

Научная статья

УДК 614.842.6; DOI: 10.61260/2304-0130-2026-3-37-48

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПОЖАРНЫХ АВТОЦИСТЕРН С ЛЕСТНИЦЕЙ НА ОСНОВЕ РАСЧЕТА ОБОБЩЕННОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ

✉ Сытдыков Максим Равильевич;

Абдуллаева Юлия Сергеевна;

Луцевич Вероника Александровна.

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

✉ sytdykov@igps.ru

Аннотация. В статье предложен метод расчёта обобщённого показателя эффективности (далее ОПЭ) пожарных автоцистерн с лестницей (далее АЦЛ), предназначенный для обоснованного выбора техники при оснащении подразделений пожарной охраны. Методика объединяет анализ размерностей и π -теорему Бакингема, экспертное ранжирование технических параметров и нечёткое моделирование на основе системы вывода Мамдани в среде MATLAB. Сформированы безразмерные комплексные показатели шасси, насосного агрегата и лестничного оборудования, определены весовые коэффициенты девятнадцати параметров и рассчитаны средневзвешенные оценки десяти образцов АЦЛ. Установлено, что наибольшей интегральной эффективностью обладает АЦЛ-6,0-50/4-18 на шасси УРАЛ 4320, 6х6.

Полученные результаты могут использоваться при закупках и перевооружении подразделений МЧС России. Предложенный подход повышает достоверность сравнительной оценки и поддерживает принятие управленческих решений.

Ключевые слова: пожарные автоцистерны с лестницей, обобщённый показатель эффективности, метод анализа размерностей, экспертная оценка, весовые коэффициенты, нечёткая логика, система нечёткого вывода Мамдани, средневзвешенная оценка, диаграмма Парето

Для цитирования: Сытдыков М.А., Абдуллаева Ю.Л., Луцевич В.А. Обоснование выбора пожарных автоцистерн с лестницей на основе расчета обобщенного показателя эффективности // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2026. № 3 (59). С. 37–48. DOI: 10.61260/2307-7476-2026-3-37-48

Scientific article

JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF FIRE TANKER TRUCKS WITH A LADDER BASED ON THE CALCULATION OF A GENERALIZED EFFICIENCY INDICATOR

✉ Sytdykov Maksim R.;

Abdullaeva Yulia S.;

Lutsevich Veronika A.

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

✉ sytdykov@igps.ru

Abstract. The article proposes a method for calculating the generalized efficiency indicator of fire tanker trucks with a ladder, designed to make a reasonable choice of equipment when equipping fire protection units. The technique combines dimensional analysis and Buckingham's π -theorem, expert ranking of technical parameters, and fuzzy modeling based on the Mamdani inference system in MATLAB. Dimensionless complex indicators of the chassis, pumping unit and ladder equipment were formed, the weighting coefficients of nineteen parameters were determined and the weighted average estimates of ten samples of ACL were calculated. It has been established that the ACL has the highest integral efficiency. -6,0-50/4-18 on the URAL 4320, 6x6 chassis.

The results obtained can be used in the procurement and re-equipment of Russian Emergencies Ministry units. The proposed approach increases the reliability of comparative assessment and supports management decision-making.

Keywords: fire trucks with ladders, generalized efficiency indicator, dimensional analysis method, expert assessment, weighting coefficients, fuzzy logic, Mamdani fuzzy inference system, weighted average, Pareto diagram

For citation: Sytdykov M.R., Abdullaeva Y.S., Lutsevich V.A. Justification of the choice of fire tanker trucks with a ladder based on the calculation of a generalized efficiency indicator // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2026. № 3 (59). P. 37–48. DOI: 10.61260/2307-7476-2026-3-37-48

Введение

Пожарные автоцистерны с лестницей (далее АЦЛ) являются важнейшим элементом противопожарной защиты, обеспечивая не только доставку огнетушащих веществ и боевого расчёта к очагу возгорания, но и возможность проведения спасательных работ и тушения пожаров на высоте. Конструкция таких машин представляет собой сложный комплекс взаимосвязанных систем, где агрегат, являясь ключевым функциональным узлом, существенно влияет на общую массу и манёвренность спецтехники [1,2]. В условиях возрастающих требований к оперативности и эффективности действий пожарных подразделений особую актуальность приобретает задача комплексной оценки технико-эксплуатационных показателей данных автомобилей с целью оптимизации их конструкции и повышения эффективности боевого применения. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Сформировать безразмерный комплексный показатель технической эффективности АЦЛ на основе метода анализа размерностей и π -теоремы.
2. Применить метод экспертных оценок для определения весовых коэффициентов и значимости технических параметров АЦЛ, влияющих на их эффективную эксплуатацию.
3. Разработать нечеткую модель, интегрирующую сформированный безразмерный комплексный показатель и экспертные данные в единый ОПЭ.
4. На основе ОПЭ провести выбор наиболее эффективного образца АЦЛ.

Для решения поставленных задач применен комплексный подход, включающий три взаимодополняющих метода:

- анализа размерности и π -теоремы,
- экспертной оценки;
- нечеткой логики.

Данный подход интегрирует теоретико-размерностный подход (π -теорема Бакингема) с методами экспертного оценивания и аппаратом нечёткой логики применительно к пожарной технике [3].

Методы исследования

Для применения методов анализа размерностей и π -теоремы и экспертной оценки определены основные технические параметры АЦЛ, которые представлены в табл. 1. При оценке качества продукции преимущество должно отдаваться эксплуатационным, а не конструктивным или описательным характеристикам.

Таблица 1

Основные технические параметры АЦЛ и их размерность

№ п/п	Единичные параметры качества	Размерность
Шасси		
1	Мощность двигателя (N)	$M^2 \cdot K^2 \cdot C^{-3}$
2	Скорость максимальная (v)	$M \cdot C^{-1}$
3	Ресурс двигателя (T)	C
4	Полная масса (M)	Kг
5	Длина автомобиля (L)	M
6	Вместимость цистерны для воды (V_v)	M^3
7	Вместимость пенобака ($V_{по}$)*	M^3
8	Расход топлива автотранспортного средства при полной снаряжённости на 100 км (D)	M^3
Агрегат (насос)		
9	Расход топлива на 1 час работы насоса (d)	M^3
10	Ресурс насоса (t)	C
11	Масса насоса (m)	Kг
12	Давление насоса (p)	$M^{-1} \cdot K^2 \cdot C^{-2}$
13	Подача насоса (Q)	$M^3 \cdot C^{-1}$
14	Наибольшая геометрическая высота всасывания насоса (h)	M
Агрегат (лестница)		
15	Грузоподъёмность при использовании сложенного пакета колен в качестве крана ($m_{кран}$)	Kг
16	Грузоподъёмность люльки АЛ ($m_{люл}$)	Kг
17	Максимальное время маневра АЛ ($\tau_{маневр}$)	C
18	Время установки АЛ на выносные опоры ($\tau_{опор}$)	C
19	Максимальная ширина опорного контура АЛ (S)	M
20	Максимальная длина стрелы АЛ ($H_{мах}$)	M

В соответствии π -теоремой [4] из n размерных величин, имеющих k размерностей, может быть сформировано (n-k) безразмерных комбинаций исходных величин, называемых π -комплексами.

Таблица 2

Сформированные безразмерные комплексные показатели АЦЛ

№ п/п	Обобщенные комплексы и симплексы	Соотношения размерностей обобщенных комплексов и симплексов	Физическая сущность комплексов и симплексов
Шасси			
7	$\pi_7 = \frac{M \cdot \vartheta^2}{N \cdot T}$	$[\pi_7] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^3 / \text{с}^3}{\text{кг} \cdot \text{м}^3 / \text{с}^3}$	Отношение характерного кинетического уровня движения полностью снаряжённого автомобиля к интегральному энергетическому ресурсу двигателя за период его службы. Физически характеризует энергетическую напряжённость транспортного режима шасси при реализации максимальной скорости.
8	$\pi_8 = \frac{L}{\vartheta \cdot T}$	$[\pi_8] = \frac{\text{м}}{\text{м}}$	Отношение габаритной длины автомобиля к пути, который может быть пройден за ресурс двигателя при движении с максимальной скоростью. Характеризует геометрическую компактность шасси относительно его потенциального транспортного ресурса.
9	$\pi_9 = \frac{V_{\text{в}}}{T^3 \cdot \vartheta^3}$	$[\pi_9] = \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$	Характеризует запас воды, нормированный на характерный кубический масштаб транспортно-ресурсного перемещения
10	$\pi_{10} = \frac{V_{\text{но}}}{T^3 \cdot \vartheta^3}$	$[\pi_{10}] = \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$	Характеризует обеспеченность шасси запасом пенообразователя в сопоставлении с ресурсно-кинематическим масштабом эксплуатации.
11	$\pi_{11} = \frac{D}{T^3 \cdot \vartheta^3}$	$[\pi_{11}] = \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$	Коэффициент относительной топливной интенсивности транспортной функции. Связывает расход топлива на стандартный пробег с ресурсно-кинематическим масштабом эксплуатации шасси.
Насос			
1	$\pi_1 = \frac{p \cdot d^{1/3} \cdot t^2}{m}$	$[\pi_1] = \frac{\text{кг}/\text{м}}{\text{кг}/\text{м}}$	Характеризует развиваемое давление с ресурсом работы и характерным масштабом энергетических затрат привода, отнесёнными к массе насоса.
2	$\pi_2 = \frac{Q \cdot t}{d}$	$[\pi_2] = \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$	Коэффициент ресурсной объёмной производительности. Показывает отношение объёма жидкости, который насос способен подать за ресурс работы, к часовому расходу топлива привода.
3	$\pi_3 = \frac{\square}{d^{1/3}}$	$[\pi_3] = \frac{\text{м}}{\text{м}}$	Коэффициент относительной всасывающей способности. Сопоставляет геометрическую высоту всасывания с характерным линейным масштабом, связанным с расходом топлива.
Лестница			
4	$\pi_4 = \frac{m_{\text{люл}}}{m_{\text{кран}}}$	$[\pi_4] = \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$	Коэффициент функционального распределения грузоподъёмности.

№ п/п	Обобщенные комплексы и симплексы	Соотношения размерностей обобщенных комплексов и симплексов	Физическая сущность комплексов и симплексов
			Отражает, какую долю от грузоподъёмности в крановом режиме составляет допустимая нагрузка люльки.
5	$\pi_5 = \frac{\tau_{\text{опор}}}{\tau_{\text{маневр}}}$	$[\pi_5] = \frac{c}{c}$	Коэффициент оперативной готовности. Показывает долю времени, необходимого для установки на выносные опоры, в общем характерном времени маневра.
6	$\pi_6 = \frac{S}{H_{\text{max}}}$	$[\pi_6] = \frac{m}{m}$	Коэффициент геометрической устойчивости лестницы. Представляет отношение ширины опорного контура к максимальной длине (или рабочей высоте) стрелы.

Сформированные в результате применения методов анализа размерностей и π -теоремы безразмерные симплексы и комплексы обладают важным физическим смыслом: они переводят разнородный набор исходных технических параметров АЦЛ в ограниченную систему обобщённых критериев, отражающих не абсолютные значения отдельных характеристик, а их взаимный баланс. В табл. 3 представлены сформированные вторичные безразмерные комплексные показатели АЦЛ и их физическая сущность

Таблица 3

Сформированные вторичные безразмерные комплексные показатели АЦЛ

№ п/п	Обобщенные комплексы	Соотношения размерностей обобщенных комплексов	Физическая сущность комплексов
1	$\pi_{\text{шасси}} = \frac{M \cdot \vartheta^4 \cdot T \cdot L \cdot V_{\text{в}}}{N \cdot V_{\text{но}} \cdot D}$	$[\pi_{\text{шасси}}] = \frac{\text{Дж}}{\text{Дж}}$	Интегральный транспортно-эксплуатационный комплекс шасси. Характеризует совокупный баланс мобильности, энергообеспеченности, автономности по огнетушащим веществам и эксплуатационной экономичности шасси АЦЛ.
2	$\pi_{\text{насос}} = \frac{p \cdot d \cdot \square}{Q \cdot m^2}$	$[\pi_{\text{насос}}] = \frac{\text{Дж}}{\text{Дж}}$	Интегральный гидромеханический комплекс насоса. Характеризует степень преобразования энергетических и материальных затрат в полезный гидравлический эффект, то есть общее эксплуатационно-техническое совершенство насосного агрегата.
3	$\pi_{\text{лестница}} = \frac{m_{\text{люл}} \cdot \tau_{\text{опор}} \cdot S}{m_{\text{кран}} \cdot \tau_{\text{маневр}} \cdot H_{\text{max}}}$	$[\pi_{\text{лестница}}] = \frac{\text{Дж}}{\text{Дж}}$	Интегральный грузовысотно-временной комплекс лестницы. Характеризует совокупное соответствие между рабочей высотой, устойчивостью, оперативной готовностью и функциональной нагрузочной способностью лестничного агрегата.

4	$\pi_{\text{ацл}} = \pi_{\text{шасси}} + \pi_{\text{насос}} + \pi_{\text{лестница}}$	$[\pi_{\text{АЦЛ}}] = \frac{\text{Дж}}{\text{Дж}}$	Системный обобщённый критерий технического уровня АЦЛ. Представляет аддитивную свёртку транспортных, гидравлических и высотно-спасательных свойств машины. Характеризует интегральное качество АЦЛ как единой технической системы, в которой шасси, насос и лестница рассматриваются как взаимодополняющие функциональные подсистемы.
---	--	--	--

Анализируя табл. 3 видим, что физическая сущность полученных π -критериев состоит в том, что они выражают степень согласованности полезного функционального эффекта с теми ресурсами и ограничениями, за счёт которых этот эффект достигается: энергией, временем, массой, геометрией, запасами рабочих веществ и устойчивостью. Именно поэтому такие комплексы являются удобной основой для сравнительной оценки технического уровня АЦЛ, ранжирования образцов и последующего построения обобщённого критерия эффективности.

Дополнительно следует отметить, что обозначение вида $[\pi] = \text{Дж}/\text{Дж}$ или иное аналогичное отношение одинаковых размерностей следует понимать как формальное подтверждение безразмерности комплекса, а не как указание на то, что данный комплекс буквально является только энергетическим отношением. Его реальный физический смысл определяется не одной размерностью, а функциональной связью входящих в него параметров.

На основании данных, представленных на официальных интернет сайтах, заводов производителей АЦЛ, рассчитаны численные значения сформированных комплексных показателей (табл. 4).

Таблица 4

Численные значения сформированных комплексных показателей

№ п/п	Наименование АЦЛ	Интегральный транспортно-эксплуатационный комплекс шасси. $\pi_{\text{шасси}} \cdot 10^{14}$	Интегральный гидромеханический комплекс насоса $\pi_{\text{насос}}$	Интегральный грузовысотно-временной комплекс лестницы $\pi_{\text{лестница}}$	Системный обобщённый критерий технического уровня АЦЛ $\pi_{\text{ацл}} \cdot 10^{16}$
ОАО «Пожтехника»					
1	АЦЛ-3-40-17 (КамАЗ-43118, 6х6)	0,939	777,8	0,1318	0,962
2	АЦЛ-4-40-22 (КамАЗ-43118, 6х6)	1,153	1178	0,1018	1,384
ООО «Приоритет»					
3	АЦЛ-4,0-50-24 (УРАЛ 4320, 6х6)	0,796	611,1	0,1067	0,519

№ п/п	Наименование АЦЛ	Интегральный транспортно- эксплуатационный комплекс шасси. $\pi_{шасси} \cdot 10^{14}$	Интегральный гидромеханический комплекс насоса $\pi_{насос}$	Интегральный грузовысотно- временной комплекс лестницы $\pi_{лестница}$	Системный обобщённый критерий технического уровня АЦЛ $\pi_{ацл} \cdot 10^{16}$
4	АЦЛ-4,0-50-30 (КАМАЗ 43118, 6х6)	2,210	491,7	0,07467	0,811
5	АЦЛ-6,0-50-18 (КАМАЗ 43118, 6х6)	2,192	491,7	0,1244	1,341
6	АЦЛ-6,0-50-18 (УРАЛ 4320, 6х6)	1,489	611,1	0,1422	1,294
7	АЦЛ-6,0-50/4- 18 (УРАЛ 4320, 6х6)	1,339	611,1	0,2222	1,819
«Завод противопожарного оборудования СПЕЦАВТОТЕХНИКА»					
8	АЦЛ-4,0-40-24 (УРАЛ 4320, 6х6)	1,489	856,4	0,1067	1,360
ОАО «Уралпожтехника»					
9	АЦЛ 4,0-40/30 (КАМАЗ- 65115, 6х4)	1,984	689,0	0,07467	1,021
10	АЦЛ 4,0-40/30 (КАМАЗ- 43118, 6х6)	2,049	689,0	0,07467	1,054

По результатам, представленным в табл. 4, видим, что наибольшее численное значение $\pi_{АЦЛ}$ принадлежит образцу АЦЛ-6,0-50/4-18 (УРАЛ 4320, 6х6), АЦЛ-4,0-50-24 (УРАЛ 4320, 6х6)

Для дальнейшей оценки рассматриваемых АЦЛ и разработки нечеткой модели, интегрирующей сформированный безразмерный комплексный показатель $\pi_{АЦЛ}$ и экспертные данные в единый ОПЭ необходимо определить значимость технических параметров АЦЛ.

С этой целью проведено анкетирование пяти специалистов [5,6] с разным профессиональным опытом, чтобы обеспечить объективность ранжирования. Сведения об экспертах представлены в табл. 5.

Для проведения экспертной оценки значимости технических характеристик специалистам предложено провести ранжирование параметров по девятнадцати шкале. Наивысший приоритет (ранг 1) присваивается наиболее важному показателю, тогда как минимальное значение (ранг 19) соответствует наименее значимому параметру. Когда эксперты признают несколько характеристик равноценными, применяется процедура усреднения суммы их рангов. Первичные результаты опроса систематизированы в табл. 6.

Таблица 5

Сведения об экспертах, принимавших участие в опросе

Занимаемая должность	Стаж практической работы, лет	Основная область компетенции
Начальник пожарно-спасательной части	18	Организация применения пожарной техники, руководство тушением пожаров и проведением аварийно-спасательных работ
Начальник караула пожарно-спасательной части	14	Практическая эксплуатация АЦЛ при тушении пожаров и спасении людей на высоте
Старший инженер отдела вооружения и техники	16	Техническая эксплуатация, обслуживание, анализ тактико-технических характеристик пожарных автомобилей
Старший водитель пожарного автомобиля	20	Эксплуатация шасси, насосного агрегата и вспомогательных систем пожарной техники
Заместитель начальника отряда по вооружению и технике	19	Организация технического обслуживания, оценка состояния техники, участие в обосновании закупок

Таблица 6

Матрица рангов мнений экспертов

Наименование параметров	Эксперты							
	№1	№2	№3	№4	№5	Сумма рангов	Отклонение (d)	Квадрат откл. (d ²)
Мощность двигателя	9	7	7	8	5	36,0	-16,50	272,25
Скорость максимальная	16	17	18	15	15	81,0	28,50	812,25
Ресурс двигателя	18	19	14	16	17	84,0	31,50	992,25
Полная масса	15	18	19	17	16	85,0	32,50	1056,25
Длина автомобиля	14	12	16	14	11	67,0	14,50	210,25
Вместимость цистерны	4	2	2,5	3,5	1	13,0	-39,50	1560,25
Вместимость пенобака	11	13	15	3,5	9,5	52,0	-0,50	0,25
Расход топлива на 100 км	12,5	16	13	18	14	73,5	21,00	441,00
Расход топлива насоса	12,5	14	2,5	10	13	52,0	-0,50	0,25
Ресурс насоса	6	8	8	9	12	43,0	-9,50	90,25
Масса насоса	20	20	20	20	20	100,0	47,50	2256,25
Давление насоса	2,5	4	6	5	4	21,5	-31,00	961,00
Подача насоса	2,5	1	2,5	1,5	2	9,5	-43,00	1849,00
Высота всасывания насоса	8	6	5	6	8	33,0	-19,50	380,25
Грузоподъемность крана	17	10	12	12	19	70,0	17,50	306,25
Грузоподъемность люльки	5	5	9	7	6	32,0	-20,50	420,25
Время маневра АЛ	19	15	17	19	18	88,0	35,50	1260,25
Время установки на опоры	7	11	10	13	7	48,0	-4,50	20,25
Ширина опорного контура	10	9	11	11	9,5	50,5	-2,00	4,00

Для оценки значимости технических параметров АЦЛ определены их весовые коэффициенты, представленные в табл. 7.

Таблица 7

Весовые коэффициенты технических параметров АЦЛ

Наименование параметров	Вес (w)
Мощность двигателя	0,0657
Скорость максимальная	0,0229
Ресурс двигателя	0,0200
Полная масса	0,0190
Длина автомобиля	0,0362
Вместимость цистерны	0,0876
Вместимость пенобака	0,0505
Расход топлива на 100 км	0,0300
Расход топлива насоса	0,0505
Ресурс насоса	0,0590
Масса насоса	0,0048
Давление насоса	0,0795
Подача насоса	0,0910
Высота всасывания насоса	0,0686
Грузоподъёмность крана	0,0333
Грузоподъёмность люльки	0,0695
Время маневра АЛ	0,0162
Время установки на опоры	0,0543
Ширина опорного контура	0,0519
Суммы значений:	1,0000

В табл. 8 представлены результаты расчета средневзвешенной оценки АЦЛ.

Таблица 8

Численные значения средневзвешенной оценки АЦЛ

№	Образец	Средневзвешенная оценка
1	АЦЛ-6,0-50/4-18 (УРАЛ 4320, 6х6)	4,0905
2	АЦЛ-6,0-50-18 (УРАЛ 4320, 6х6)	4,4414
3	АЦЛ-4,0-50-24 (УРАЛ 4320, 6х6)	4,4562
4	АЦЛ-6,0-50-18 (КАМАЗ 43118, 6х6)	5,1898
5	АЦЛ-4,0-40-24 (УРАЛ 4320, 6х6)	5,2233
6	АЦЛ-4,0-50-30 (КАМАЗ 43118, 6х6)	5,5569
7	АЦЛ 4,0-40/30 (КАМАЗ-43118, 6х6)	5,8574
8	АЦЛ 4,0-40/30 (КАМАЗ-65115, 6х4)	5,9145
9	АЦЛ-4-40-22 (КамАЗ-43118, 6х6)	6,6574
10	АЦЛ-3-40-17 (КамАЗ-43118, 6х6)	7,6126

Используя значения весовых коэффициентов, в результате расчетов получены средневзвешенные значения образцов представленные в табл. 8. Чем меньше значение средневзвешенной оценки, тем эффективнее является образец АЦЛ.

На основе проведенного анализа, с учетом весовых коэффициентов, наиболее эффективным АЦЛ является АЦЛ-6,0-50/4-18 (УРАЛ 4320, 6х6) с средневзвешенной оценкой 4,0905.

Для расчета значений ОПЭ при помощи нечёткой логики на основе системы нечеткого вывода Мамдани [7-10] использованы полученные значения обобщённого показателя $\pi_{ацл}$ и средневзвешенной оценки.

Результаты вычислений ОПЭ для каждого рассмотренного образца АЦЛ представлены в табл. 9.

Таблица 9

Результаты численных значений ОПЭ АЦЛ

№	Образец	ОПЭ
1	АЦЛ-6,0-50/4-18 (УРАЛ 4320, 6х6)	0,922
2	АЦЛ-6,0-50-18 (УРАЛ 4320, 6х6)	0,725
3	АЦЛ-4,0-40-24 (УРАЛ 4320, 6х6)	0,725
4	АЦЛ-6,0-50-18 (КАМАЗ 43118, 6х6)	0,676
5	АЦЛ-4,0-50-24 (УРАЛ 4320, 6х6)	0,500
6	АЦЛ-4-40-22 (КамАЗ-43118, 6х6)	0,500
7	АЦЛ 4,0-40/30 (КАМАЗ-43118, 6х6)	0,465
8	АЦЛ 4,0-40/30 (КАМАЗ-65115, 6х4)	0,382
9	АЦЛ-4,0-50-30 (КАМАЗ 43118, 6х6)	0,293
10	АЦЛ-3-40-17 (КамАЗ-43118, 6х6)	0,078

Результаты исследования и их обсуждение

Расчёт сформированных безразмерных комплексных показателей для рассматриваемых образцов АЦЛ показал заметную дифференциацию их технической эффективности. Наибольшее значение обобщённого показателя $\pi_{\text{АЦЛ}}$ получено для образца АЦЛ-6,0-50/4-18 (УРАЛ 4320, 6х6), что свидетельствует о наиболее сбалансированном сочетании характеристик шасси, насосного агрегата и лестничного оборудования. К числу образцов с высокими значениями $\pi_{\text{АЦЛ}}$ также относятся АЦЛ-4-40-22 (КамАЗ-43118, 6х6), АЦЛ-4,0-40-24 (УРАЛ 4320, 6х6) и АЦЛ-6,0-50-18 (КАМАЗ 43118, 6х6). Минимальное значение показателя установлено для АЦЛ-4,0-50-24 (УРАЛ 4320, 6х6), что указывает на менее выраженную согласованность частных технических параметров данного образца.

Результаты экспертного опроса показали, что наибольшее влияние на итоговую эффективность АЦЛ оказывают параметры, непосредственно определяющие боевые возможности автомобиля: подача насоса, вместимость цистерны, давление насоса, грузоподъёмность люльки, высота всасывания и мощность двигателя. Наименьшую значимость, по мнению экспертов, имеют масса насоса, время маневра лестницы, полная масса автомобиля и ресурс двигателя. Полученные веса свидетельствуют о том, что при практической эксплуатации приоритет отдается не столько отдельным конструктивным характеристикам, сколько параметрам, определяющим реальную производительность, автономность и возможность выполнения спасательных работ.

Интеграция обобщённого показателя $\pi_{\text{АЦЛ}}$ и средневзвешенной экспертной оценки в системе нечёткого вывода Мамдани позволила получить итоговый ОПЭ, который в наибольшей степени отражает комплексный уровень рассматриваемых образцов. Максимальное значение ОПЭ, равное 0,922, получено для АЦЛ-6,0-50/4-18 (УРАЛ 4320, 6х6). Во вторую группу по эффективности вошли АЦЛ-6,0-50-18 (УРАЛ 4320, 6х6) и АЦЛ-4,0-40-24 (УРАЛ 4320, 6х6), для которых ОПЭ составил 0,725. Минимальное значение ОПЭ установлено для АЦЛ-3-40-17 (КамАЗ-43118, 6х6), что подтверждает его более низкие позиции по совокупности оцениваемых критериев.

Применение нечеткой логики позволяет согласовать численные значения безразмерных комплексных показателей с результатами средневзвешенной оценки, полученной методом экспертных оценок, для сравнения рассматриваемых образцов АЦЛ по сформированным ОПЭ. Данная сравнительная оценка может быть использована при формировании плана закупок пожарной техники для подразделений МЧС России.

Заключение

Таким образом, в работе научно обоснован выбор наиболее эффективного образца АЦЛ, в основу которого положено сочетание трех методов: π -теорема Бакингема, экспертная оценка и нечеткая логика. Данный подход позволяет обобщить разрозненные технические параметры к единому показателю, который обеспечивает корректное сопоставление образцов пожарной техники по основным характеристикам.

При оценке конкретных образцов АЦЛ наиболее эффективной оказалась АЦЛ-6,0-50/4-18 на шасси УРАЛ 4320 (6х6) с численным значением ОПЭ в 0,922, что подтверждает обоснованность и работоспособность данного подхода применительно к конкретным задачам по выбору наиболее эффективной техники в интересах МЧС России.

Список источников

1. Пожарная техника: учебник / Б.В. Гавкалюк [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России 2022. 372 с.
2. Пожарная техника: учебник / Б.В. Гавкалюк [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России 2022. 448 с.
3. Сытдыков М.Р. Многокритериальный подход к оценке эффективности пожарной техники как сложной технической системы // Научный вестник НИИ «Респиратор». 2026. № 2 (63). С. 15–25.
4. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь. 1993. 278 с.
5. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование: теория принятия решений. М.: ООО "Издательство "КноРус". 2017. 568 с.
6. Рупосов В.Л. Методы определения количества экспертов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 3(98). С. 286–292.
7. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. М.: Горячая линия – Телеком. 2007. С. 288.
8. Тарасян В.С. Пакет Fuzzy Logic Toolbox for Matlab. Екатеринбург: Уральский государственный университет путей сообщения. 2013. 112 с.
9. Mamdani's Fuzzy Logic-Based Tapioca Optimal Production Amount Prediction System / T. Safitrah [et al.] // Journal of Applied Science, Technology & Humanities. 2024. Vol. 1. No. 3. P. 265-279. DOI 10.62535/ws0haa49.
10. Mudia H. Comparative Study of Mamdani-type and Sugeno-type Fuzzy Inference Systems for Coupled Water Tank // Indonesian Journal of Artificial Intelligence and Data Mining. 2020. Vol. 3. No. 1. P. 42. DOI 10.24014/ijaidm.v3i1.9309.

References

1. Pozharnaya tekhnika: uchebnik / B.V. Gavkalyuk [i dr.]. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MChS Rossii 2022. 372 s.
2. Pozharnaya tekhnika: uchebnik / B.V. Gavkalyuk [i dr.]. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MChS Rossii 2022. 448 s.
3. Sytdykov M.R. Mnogokriterial'nyj podhod k ocenke effektivnosti pozharnoj tekhniki kak slozhnoj tekhnicheskoy sistemy // Nauchnyj vestnik NII «Respirator». 2026. № 2 (63). S. 15–25.
4. Saati T. Prinyatie reshenij. Metod analiza ierarhij. M.: Radio i svyaz'. 1993. 278 s.
5. Orlov A.I. Organizacionno-ekonomicheskoe modelirovanie: teoriya prinyatiya reshenij. M.: ООО "Izdatel'stvo "KnoRus". 2017. 568 s.
6. Ruposov V.L. Metody opredeleniya kolichestva ekspertov // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2015. № 3(98). S. 286–292.
7. Shtovba S.D. Proektirovanie nechetkih sistem sredstvami MATLAB. M.: Goryachaya

liniya – Telekom. 2007. S. 288.

8. Tarasyan V.S. Paket Fuzzy Logic Toolbox for Matlab. Ekaterinburg: Ural'skij gosudarstvennyj universitet putej soobshcheniya. 2013. 112 s.

9. Mamdani's Fuzzy Logic-Based Tapioca Optimal Production Amount Prediction System / T. Safitrah [et al.] // Journal of Applied Science, Technology & Humanities. 2024. Vol. 1. No. 3. P. 265-279. DOI 10.62535/ws0haa49.

10. Mudia H. Comparative Study of Mamdani-type and Sugeno-type Fuzzy Inference Systems for Coupled Water Tank // Indonesian Journal of Artificial Intelligence and Data Mining. 2020. Vol. 3. No. 1. P. 42. DOI 10.24014/ijaidm.v3i1.9309.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 15.07.2026; одобрена после рецензирования: 29.07.2026; принята к публикации: 05.08.2026

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 15.07.2026; approved after review: 29.07.2026; accepted for publication: 05.08.2026

Информация об авторах:

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

Абдуллаева Юлия Сергеевна, адъюнкт 1 курса факультета подготовки кадров высшей квалификации, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский пр. 149), e-mail: ysabdullaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-4716-6537>, SPIN-код: 2175-2696.

Луцевич Вероника Александровна, курсант факультета инженерно-технического, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский пр. 149), e-mail: vera.lucevich@mail.ru.

Information about the authors:

Sytdykov Maxim R., head of the department of fire, emergency rescue equipment and automotive industry, 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 code: 7548-0539.

Abdullayeva Yulia S., 1st year associate at the faculty of higher education training, Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: ysabdullaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-4716-6537>, SPIN code: 2175-2696.

Lutsevich Veronika A., cadet of the faculty of engineering, Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: vera.lucevich@mail.ru.