

Научная статья
УДК 608.2
doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2025.89.99.021

Алгоритм прогнозирования дополнительной потребности и расхода штатных огнетушащих веществ подразделений МЧС РФ для тушения пожаров

Илья Вячеславович Мещеряков¹

Григорий Константинович Ивахнюк²

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

¹<http://orcid.org/0009-0000-0014-5232>

²<http://orcid.org/0000-0003-2556-303X>

Автор, ответственный за переписку: Илья Вячеславович Мещеряков, ilya.mesch@mail.ru

Аннотация. Экспериментальные исследования подтвердили высокую эффективность применения модифицированных огнетушащих составов в сравнении с традиционными средствами. Особое внимание уделено водному раствору дезактивирующего средства СФ-2У, который при концентрации 0,3 %_{масс} продемонстрировал значительное улучшение огнетушащей и проникающей способности, в том числе при подаче тонкораспылённой струей. Установлено, что огнетушащая способность раствора СФ-2У превышает аналогичный показатель воды примерно в два раза. Проведены испытания газозаполненной пены, показавшие прирост огнетушащего эффекта по сравнению с воздухозаполненной. Разработаны и апробированы схемы генерации такой пены, что позволило определить оптимальные параметры подачи и составов. На основании анализа исходных и зависимых параметров предложены алгоритмы расчёта расхода ОТВ, учитывающие комплекс факторов: масштаб и характер пожара, тип применяемого средства, метеоусловия, а также логистические ограничения. Введённые в алгоритм зависимости и корректирующие коэффициенты обеспечивают её адаптацию под конкретные условия обстановки, позволяя оперативно прогнозировать потребность в ОТВ. Работа содержит обоснованные рекомендации по дальнейшему совершенствованию методики и внедрению полученных результатов в практическую деятельность пожарных подразделений МЧС России.

Ключевые слова: алгоритм, пожар, тушение, СФ-2У, сульфонол, модифицированная пена, термическая устойчивость

Для цитирования: Мещеряков И.В., Ивахнюк Г.К. Алгоритм прогнозирования дополнительной потребности и расхода штатных огнетушащих веществ подразделений МЧС РФ для тушения пожаров // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2025. № 4 (39). С. 249-260. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.89.99.021>.

Original article.

Algorithm for forecasting additional needs and consumption of standard fire extinguishing agents of the Russian Emergencies Ministry units for extinguishing fires

Ilya V. Meshcheryakov

Grigory K. Ivakhnyuk

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

¹<http://orcid.org/0009-0000-0014-5232>

²<http://orcid.org/0000-0003-2556-303X>

Corresponding author: *Ilya V. Meshcheryakov, ilya.mesch@mail.ru*

Abstract. Experimental studies have confirmed the high efficiency of modified fire extinguishing agents in a gradual mode. Particular attention is given to the aqueous solution of the SF-2U decontaminating agent, which, at a concentration of 0.3%, demonstrated improved extinguishing and penetrating properties, including when applied as a fine mist. It was found that the fire extinguishing ability of the SF-2U solution is approximately twofold greater than that of water. Tests of gas-filled foam were conducted, demonstrating an increase in the extinguishing effect compared to air-filled foam. Generation schemes for these foams were developed and tested, determining optimal supply parameters and compositions. Based on an analysis of initial and dependent parameters, algorithms for calculating extinguishing agent consumption are proposed, taking into account a range of factors: the scale and nature of the fire, the type of agent used, weather conditions, and flexibility limitations. Dependent and corrective coefficients introduced into the model lead to its adaptation to specific fire conditions, enabling rapid forecasting of extinguishing agent requirements. The work contains substantiated recommendations on the prospects for improving the methodology and implementing the results in the practical activities of the fire-fighting equipment of the Ministry of Emergency Situations of Russia.

Keywords: algorithm, fire, extinguishing, SF-2U, sulfonol, modified foam, thermal stability

For citation: Meshcheryakov I.V., Ivakhnyuk G.K. Algorithm for forecasting additional needs and consumption of standard fire extinguishing agents of the Russian Emergencies Ministry units for extinguishing fires // *Siberian Fire and Rescue Bulletin*. 2025. № 4 (39). С. 249-260. (In Russ.) [https://doi.org/10.34987/ vestnik.sibpsa.2025.89.99.021](https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.89.99.021).

Цель исследования

Разработка прогностической модели, позволяющей определять потребность и расход дополнительных штатных и модифицированных огнетушащих веществ (ОТВ) для подразделений пожарной охраны. Алгоритм учитывает различные факторы, влияющие на расход ОТВ, и обеспечивает оптимизацию их распределения в зависимости от оперативных условий.

Задачи исследования

1. Определение факторов, влияющих на потребность в ОТВ.
2. Исследование зависимостей между расходом ОТВ и внешними условиями.
3. Выявление специфики использования штатных и модифицированных ОТВ.

Ведение

Проблемы, связанные с обеспечением пожарной безопасности, обусловлены комплексом взаимосвязанных факторов, которые критически влияют на оперативность реагирования на чрезвычайные ситуации.

Первостепенной проблемой является значительная удаленность пожарно-спасательных подразделений от населенных пунктов, что в сочетании с неудовлетворительным состоянием дорожной сети, включая отсутствие дорог с твердым покрытием или их низкое качество,

приводит к существенному увеличению времени прибытия пожарных расчетов к месту вызова, зачастую превышающему установленные нормативы.

Кроме того, на ситуацию негативно влияет устаревший парк пожарной техники, характеризующийся низким уровнем оснащения, недостаточной маневренностью и высокой степенью износа. Это ограничивает возможности пожарных в оперативном тушении пожаров, проведении спасательных операций и ликвидации последствий других чрезвычайных ситуаций.

Наконец, существенной проблемой является недостаточность сил и средств в штатных подразделениях пожарной охраны. Это означает, что даже при своевременном выезде пожарные расчеты могут не располагать достаточным количеством оборудования или транспортных средств, чтобы эффективно бороться с пожарами или ликвидировать последствия других чрезвычайных ситуаций. Такая недостаточность может привести к необходимости ожидания подкрепления из других, более отдаленных подразделений, что увеличивает общее время реагирования и может иметь негативные последствия.

Таким образом, комплекс проблем, включающий удаленность пожарно-спасательных подразделений, плохое состояние дорог, устаревшую технику и недостаточность сил и средств, создает серьезные препятствия для эффективного реагирования на чрезвычайные ситуации в сельской местности. Решение этих проблем требует комплексного подхода, включающего улучшение инфраструктуры, обновление парка спецтехники и увеличение ресурсов, выделенных для пожарной охраны.

Традиционные методы планирования зачастую основаны на устаревших нормативных данных, экспертных оценках и не учитывают динамику современных угроз, изменяющиеся тактические условия, погодные факторы и другие переменные. Введение аналитической модели, основанной на математическом анализе и статистических данных, позволит более точно определять необходимый объем ОТВ, снижать вероятность ошибок в планировании и повышать оперативность реагирования.

Таким образом, разработка и внедрение аналитической модели определения потребности и расхода ОТВ является актуальной задачей, способствующей повышению боеготовности и эффективности подразделений в современных условиях.

Проведен анализ литературных источников, посвященных прогнозированию развития пожара. Моделирование распространения лесных пожаров и визуализация процесса пожаротушения изучены в работах Qingkuo Meng, Hao Lu, Yongjian Huai и других авторов [1]. Вопросы многоцелевого планирования применения аварийно-спасательной техники для тушения лесных пожаров с использованием алгоритма многоцелевого дискретного гравитационного поиска исследованы в работах Zhiwu Li, Xingyu Jiang, Yaping Ren и их соавторов [2]. Проблемы оптимизации планирования работы пожарных машин, распределенных по нескольким депо, рассмотрены в исследованиях Peng Wu, Feng Chu, MengChu Zhou и других ученых [3].

В настоящее время расчет требуемого количества сил и средств проводится согласно методикам, изложенным в справочниках руководителя тушения пожара (Иванников В.П., Ключ П.П. «Справочник руководителя тушения пожара», Москва, ООО "ИПЦ "Маска", Терехнев В.В. Справочник руководителя тушения пожара: тактические возможности пожарных подразделений. – М.: ВНИИПО МЧС России, Повзик Я. С. Справочник руководителя тушения пожара. – М.: РОССПО). Эти методики учитывают применение штатного вооружения подразделений пожарной охраны.

Аналитический расчет сил и средств для тушения пожара выполняется в строгой последовательности с учетом оперативной обстановки, характеристик объекта и параметров развития пожара.

Первоначально определяется форма площади пожара, которая зависит от геометрии горящего объекта, особенностей распространения пламени и наличия преград. Форма может

быть круговой, прямоугольной, угловой или сложной конфигурации, что влияет на дальнейшие расчеты.

Далее выбирается принцип расстановки сил и средств, основанный на тактических возможностях подразделений, доступной технике и особенностях объекта. Принцип может предусматривать сосредоточение усилий на основном направлении, создание сплошных или локальных рубежей тушения, либо комбинированный подход.

Следующим этапом является определение ключевого параметра тушения – площади пожара или площади, подлежащей тушению. Для этого используются масштабные планы, карты, техническая документация объекта.

На основании полученных данных производится расчет требуемого расхода огнетушащего вещества, необходимого как для непосредственного тушения, так и для защиты соседних объектов, которым угрожает опасность. Расчет выполняется по установленным формулам с учетом интенсивности подачи огнетушащих средств и характеристик горящих материалов.

После определения расхода вычисляется необходимое количество технических средств подачи огнетушащих веществ – пожарных стволов, пеногенераторов и других устройств. Количество приборов рассчитывается исходя из их производительности и требуемого расхода на тушение и защиту.

Далее определяется фактический расход огнетушащего средства, который может отличаться от расчетного из-за особенностей работы техники, потерь в рукавных линиях и других факторов. Этот параметр уточняется с использованием соответствующих формул и корректировочных коэффициентов.

Важным этапом является расчет необходимого запаса огнетушащих средств и оценка обеспеченности объекта этими ресурсами. Проверяется наличие достаточного количества воды, пенообразователя, порошка или других веществ, а также возможность их оперативного пополнения в ходе тушения.

Определяются предельные расстояния подачи огнетушащих средств от пожарных машин, установленных на водоисточники. Этот расчет учитывает характеристики насосов, длину и диаметр рукавных линий, рельеф местности и другие факторы, влияющие на эффективность подачи.

На основании проведенных расчетов устанавливается требуемое количество пожарных подразделений основного назначения, а также номер вызова по гарнизонному расписанию. При этом учитываются силы и средства, необходимые для локализации и ликвидации пожара в установленные нормативные сроки.

В завершение анализируется необходимость привлечения дополнительных ресурсов: пожарных подразделений специального назначения, вспомогательной и хозяйственной техники, служб города и объекта, сил гражданской обороны, воинских подразделений, рабочих предприятия и населения. Оценка производится с учетом масштаба пожара, возможного развития ситуации и наличия резервов.

Данный алгоритм обеспечивает системный подход к планированию и организации тушения пожаров, позволяя оптимально распределить имеющиеся ресурсы и минимизировать ущерб.

Результаты и обсуждение

Нами проведены эксперименты по определению пожарно-технических характеристик огнетушащих средств, модифицированных химическими и физическими способами.

Огнетушащая способность 0,3% водного раствора СФ-2У при тушении экспериментальных очагов пожара класса А с применением тонкораспыленных струй превышает аналогичный показатель для воды приблизительно в 2 раза. Это подтверждается

экспериментальными данными по времени ликвидации очага возгорания и объему расходуемого огнетушащего вещества [4, 5].

В рамках разработки перспективных средств пожаротушения была создана и апробирована экспериментальная модель устройства для генерации газозаполненной пены. Огневые испытания продемонстрировали повышение эффективности тушения модельных очагов класса В при использовании такой пены по сравнению с воздушно-механической [6, 7].

Результаты экспериментальных исследований позволяют выделить четыре направления совершенствования штатных средств и способов пожаротушения:

- применение газозаполненной пены для тушения очагов пожара классов А и В [8, 9];
- применение порошка СФ-2У в качестве пенообразователя [4-9];
- предварительная электрофизическая обработка водной основы для получения пены, подробно способ обработки рассмотрен в [10-15];
- повышение проникающей способности огнетушащих водных растворов [16].

Термическую устойчивость модифицированной пены проверяли следующим образом: цилиндр диаметром 10 мм и высотой 24 мм, выполненный из металлической сетки ГОСТ 3826-82 «Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками. Технические условия», заполняли пеной и помещали в муфельную печь, нагретую до заданной температуры. Визуально фиксировали время полного разрушения слоя пены. В качестве пенообразователя использовали водный раствор СФ-2У в концентрации 0,3%_{масс}, пену заполняли воздухом и углекислым газом. Результаты экспериментов представлены на графиках (Рис.1).

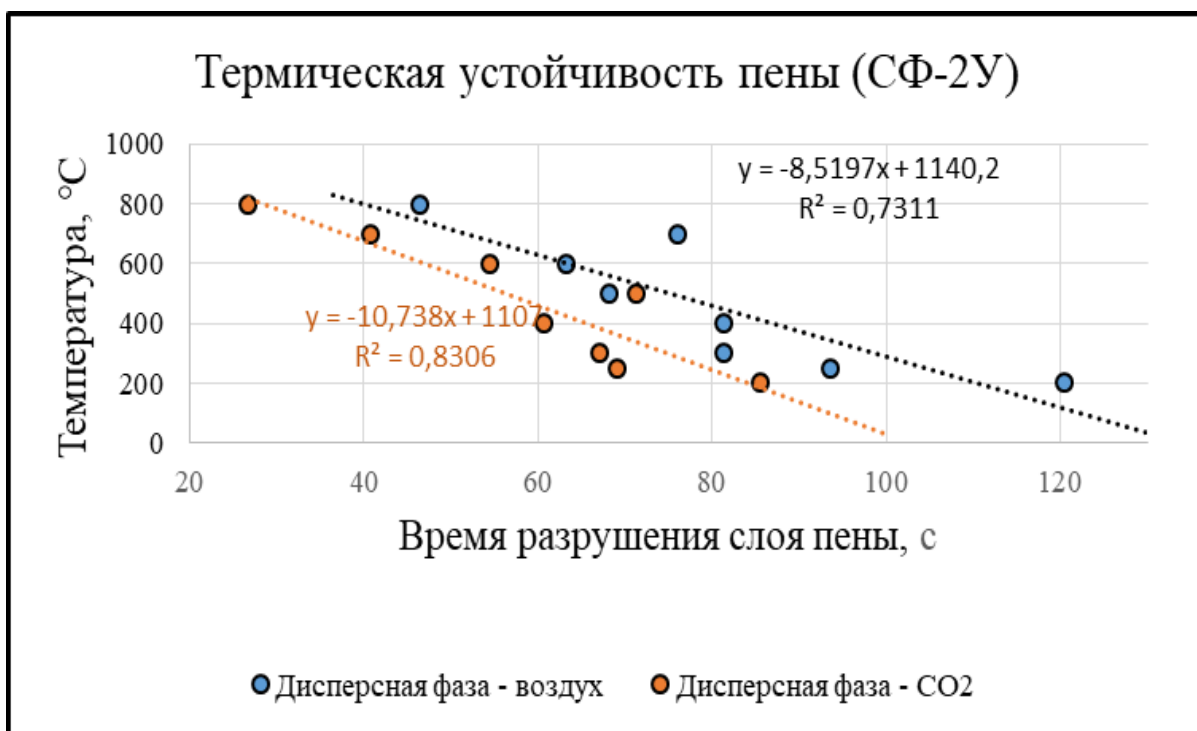


Рис.1. Зависимость времени разрушения слоя пены от температуры в печи (дисперсионная среда – водный раствор СФ-2У в концентрации 0,3 %масс)

Из графиков видно, что модификация пены путем замены дисперсионной фазы с воздуха на углекислый газ при повышении огнетушащей способности одновременно приводит к снижению термической устойчивости [17-19]. Этот эффект необходимо учитывать при проведении расчетов пенного тушения.

Для определения потребности модифицированных средств предложено ввести в методику расчета дополнительные коэффициенты. Для расчёта численных значений установлены зависимости между параметрами пожаротушения (Табл.1).

Табл.1. Зависимости между параметрами пожаротушения при подаче газозаполненной пены на очаг пожара

№ п/п	Показатели истечения пены	Обозначение	Единица измерения (СИ)
А. Исходные величины			
1.	Концентрация пенообразователя	$C_{\text{ПО}}$	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
2.	Давление подачи	P	Па
3.	Площадь горящей поверхности	$S_{\text{оч}}$	м^2
4.	Расход	$Q_{\text{под}}$	$\frac{\text{кг}}{\text{с}}$
Б. Зависимые величины			
5.	Площадь пенного слоя	$S_{\text{пен}}$	м^2
6.	Огнетушащая способность	$K_{\text{ОС}}$	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$
7.	Устойчивость объема пены	$T_{\text{ст}}$	с
8.	Термическая устойчивость пены	$T_{\text{терм}}$	с
9.	Масса действующего вещества, попавшего в очаг пожара	$m_{\text{дв}}$	кг
В. Качественные показатели			
10.	Вид пенообразователя	$K_{\text{ПО}}$	–
11.	Вид ствола	$K_{\text{СТ}}$	–
12.	Дисперсная фаза	$K_{\text{ДФ}}$	–
13.	Электрофизическая обработка	$K_{\text{ЭФО}}$	–
14.	Дисперсионная среда	$K_{\text{ДС}}$	–

Из исходных и зависимых величин составлено 4 уравнения связи параметров пенного тушения:

$$\pi_1 = C_{\text{ПО}} \cdot S_{\text{пен}}^{A_1} \cdot K_{\text{ОС}}^{B_1} \cdot T_{\text{ст}}^{C_1} \cdot T_{\text{терм}}^{D_1} \cdot m_{\text{дв}}^{E_1} \quad (1)$$

$$\pi_2 = P \cdot S_{\text{пен}}^{A_2} \cdot K_{\text{ОС}}^{B_2} \cdot T_{\text{ст}}^{C_2} \cdot T_{\text{терм}}^{D_2} \cdot m_{\text{дв}}^{E_2} \quad (2)$$

$$\pi_3 = S_{\text{оч}} \cdot S_{\text{пен}}^{A_3} \cdot K_{\text{ОС}}^{B_3} \cdot T_{\text{ст}}^{C_3} \cdot T_{\text{терм}}^{D_3} \cdot m_{\text{дв}}^{E_3} \quad (3)$$

$$\pi_4 = Q_{\text{под}} \cdot S_{\text{пен}}^{A_4} \cdot K_{\text{ОС}}^{B_4} \cdot T_{\text{ст}}^{C_4} \cdot T_{\text{терм}}^{D_4} \cdot m_{\text{дв}}^{E_4} \quad (4)$$

Корни уравнений представлены в Табл.2.

Табл.2. Корни уравнений связи параметров пенного тушения

Показатель	Корни уравнения				
	A_i	B_i	C_i	D_i	E_i
π_1 комплекс	A_1 -0,5	B_1 -1	C_1 0	D_1 0	E_1 0
π_2 комплекс	A_2 -0,5	B_2 0	C_2 1	D_2 1	E_2 -1
π_3 комплекс	A_3 0	B_3 1	C_3 0	D_3 0	E_3 -1
π_4 комплекс	A_4 -1	B_4 -1	C_4 0	D_4 1	E_4 0

В Табл.3 раскрыт физический смысл полученных комплексов.

Табл.3. Физический смысл комплексов

Относительные показатели	Физический смысл относительных показателей
$[\pi_1] = \frac{C_{\text{ПО}}}{K_{\text{ОС}} \cdot \sqrt{S_{\text{пен}}}} = 1$	Удельная концентрация пенообразователя на единицу площади слоя пены

$[\pi_2] = \frac{P \cdot T_{ст} \cdot T_{терм}}{m_{дв} \cdot \sqrt{S_{пен}}} = 1$	Удельная масса пены на единицу массы действующего вещества
$[\pi_3] = \frac{S_{оч} \cdot K_{ос}}{m_{дв}} = 1$	Удельная площадь очага пожара на единицу массы действующего вещества
$[\pi_4] = \frac{Q_{под} \cdot T_{терм}}{S_{пен} \cdot K_{ос}} = 1$	Удельная масса пены в очаге пожара

На основании физического смысла показателей, исходя из необходимости их улучшения, выведен обобщённый комплекс, характеризующий огнетушащую эффективность модифицированной пены:

$$\pi = \frac{\pi_4}{\pi_1 \cdot \pi_2 \cdot \pi_3} \quad (5)$$

$$\pi = \frac{Q_{под} \cdot m_{дв}^2}{C_{по} \cdot P \cdot T_{ст} \cdot S_{оч} \cdot K_{ос}} \quad (6)$$

Из соотношения

$$\frac{Q_{под}}{S_{оч}} = I \quad (7)$$

где I – интенсивность подачи пены, $кг/(с \cdot м^2)$, обобщенный комплекс можно представить в виде

$$\pi = \frac{I \cdot m_{дв}^2}{C_{по} \cdot P \cdot T_{ст} \cdot K_{ос}} \quad (8)$$

На основании численных результатов экспериментов в алгоритм определения требуемого количества модифицированных ОТВ добавлены коэффициенты, характеризующие качественные показатели.

Численные значения изменения предлагаемых показателей приведены в Табл.4.

Табл.4. Способы модификации огнетушащих средств и характер изменений их свойств

Вид ОТВ	Способ модификации	Контролируемый показатель	Характер изменений	
Пена	Использование в качестве пенообразователя СФ-2У вместо ПО-3	Кратность	Повышение в 1,4 раза	
		Кратность	Повышение в 1,4 раза	
	Тот же + электрофизическая обработка	Кратность пены на основе воды с повышенным содержанием солей	Повышение в 1,2 раза	
		Использование в качестве дисперсной фазы отработанных выхлопных газов	Огнетушащая способность	Повышение в 2 раза
			Стойкость	Снижение в 1,5 раза
Вода	СФ-2У	Огнетушащая способность	Повышение в 1,5 раза	
		Проникающая способность	Повышение в 1,6 раз	

На Рис.2 представлена схема реализации методики прогнозирования дополнительной потребности и расхода штатных огнетушащих веществ.

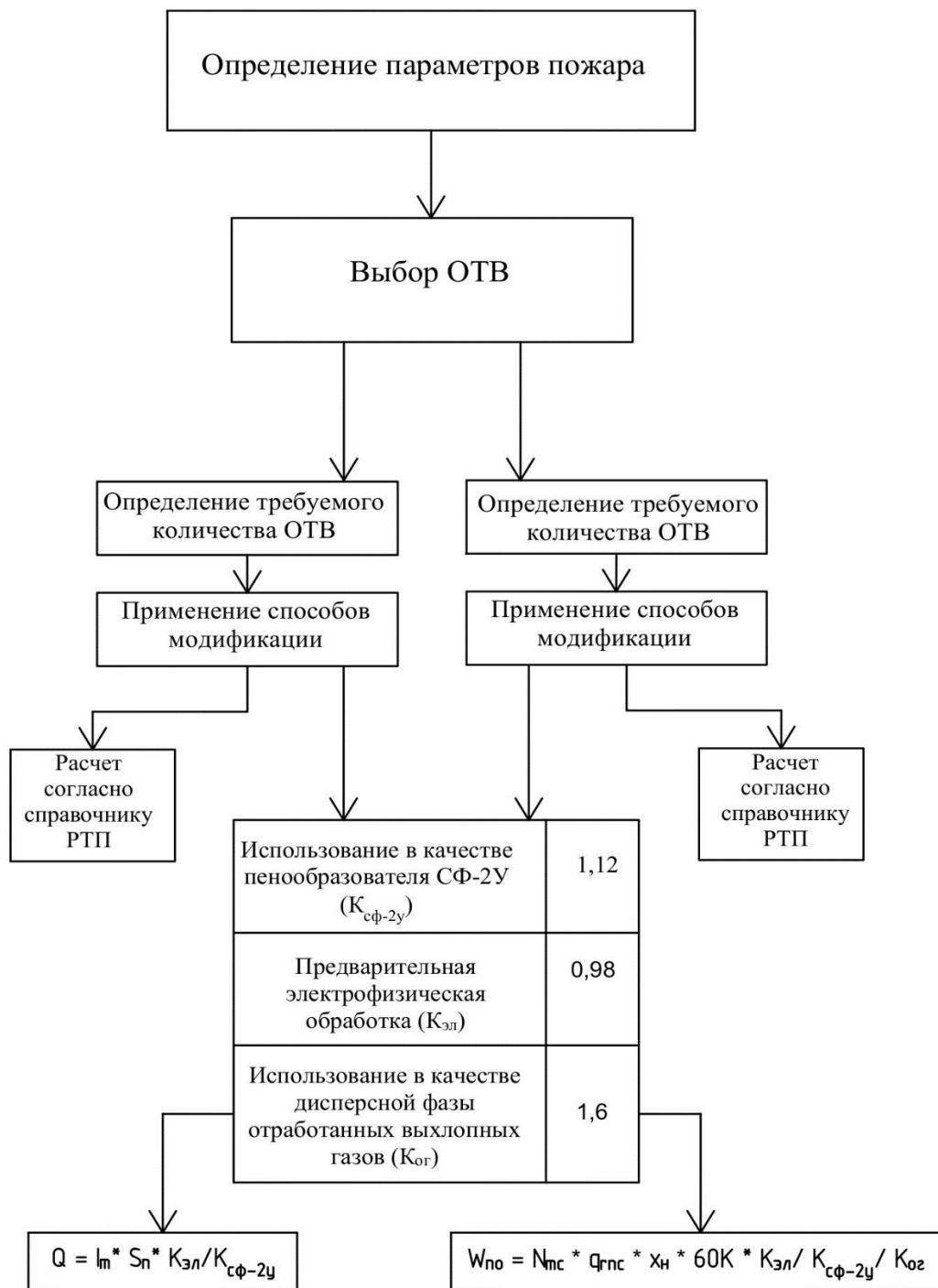


Рис.2. Схема реализации методики прогнозирования дополнительной потребности и расхода штатных огнетушащих веществ

Для проведенных экспериментов относительные показатели находились в следующих диапазонах:

$$1,4 \cdot 10^{-3} \leq \pi_1 \leq 0,1050$$

$$3,3 \leq \pi_2 \leq 1247,7$$

$$814 \leq \pi_3 \leq 8213$$

$$1,3 \leq \pi_4 \leq 110,7$$

Исходя из смысла физических величин, входящих в комплексный показатель, наиболее эффективной для тушения следует считать совокупность всех модификаций, комплексный показатель в этом случае будет наибольшим ($\pi = 28,43$).

Заключение

Разработанный алгоритм позволяет количественно оценить влияние модификаций на эффективность пожаротушения. Максимальное значение $\pi = 28,43$ достигается при комбинированном использовании СФ-2У, электрофизической обработки воды и ОГ в качестве дисперсной фазы. Полученные результаты обосновывают целесообразность внедрения модифицированных ОТВ в практику пожаротушения с учетом необходимости оптимизации их состава и условий применения.

Список источников

1. Meng, Q., Lu, H., Huai, Y., Xu, H., & Yang, S. (2023). Forest fire spread simulation and fire extinguishing visualization research. *Forests*, 14(7), 1371.
2. Tian, G., Fathollahi-Fard, A. M., Ren, Y., Li, Z., & Jiang, X. (2022). Multi-objective scheduling of priority-based rescue vehicles to extinguish forest fires using a multi-objective discrete gravitational search algorithm. *Information Sciences*, 608, 578-596.
3. Wu, P., Chu, F., Che, A., & Zhou, M. (2017). Bi-objective scheduling of fire engines for fighting forest fires: New optimization approaches. *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, 19(4), 1140-1151.
4. Мещеряков И.В. Экспериментальное исследование воздействия растворов средств дегазации и дезактивации, применяемых подразделениями ГО МЧС России, на материалы пожарных рукавов / Академия гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан // И.В. Мещеряков, А.С. Константинова, В.А. Емелина, 2024. – С. 29-31.
5. Xu Z. et al. Fire-extinguishing performance and mechanism of aqueous film-forming foam in diesel pool fire // *Case studies in thermal engineering*. – 2020. – Т. 17. – С. 100578.
6. Мещеряков, И.В. Сравнительная оценка огнетушащей способности средств дегазации и дезактивации / И.В. Мещеряков, А.С. Константинова // *Сибирский пожарно-спасательный вестник*. – 2025. – № 1(36). – С. 166-174. – DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2025.88.70.016. – EDN LLQKJK.
7. Мещеряков, И.В. Практическая оценка огнетушащего потенциала типовых дезинфицирующих, дегазирующих и дезактивирующих растворов на примере экспериментального очага пожара класса А / И.В. Мещеряков, Е.Б. Алексеик // *Естественные науки и пожаробезопасность: проблемы и перспективы исследований: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 21 марта 2024 года*. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС РФ, 2024. – С. 196-198. – EDN IMIJZC.
8. Мещеряков, И.В. Повышение огнетушащей эффективности штатных средств подразделений гражданской обороны МЧС России при тушении пожаров класса в модифицированной (газозаполненной) пеной / И.В. Мещеряков // *Современные проблемы гражданской защиты*. – 2025. – № 1 (54). – С. 64-70. – EDN ХНВМРА.
9. Патент № 2835235 С1 Российская Федерация, МПК А62D 1/02, А62С 31/12. Система генерации компрессионной пены, содержащей отработанные выхлопные газы: заявл. 13.05.2024; опубл. 24.02.2025 / Б. В. Гавкалюк, А.С. Смирнов, С.Г. Ивахнюк, А.А. Мельник, Г.Х. Самигуллин, А.С. Константинова, И.В. Мещеряков; 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 RSEXW.
10. Митюгова, Е.Г., Швецова, О.В., Сивова, Е.В., Башир, Ш.А., Кампутин, И.В., Ивахнюк, Г.К. (2012). О влиянии переменного частотно-модулируемого сигнала на изменение

физико-химических свойств воды. Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета), (16), 048-051.

11. Азимов, Д.С., Колесников, С.В., Ивахнюк, Г.К., Шешина, Н.И., Поляков, А.И. (2018). Электрофизические и нанохимические инновации в обеспечении энергоресурсосбережения, промышленной и экологической безопасности. Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета), (46 (72)), 120-122.

12. Рамзани, М. С., Панфёрова, Т.В., Ивахнюк, Г.К. (2020). О вероятных механизмах взаимодействия переменных электрических полей с жидкостями различной полярности. Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета), (55), 39-42.

13. Азимов, Д.С., Колесников, С.В., Ивахнюк, Г.К., Шешина, Н.И., Поляков, А.И. (2018). Электрофизические и нанохимические инновации в обеспечении энергоресурсосбережения, промышленной и экологической безопасности. Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета), (46 (72)), 120-122.

14. Алексеев, Д.В., Ивахнюк, Г.К., & Новоселова, Е.А. (2021). Методика электрофизического управления физико-механическими характеристиками конструкционных материалов. Сталь, 21931, 76.

15. Сара, Р.М., Панфёрова, Т.В., Ивахнюк, Г.К. (2020). О вероятных механизмах взаимодействия переменных электрических полей с жидкостями различной полярности. Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета), (55), 39-42.

16. Мещеряков, И.В. Практическая оценка огнетушащего потенциала типовых дезактивирующих, дегазирующих и дезактивирующих растворов на примере экспериментального очага пожара класса В / И.В. Мещеряков, Е.Б. Алексеев // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: Сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 11 апреля 2024 года. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС РФ, 2024. – С. 232-234. – EDN GANFWE.

17. Ding F. et al. Influence of gas–liquid ratio on the fire-extinguishing efficiency of compressed gas protein foam in diesel pool fire //Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2021. – Т. 146. – С. 1465-1472.

18. Li Z. et al. Experimental research on the effectiveness of different types of foam of extinguishing methanol/diesel pool fires //Combustion Science and Technology. – 2024. – Т. 196. – №. 12. – С. 1791-1809.

19. Кокшаров, А.В., Осипенко, С.И., & Гайнулина, Е.В. (2020). Исследование термической устойчивости пены различной кратности. Пожаровзрывобезопасность, 29(3), 103-110.

References

1. Meng, Q., Lu, H., Huai, Y., Xu, H., & Yang, S. (2023). Forest fire spread simulation and fire extinguishing visualization research. *Forests*, 14(7), 1371.

2. Tian, G., Fathollahi-Fard, A. M., Ren, Y., Li, Z., & Jiang, X. (2022). Multi-objective scheduling of priority-based rescue vehicles to extinguish forest fires using a multi-objective discrete gravitational search algorithm. *Information Sciences*, 608, 578-596.

3. Wu, P., Chu, F., Che, A., & Zhou, M. (2017). Bi-objective scheduling of fire engines for fighting forest fires: New optimization approaches. *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, 19(4), 1140-1151.

4. Meshcheryakov I. V. Experimental study of the effects of solutions of degassing and decontamination agents used by units of the Russian Emergencies Ministry on materials of fire hoses / Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan// I. V. Meshcheryakov, A.S. Konstantinova, V.A. Emelina, 2024, pp. 29-31.

5. Xu Z. et al. Fire-extinguishing performance and mechanism of aqueous film-forming foam in diesel pool fire //Case studies in thermal engineering. 2020, vol. 17, pp. 100578.

6. Meshcheryakov, I.V. Comparative assessment of the fire extinguishing ability of degassing and decontamination agents / I.V. Meshcheryakov, A.S. Konstantinova // Siberian Fire and Rescue

Bulletin. – 2025. – № 1(36). – Pp. 166-174. – DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2025.88.70.016. – EDN LLQJKJ.

7. Meshcheryakov, I.V. Practical assessment of the fire extinguishing potential of typical disinfecting, degassing and deactivating solutions using the example of an experimental class A fire source / I. V. Meshcheryakov, E.B. Alekseik // Natural sciences and fire safety: problems and prospects of research: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference with international participation, Ivanovo Fire and Rescue Academy Ministry of Emergency Situations of Russia, March 21, 2024. Ivanovo: Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation, 2024. pp. 196-198. EDN IMIJZC.

8. Meshcheryakov, I.V. Improving the fire extinguishing efficiency of the standard means of civil defense units of the Ministry of Emergency Situations of Russia when extinguishing class B fires with modified (gas-filled) foam / I.V. Meshcheryakov // Modern problems of civil protection. – 2025. – № 1 (54). – Pp. 64-70. – EDN XHBMRA.

9. Patent No. 2835235 C1 Russian Federation, IPC A62D 1/02, A62C 31/12. Compression foam generation system containing exhaust gases: application 13.05.2024: published 24.02.2025 / B. V. Gavkalyuk, A.S. Smirnov, S.G. Ivakhnyuk, A.A. Melnik, G.H. Samigullin, A.S. Konstantinova, I.V. Meshcheryakov; The applicant is the 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. Zinichev". – EDN RSEXW.

10. Mityugova, E.G., Shvetsova, O.V., Sivova, E.V., Bashir, S.A., Kamputin, I.V., Ivakhnyuk, G.K. (2012). On the effect of a variable frequency-modulated signal on changes in the physico-chemical properties of water. *Izvestiya St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)*, (16), 048-051.

11. Azimov, D.S., Kolesnikov, S.V., Ivakhnyuk, G.K., Sheshina, N.I., Polyakov, A.I. (2018). Electrophysical and nanochemical innovations in energy conservation, industrial and environmental safety. *Proceedings of the St. Petersburg State Institute of Technology (Technical University)*, (46 (72)), 120-122.

12. Ramzani, M.S., Panferova, T.V., Ivakhnyuk, G.K. (2020). On the probable mechanisms of interaction of alternating electric fields with liquids of different polarities. *Proceedings of the Saint Petersburg State Technological Institute (Technical University)*, (55), 39-42.

13. Azimov, D.S., Kolesnikov, S.V., Ivakhnyuk, G.K., Sheshina, N.I., Polyakov, A.I. (2018). Electrophysical and nanochemical innovations in energy conservation, industrial and environmental safety. *Proceedings of the St. Petersburg State Institute of Technology (Technical University)*, (46 (72)), 120-122.

14. Alekseev, D.V., Ivakhnyuk, G.K., & Novoselova, E.A. (2021). The technique of electrophysical control of physical and mechanical characteristics of structural materials. *Steel*, 21931, 76.

15. Sarah, R.M., Panferova, T.V., Ivakhnyuk, G.K. (2020). On the probable mechanisms of interaction of alternating electric fields with liquids of different polarities. *Proceedings of the Saint Petersburg State Technological Institute (Technical University)*, (55), 39-42.

16. Meshcheryakov, I.V. Practical assessment of the fire extinguishing potential of typical decontaminating, degassing and deactivating solutions using the example of an experimental class B fire source / I.V. Meshcheryakov, E.B. Alekseik // Actual issues of improving engineering systems for fire safety facilities: Proceedings of the XI All-Russian Scientific and Practical Conference, Ivanovo, April 11, 2024. Ivanovo: Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation, 2024. pp. 232-234. EDN GAHFWE.

17. Ding F. et al. Influence of gas-liquid ratio on the fire-extinguishing efficiency of compressed gas protein foam in diesel pool fire // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. – 2021. – Vol. 146. – pp. 1465-1472.

18. Li Z. et al. Experimental research on the effectiveness of different types of foam of extinguishing methanol/diesel pool fires // *Combustion Science and Technology*. – 2024. – Vol. 196. – no. 12. pp. 1791-1809.

19. Koksharov, A.V., Osipenko, S.I., & Gainullina, E.V. (2020). Investigation of the thermal stability of foam of various multiplicities. *Fire and Explosion Safety*, 29(3), 103-110.

Информация об авторах

Г.К. Ивахнюк – доктор химических наук, профессор

Information about authors

G.K. Ivakhnyuk – Doctor of Chemical Sciences, 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 01.10.2025, одобрена после рецензирования 01.12.2025, принята к публикации 16.12.2025.

The article was submitted 01.10.2025, approved after reviewing 01.12.2025, accepted for publication 16.12.2025.