi_3 = \frac{M}{P \cdot t^2 \cdot \sqrt{S}}$	$\pi_4 = \frac{m}{P \cdot t^2 \cdot \sqrt{S}}$
$\pi_5 = \frac{mp}{P \cdot t^2 \cdot \sqrt{S}}$	$\pi_6 = \frac{V}{S^{3/2}}$	$\pi_7 = \frac{Q \cdot \sqrt{S}}{P \cdot t^2}$	$\pi_8 = \frac{l \cdot P \cdot t^2 \cdot \sqrt{S}}{S^{1/2} \cdot m_n}$

Произвести расчёт Показать результаты

Рис.4. Интерфейс ввода данных программы для ЭВМ [14]

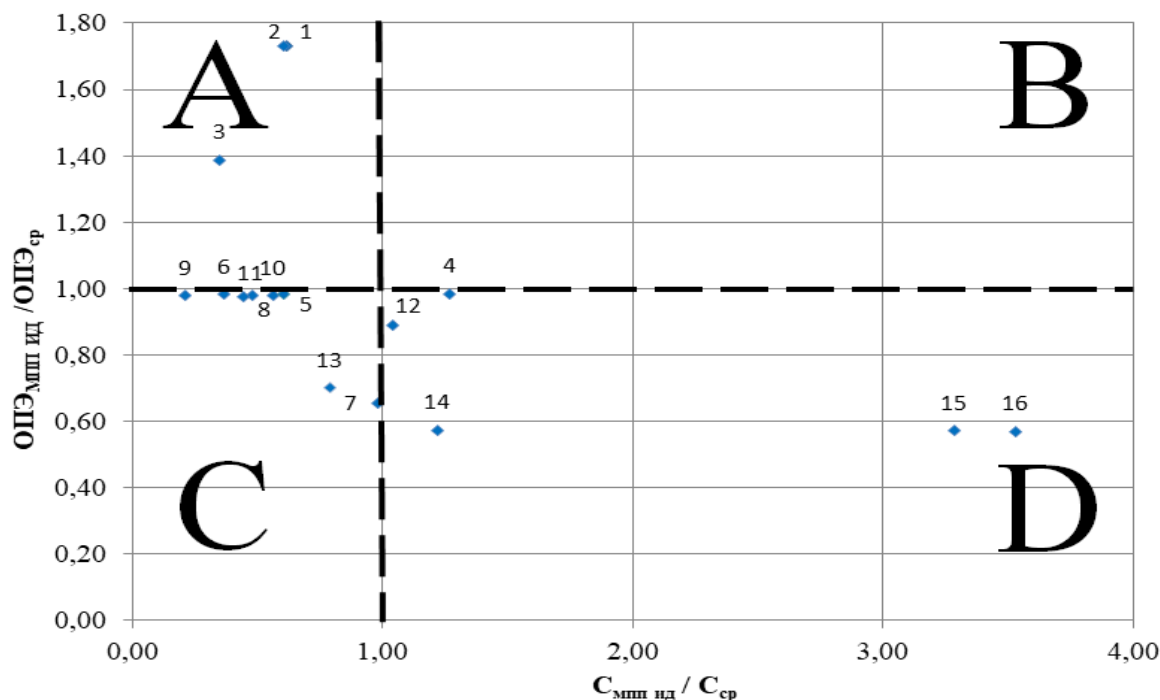


Рис.5. Оценка эффективности устройств пожаротушения методом Парето [12]

Алгоритм методики оценки эффективности УПП ИД представлен на Рис.6.

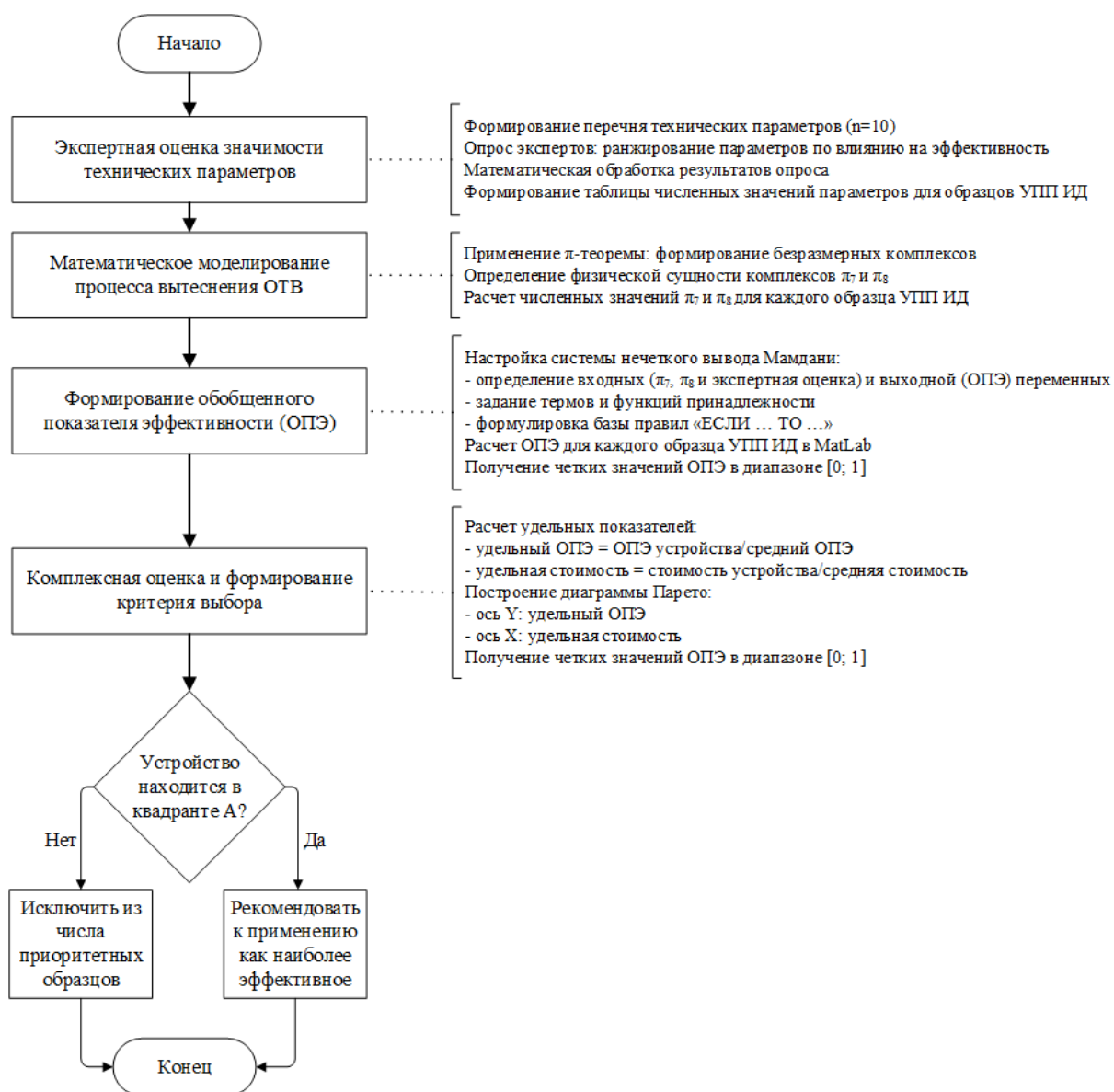


Рис.6. Алгоритм методики оценки эффективности УПП ИД

Данный алгоритм может быть использован для практической реализации методики в организациях, занимающихся оценкой и выбором устройств пожаротушения.

Заключение

На основании проведенного исследования и разработанной методики можно сформулировать следующие выводы:

1. Разработанная методика является комплексным инструментом, который последовательно интегрирует методы экспертной оценки, математического моделирования, нечеткой логики и экономического анализа. Такой подход позволяет преодолеть ограничения каждого отдельного метода и минимизировать субъективность при оценке эффективности УПП ИД.

2. Ключевым научным результатом является формализация процесса оценки через переход от множества размерных параметров к двум обобщающим безразмерным комплексам (π_7 и π_8), несущим физическую сущность процесса вытеснения огнетушащего вещества. Это позволило количественно оценить эффективность использования энергии устройства и величину энергетических потерь.

3. Применение аппарата нечеткой логики для формирования обобщенного показателя эффективности (ОПЭ) позволило успешно разрешить потенциальные противоречия между разнородными критериями (экспертная оценка, π_7 , π_8) и получить единый интегральный показатель технической эффективности для каждого устройства.

4. Заключительный этап методики, основанный на построении диаграммы Парето, обеспечивает практическую значимость исследования, позволяя принимать обоснованные решения с учетом баланса между технической эффективностью (ОПЭ) и экономическими затратами. Критерий выбора устройств, попадающих в квадрант «Высокая эффективность / Низкая стоимость», является наиболее рациональным для внедрения.

Таким образом, предложенная методика может быть успешно внедрена как инструмент сравнительного анализа и выбора оптимальных элементов системы предотвращения пожара, таких как УПП ИД, для обеспечения пожарной безопасности объектов защиты, например, объектов нефтегазовой промышленности.

Список источников

1. Годовой отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2024 году – Режим доступа: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/Пр-259%20от%2004.08.2025%20Годовой%20отчет.pdf (дата обращения: 11.10.2025).
2. Иванов, А.В. О вопросах аварийности объектов нефтегазовой промышленности / М.Р. Сытдыков, А.В. Иванов, Ю.С. Абдуллаева // Актуальные проблемы пожарной безопасности: Материалы XXXVI Международной научно-практической конференции, посвященной 375-й годовщине образования пожарной охраны России, Москва, 31 мая 2024 года. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС РФ, 2024. – С. 119-123. – EDN NCEJHN.
3. Королев, Д.С. Оценка степени опасности горения углеводорода при деструктивном событии на нефтепроводе / Д.С. Королев // Техносферная безопасность. – 2022. – № 4(37). – С. 25-33. – EDN ХУНКТС.
4. Дмитриев, О.В. Разработка научно обоснованных подходов к повышению эффективности огнетушащих порошковых составов: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Дмитриев Олег Владимирович, 2022. – 214 с. – EDN ZDFGJM.
5. Влияние кристаллогидратов солей в огнетушащем порошковом составе на его удельную эффективность тушения легковоспламеняющейся жидкости / И.В. Вальцифер, А.Ш. Шамсутдинов, В.А. Вальцифер, В.Н. Стрельников // Технологии безопасности жизнедеятельности. – 2024. – № 5. – С. 5-11. – DOI 10.17223/29491665/5/1. – EDN EFHTET.
6. Константинова, А.С. О выборе продуктов нефтепереработки для системы экспериментальных очагов пожара при определении огнетушащей эффективности порошковых составов / А.С. Константинова, А.С. Поляков // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2021. – № 7. – С. 41-46. – EDN ZOOCJE.
7. Иванов, А.В. Оценка способов вытеснения огнетушащих веществ из средств пожаротушения, предназначенных для тушения углеводородов / М.Р. Сытдыков, Д.Ф. Кожевин, А.В. Иванов // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2022. – № 2(62). – С. 154-163. – EDN MJAQYR.
8. Повышение эффективности работы устройства для подачи огнетушащих порошковых составов / М.М. Журов, П.Н. Гоман, Д.С. Миканович, И.В. Лямцев // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2022. – № 1(51). – С. 99-107. – EDN LGXVPA.
9. Гаврилова, А.А. Методика многокритериальной сравнительной оценки эффективности замены средств измерений и автоматики / А.А. Гаврилова, Л.А. Сагитова, А.В. Етряннов // Энергетические системы. – 2023. – № 3. – С. 65-69. – DOI 10.34031/es.2023.3.008. – EDN ETWXUV.
10. Методика оценки эффективности средств мониторинга при обнаружении очага пожара в зданиях текстильных производств / К.А. Михайлов, Д.В. Тараканов, А.И. Соковнин,

А.В. Смирнов // Технологии техносферной безопасности. – 2025. – № 2(108). – С. 130-142. – DOI 10.25257/TTS.2025.2.108.130-142. – EDN TXQEVС.

11. Сытдыков, М.Р. Оценка эффективности технических средств порошкового пожаротушения методом экспертной оценки / М.Р. Сытдыков, А.В. Иванов // Научно-аналитический журнал "Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России". – 2022. – № 4. – С. 13-19. – EDN AVKIOX.

12. Сытдыков, М.Р. Научное обоснование обобщенного критерия выбора средств пожаротушения / М.Р. Сытдыков, А.В. Иванов // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2024. – № 4(72). – С. 130-143. – DOI 10.61260/1998-8990-2025-2024-4-130-143. – EDN EAGUJL.

13. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ, 2005.

14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025664700 Российская Федерация. Расчет показателя эффективности средств пожаротушения импульсного действия: заявл. 23.05.2025; опублик. 05.06.2025 / М.Р. Сытдыков, А.В. Иванов, Ю.С. Абдуллаева; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени героя Российской Федерации генерала армии Е.Н.Зиничева". – EDN MUNKWB.

References

1. Annual Report on the Activities of the Federal Service for Environmental, Technological, and Nuclear Supervision in 2024 – Access mode: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/Pr-259%20ot%2004.08.2025%20Annual%20Report.pdf (accessed: 11.10.2025).

2. Ivanov, A.V. On the Issues of Accidents at Oil and Gas Industry Facilities / M.R. Sytdykov, A.V. Ivanov, Yu.S. Abdullaeva // Actual Problems of Fire Safety: Proceedings of the XXXVI International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 375th Anniversary of the Russian Fire Department, Moscow, May 31, 2024. – Moscow: All-Russian Research Institute of Fire Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation, 2024. – Pp. 119-123. – EDN NCEJHN.

3. Korolev, D.S. Assessment of the Degree of Danger of Hydrocarbon Combustion in a Destructive Event on an Oil Pipeline / D. S. Korolev // Technosphere Safety. – 2022. – No. 4(37). – Pp. 25-33. – EDN XYHKTS.

4. Dmitriev, O.V. Development of scientifically substantiated approaches to improving the efficiency of fire-extinguishing powder compositions: dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Dmitriev Oleg Vladimirovich, 2022. – 214 p. – EDN ZDFGJM.

5. The effect of salt hydrates in a fire-extinguishing powder composition on its specific effectiveness in extinguishing flammable liquids / I.V. Valtsifer, A.Sh. Shamsutdinov, V.A. Valtsifer, and V.N. Strelnikov // Life Safety Technologies. – 2024. – No. 5. – Pp. 5-11. – DOI 10.17223/29491665/5/1. – EDN EFHTET.

6. Konstantinova, A.S. On the selection of oil refining products for the system of experimental fire sources when determining the fire-extinguishing effectiveness of powder compositions / A.S. Konstantinova, A.S. Polyakov // Oil Refining and Petrochemicals. Scientific and Technical Achievements and Best Practices. – 2021. – No. 7. – Pp. 41-46. – EDN ZOOCJE.

7. Ivanov, A.V. Evaluation of Methods for Displacing Fire-Extinguishing Substances from Fire-Extinguishing Devices Designed for Extinguishing Hydrocarbons / M.R. Sytdykov, D.F. Kozhevnikov, and A.V. Ivanov // Problems of Risk Management in the Technosphere. – 2022. – No. 2(62). – Pp. 154-163. – EDN MJAQYR.

8. Improving the efficiency of the device for supplying fire extinguishing powder compositions / M.M. Zhurov, P.N. Goman, D.S. Mikanovich, I.V. Lyamtsev // Emergency situations: prevention and elimination. – 2022. – № 1(51). – Pp. 99-107. – EDN LGXVPA.

9. Gavrilova, A. A. Methodology for a Multi-Criteria Comparative Assessment of the Effectiveness of Replacing Measuring Instruments and Automation / A.A. Gavrilova, L.A. Sagitova,

and A.V. Etrivanov // Energeticheskie Sistemy. – 2023. – No. 3. – Pp. 65-69. – DOI 10.34031/es.2023.3.008. – EDN ETWXUV.

10. Mikhailov K.A., Tarakanov D.V., Sokovnin A.I., Smirnov A.V. Methodology for evaluating the effectiveness of monitoring tools when detecting a fire in textile production buildings // Technosphere safety technologies. – 2025. – No. 2(108). – Pp. 130-142. – DOI 10.25257/TTS.2025.2.108.130-142. – EDN TXQEVC.

11. Sytdykov, M.R. Evaluation of the Efficiency of Powder Fire Suppression Equipment by the Expert Assessment Method / M.R. Sytdykov, A.V. Ivanov // Scientific and Analytical Journal "Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia". – 2022. – No. 4. – Pp. 13-19. – EDN AVKIOX.

12. Sytdykov, M.R. Scientific Justification of a Generalized Criterion for Selecting Fire-Fighting Equipment / M.R. Sytdykov, A.V. Ivanov // Problems of Risk Management in the Technosphere. – 2024. – No. 4(72). – Pp. 130-143. – DOI 10.61260/1998-8990-2025-2024-4-130-143. – EDN EAGUJL.

13. Leonenkov, A.V. Fuzzy Modeling in MATLAB and fuzzyTECH. St. Petersburg: BHV, 2005.

14. Certificate of State Registration of the Computer Program No. 2025664700, Russian Federation. Calculation of the Efficiency Index of Pulse-Action Fire Suppression Equipment: application dated 05/23/2025; published on 06/05/2025 / M.R. Sytdykov, A.V. Ivanov, Yu.S. Abdullayeva; applicant Federal state budgetary educational institution of higher education "Saint Petersburg university of the state fire service of the ministry of the Russian Federation for civil defense, emergencies and elimination of consequences of natural disasters named after hero of the Russian Federation army general E.N.Zinicheva." – EDN MUNKWB.

Информация об авторах

М.Р. Сятдыков – кандидат технических наук, доцент

Information about the author

M.R. Sytdykov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 16.10.2025, одобрена после рецензирования 01.12.2025, принята к публикации 15.12.2025.

The article was submitted 16.10.2025, approved after reviewing 01.12.2025, accepted for publication 15.12.2025.