

*В. А. Цопа<sup>1</sup>, О. В. Дерюгін<sup>2</sup>, С. І. Чеберячко<sup>2</sup>,  
Н. С. Сушко<sup>2</sup>, О. В. Станіславчук<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Міжнародний інститут менеджменту, м. Київ, Україна

<sup>2</sup>Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", м. Дніпро, Україна

<sup>3</sup>Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4811-3712> – В. А. Цопа  
<https://orcid.org/0000-0002-2456-7664> – О. В. Дерюгін  
<https://orcid.org/0000-0003-3281-7157> – С. І. Чеберячко  
<https://orcid.org/0000-0002-4874-1823> – Н. С. Сушко  
<https://orcid.org/0000-0001-5784-005X> – О. В. Станіславчук  
✉ [stok\\_oven@ukr.net](mailto:stok_oven@ukr.net)

## ПРИКЛАД ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ ТА FUZZY DEMATEL У ВИБОРІ ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНОГО АВТОМОБІЛЯ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ ЗА ПРИЗНАЧЕННЯМ

**Мета дослідження** полягає у розробці процесу визначення основних груп і базових показників для обґрунтованого вибору пожежно-рятувального автомобіля (ПРА) відповідно до умов експлуатації.

**Матеріали і методи.** Для вибору основних груп і базових показників пожежно-рятувальних автомобілів застосовано методи аналізу ієрархій та fuzzy Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (далі – fuzzy Dematel).

**Результати.** Розроблено процес обґрунтованого визначення основних груп і базових показників пожежно-рятувального автомобіля; процес складається з восьми кроків, зокрема: підбір експертів; формування каталогу показників, які характеризують умови експлуатації; виявлення основних груп показників; підхід з ранжування альтернатив з урахуванням вагових коефіцієнтів; виявлення експертами «причинно-наслідкових» взаємозв'язків серед сукупності показників автомобіля для виділення найвпливовіших – базових. Особливістю запропонованого підходу є поєднання методу аналізу ієрархій для визначення основних груп показників з методом fuzzy Dematel для визначення базових показників з основних груп. Це дозволяє прийняти обґрунтоване управлінське рішення вибору показників для пожежного автомобіля на основі визначення базових показників, які полегшують і зменшують тривалість процесу вибору будь-якого пожежно-технічного обладнання.

**Наукова новизна** полягає у поєднанні для вибору основних груп і базових показників пожежно-технічного обладнання методів аналізу ієрархій та fuzzy Dematel, що дало змогу проранжувати групи показників з виявленням вагових коефіцієнтів та визначити основні групи показників і базові показники пожежно-рятувальних автомобілів на основі їх причинно-наслідкових взаємозв'язків.

**Практична цінність.** Визначено п'ять основних груп показників, в яких сім показників є базовими для вибору пожежно-рятувальних автомобілів з метою його використання чи закупівлі на прикладі пожежно-рятувального автомобіля відповідно до умов надзвичайної ситуації.

**Ключові слова:** процес, пожежно-рятувальний автомобіль, метод аналізу ієрархій, метод fuzzy Dematel, управлінське рішення

## CASE OF THE APPLICATION OF HIERARCHY ANALYSIS AND FUZZY DEMATEL METHODS FOR SELECTING A FIRE AND RESCUE VEHICLE TO PERFORM ASSIGNED TASKS

**The purpose of the study** is to develop a process for determining the main groups and basic indicators for a reasonable choice of fire and rescue vehicle (FRV) in accordance with the operating conditions.

**Materials and Methods.** The methods of hierarchy analysis and fuzzy Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (hereinafter - fuzzy Dematel) were used to select the main groups and basic indicators of fire and rescue vehicles.

**Results.** A process for a well-founded determination of the main groups and basic indicators of a fire and rescue vehicle has been developed; the process consists of eight steps, in particular: selection of experts; formation of a catalog of indicators that characterize operating conditions; identification of the main groups of indicators; an approach to ranking alternatives taking into account weighting factors; identification by experts of "cause-and-effect" relationships among the set of vehicle indicators to highlight the most influential - basic ones. A feature of the proposed approach is the combination of the analysis method of hierarchies for determining the main groups of indicators with the fuzzy Dematel method for determining basic indicators from the main groups. This allows for a well-founded management decision on the selection of indicators for a fire truck based on the determination of basic indicators, which facilitates and reduces the duration of the process of selecting any fire and rescue equipment.

**The scientific novelty** is the combination of hierarchy analysis and fuzzy Dematel methods for selecting the main groups and basic indicators of fire and technical equipment, giving a possibility to rank the groups of indicators with the identification of weighting coefficients and determine the main groups of indicators and basic indicators of fire and technical equipment based on their cause-and-effect relationships.

**Practical value.** Five main groups of indicators have been identified, seven of which are basic for the selection of fire and technical equipment for the purpose of its use or purchase on the example of a fire and rescue vehicle in accordance with the conditions of an emergency.

**Keywords:** process, fire and rescue vehicle, fire and technical equipment, hierarchy analysis method, fuzzy Dematel method, management decision

**Вступ.** Пожежно-рятувальний автомобіль має значний вплив на боездатність пожежно-рятувального підрозділу і відіграє важливу роль, як з точки зору оперативно-рятувальної діяльності (швидка доставка рятувального підрозділу до місця виникнення надзвичайної ситуації (далі - НС)), так і безпеки (забезпечення безпеки особового складу пожежно-рятувального підрозділу). Так, наприклад, готовність до виконання завдань за призначенням оперативного підрозділу Державної служби з надзвичайних ситуацій (далі - ДСНС) ґрунтується на таких вимогах [1]:

- ефективна організація оперативно-рятувальних дій в умовах відповідного виду та рівня НС;

- оснащення сучасними пожежно-рятувальними засобами (засоби пожежогасіння, пожежно-рятувальна автомобільна техніка, засоби комунікації і зв'язку тощо);

- наявний підготовлений кваліфікований особовий склад підрозділу ДСНС;

- забезпечення безпеки особового складу.

Технічне оснащення пожежно-рятувального підрозділу сучасними пожежно-рятувальними автомобілями (далі - ПРА) значно підвищує його боездатність і безпеку, зокрема завдяки

якнайшвидшій та якісній доставці сил та засобів до місця ліквідації НС [2, 3]. Тому питанню переоснащення, зокрема, оновленню автомобільного парку підрозділу ДСНС, необхідно приділити чимало уваги.

Сучасний ПРА - це багатоцільовий автомобіль, який поєднує автомобільне механічне шасі і, залежно від свого цільового призначення (основні пожежні автомобілі, спеціальні пожежні аварійно-рятувальні автомобілі, допоміжні пожежні аварійно-рятувальні автомобілі, аварійно-рятувальні автомобілі, аварійно-рятувальні автомобілі цільового призначення) спеціальне протипожежне оснащення (цистерна, помпа, пожежні рукава для подачі вогнегасної рідини, засоби зв'язку, система GPS навігації тощо). ПРА можна поділити на 3 основні блоки: основні, спеціальні та допоміжні [4]. Основні автомобілі поділяються на загального призначення (автоцистерни, автонасоси, автомобілі першої допомоги) та автомобілі цільового призначення (порошкового гасіння, пінного гасіння, пожежні автонасосні станції тощо). Вони слугують для пересування особового складу до/з місця пожежі, подачі вогнегасних речовин для гасіння пожежі, пожежно-технічного

оснащення. Тому вибір ПРА повинен базуватися на багатофакторному аналізі значної кількості різних чинників, які враховують використання ПРА відповідно до умов НС: тактичні, транспортні; експлуатаційні, соціальні тощо [5, 6]. Наприклад, на пожежу в квартирі в багатоповерхівці виїжджають основний ПРА та спеціальний ПРА (автодрабина), який призначений для доставки особового складу, вогнегасних речовин та пожежно-технічного обладнання на необхідну висоту, а також для евакуації потерпілих. Для гасіння паливно-мастильних матеріалів призначені автомобілі пінного гасіння. Тобто, можна зробити висновок, що визначення основних груп показників і базових показників ПРА, які визначають ефективність його використання відповідно до умов НС, є актуальним завданням.

**Огляд літератури.** В результаті проведеного огляду сучасних методів оцінки, які застосовуються для прийняття управлінських рішень, було встановлено, що комбінований спосіб методу аналізу ієрархій (ділі – метод МАІ) та методу fuzzy Dematel використовують для вирішення проблеми визначення ваги критеріїв та ранжування альтернатив для вибору пожежно-рятувального обладнання для пожежного підрозділу, транспортних засобів зокрема.

Застосовність зазначених методів була перевірена в Анкарі (Туреччина) за активної участі експертів у процедурі оцінки та аналізу дієвості методів і обговорення можливих варіацій у рекомендаціях щодо прийняття рішення з вибору [6]. Аналогічний підхід застосовано в [7] з єдиною різницею в тому, що результати, отримані за допомогою методу VIKOR, порівнювалися з тими, що виникають в результаті застосування методу Техніки для Вподобань Подібності до Ідеального Рішення (TOPSIS). Йдеться про випадок прийняття рішення щодо вибору з альтернатив найоптимальнішого виду пального для міських районів Тайваню.

Подібний підхід використано в [8], де методи Interval Type-2 fuzzy МАІ та TOPSIS використовувалися для оцінки альтернатив транспортного обладнання, зокрема автобусів міського транспорту в м. Стамбулі (Туреччина), для вирішення невизначеностей, що характеризують реальні проблеми. На відміну від попередніх досліджень, критерії оцінки та альтернативи були вибрані за допомогою методу Дельфі, тоді як пріоритети перших та ранжування останніх визначалися через fuzzy МАІ та TOPSIS. Автори [9] розробили гібридну модель оцінки сталості життєвого циклу, яка дозволяє кількісно оцінити в довгостроковій перспективі екологічні, економічні та соціальні впливи автобусів з

альтернативним видом палива, а потім допомагає ранжувати різні технологічні рішення на основі їхньої відносної сталості.

З цією метою було інтегровано метод Interval-Valued Neutrosophic Fuzzy (IVNF) з методом Combined Compromised Solution (CoCoSo) для вивчення можливості переходу до транспортних систем з нульовим викидом в Катарі. Для розрахунку ваги критеріїв оцінки, які використовуються для вибору найкращого альтернативного виду палива для автобусів та досягнення кінцевої мети – обмеження викидів парникових газів, дослідники в [10] застосували метод Dematel. Цей метод, інтегрований з методом Complex Proportional Assessment (COPRAS), застосовується для подальшого ранжування альтернатив.

В наукових роботах, розглянутих вище, і призначених суто для застосування методів МАІ та Dematel для вибору автобусів з альтернативним видом палива, підтверджуються категорії показників, зазначених вище, як основних меж параметрів, що впливають на остаточне рішення [11, 12, 13]. Свідченням цього є той факт, що розглянуті аспекти охоплюють деталі, пов'язані не лише з забрудненням навколишнього середовища, фінансовими витратами, вимогами до транспортних засобів та інфраструктури, але й здоров'ям та комфортом людини [14]. Однак дослідження, які представлені у цій роботі, роблять крок вперед порівняно з існуючими на даний час, оскільки, окрім визначення рівня важливості розглянутих критеріїв, вони виявляють їхній взаємозв'язок. Таким чином, це дослідження вносить додатковий аспект аналізу визначення основних груп показників і в них базових показників транспортного обладнання, зокрема транспортного засобу, спрямовуючи увагу на критерії, які впливають на прийняття управлінського рішення щодо оптимального вибору ПРА.

**Мета дослідження** полягає у розробці процесу визначення базових показників для вибору ПРА відповідно до умов експлуатації на основі цільових (еталонних) показників.

Поставлена мета потребує вирішення таких завдань:

- перша - ранжування груп показників і визначення основних груп показників методом МАІ;

- друга - ранжування самих показників і визначення базових показників методом fuzzy Dematel;

- вибір ПРА на основі визначених базових показників.

**Методи досліджень.** Для визначення базових показників, які використовуються при

обґрунтованому виборі ПРА, застосовані методи МАІ та fuzzy Dematel. Метод МАІ розглядає декомпозицію проблеми прийняття управлінських рішень на простіші частини згідно з ієрархічною структурою, в якій елементи порівнюються попарно для визначення їх відносного пріоритету [15]. Метод fuzzy Dematel

використовувався для виявлення взаємозв'язків «причина-наслідок» серед показників з метою визначення базових показників [16]. Для досягнення поставленої мети запропоновано процес поєднання методів МАІ та fuzzy Dematel для визначення базових показників вибору виробничого обладнання (рис. 1).



**Рисунок 1** – Процес визначення основних груп показників і базових показників для вибору пожежно-рятувального обладнання

Крок 1. Вибір та залучення експертів. Вимоги до них наведені в табл. 1.

**Таблиця 1**

Вимоги до експертів, які долучаються до визначення пріоритету впливу критеріїв відповідних чинників, що визначають вибір пожежно-рятувального обладнання

Інформація	Кількість
Кількість експертів	Не менше 5
Досвід роботи на посадах	від 10 до 14 років
Освіта експертів	вища за фахом
Стаж роботи	більше 10 років
Наявність посвідчення аудитора з систем управління якістю і безпекою компаній	Так
Підвищення кваліфікації з оцінки ризиків за вимогами [8]	Так

Крок 2. Формування каталогу груп показників пожежно-рятувального обладнання.

Крок 3. Побудова вербально-числової шкали відношень груп показників ПРА, які містять числові значення з відповідним обґрунтуванням

цих градацій. Порівнюючи групи показників за ступенем їх впливу на вибір пожежно-рятувального автомобіля, експерт, відповідно до змісту, ставить цілі числа від 1 до 9 або зворотні значення цих чисел (див. табл. 2).

Таблиця 2

Загальний вигляд матриці попарних порівнянь для розрахунку коефіцієнта ваги [17]

Група	$A_1$	$A_2$	$A_i$	$A_n$	Оцінка компонента власного вектору по рядку	Коефіцієнт ваги
$A_1$	1	$\frac{\omega_1}{\omega_2}$	$\frac{\omega_1}{\omega_i}$	$\frac{\omega_1}{\omega_n}$	$e_1 = \sqrt[n]{\frac{\omega_1 \omega_1 \dots \omega_1}{\omega_1 \omega_2 \omega_n}}$	$X_1 = \frac{e_1}{\sum_{i=1}^n e_i}$
$A_2$	$\frac{\omega_2}{\omega_1}$	1	$\frac{\omega_2}{\omega_i}$	$\frac{\omega_2}{\omega_n}$	$e_2 = \sqrt[n]{\frac{\omega_2 \omega_2 \dots \omega_2}{\omega_1 \omega_2 \omega_n}}$	$X_2 = \frac{e_2}{\sum_{i=1}^n e_i}$
$A_i$	$\frac{\omega_i}{\omega_1}$	$\frac{\omega_i}{\omega_2}$	1	$\frac{\omega_i}{\omega_n}$	$e_i = \sqrt[n]{\frac{\omega_i \omega_i \dots \omega_i}{\omega_1 \omega_2 \omega_n}}$	$X_i = \frac{e_i}{\sum_{i=1}^n e_i}$
$A_n$	$\frac{\omega_n}{\omega_1}$	$\frac{\omega_n}{\omega_2}$	$\frac{\omega_n}{\omega_i}$	1	$e_n = \sqrt[n]{\frac{\omega_n \omega_n \dots \omega_n}{\omega_1 \omega_2 \omega_n}}$	$X_n = \frac{e_n}{\sum_{i=1}^n e_i}$

де  $A_1, A_2, \dots, A_n$  - групи показників вибору пожежно-рятувального обладнання;

$\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$  - відповідно їх вагові коефіцієнти.

Крок 4. Визначення лінгвістичної шкали та її перетворення в числові значення. Застосування зазначеного методу дозволяє відтворити причинно-наслідкові зв'язки у структурно-візуальних моделях. На основі виявлених зв'язків

ідентифікують й розуміють взаємозалежності між різними показниками для вибору пожежно-рятувального автомобіля. При цьому ступінь впливу, зазвичай, оцінюється за п'ятирівневою шкалою, яка представлена у лінгвістичних класифікаційних термінах: дуже високий вплив, високий вплив, низький вплив, дуже низький вплив і ніякого впливу (табл. 3).

Таблиця 3

Лінгвістичні показники вибору пожежно-рятувального обладнання та відповідні числові значення [18]

Лінгвістичні показники	Числові значення
Дуже високий (ДВ)	(0,75; 1,0; 1,0)
Високий (В)	(0,5; 0,75; 1,0)
Низький (Н)	(0,25; 0,5; 0,75)
Дуже низький (ДН)	(0; 0,25; 0,5)
Без впливу (БВ)	(0; 0; 0,25)

Крок 5. Збір суджень. Експерти аналізують судження щодо взаємного впливу обраних показників вибору пожежно-рятувального автомобіля лінгвістичними термінами, отримуючи матрицю суджень для кожного з них.

Крок 6. Перетворення суджень експертів на fuzzy числа та розрахунок матриць з перетворення суджень експертів. Після створення відповідної матриці для кожного розглянутого показника вибору ПРА обчислюється середня матриця, яку називають прямою матрицею залежностей, і потім її нормалізують. При цьому відповіді експертів перетворюються на нечіткі числа з використанням розмитої шкали, що передбачає використання трикутних нечітких чисел  $\tilde{z}$ , які визначаються таким чином:  $\tilde{z} = (l, m, u)$ , де  $l, m$  і  $u$  дійсні числа та  $l \leq m \leq u$ .

Функція належності  $\mu_{\tilde{z}}$  визначається таким чином [18]:

$$\begin{cases} \frac{x-l}{m-l} & \text{при } l \leq x \leq m \\ \frac{u-x}{u-m} & \text{при } m \leq x \leq u \\ 0 & \text{у всіх інших випадках} \end{cases}, \text{ в усіх інших випадках (1)}$$

Далі будувється нечітка нормалізована матриця прямого зв'язку результатів експертних суджень щодо впливу чинників на зазначену проблему. Проводиться формування нечітких матриць  $\tilde{z}_1, \tilde{z}_2, \tilde{z}_3, \dots, \tilde{z}_p$ . Трикутні нечіткі числа генеруються відповідно до суджень експертів. Початкова пряма матриця називається нечіткою матрицею  $\tilde{z}_k$ :

$$\tilde{z}^k = \begin{bmatrix} 0 & \tilde{z}_{12}^{(k)} & \dots & \tilde{z}_{1n}^{(k)} \\ \tilde{z}_{21}^{(k)} & 0 & \dots & \tilde{z}_{2n}^{(k)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{z}_{n1}^{(k)} & \dots & \dots & 0 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

де  $\mu_{\tilde{z}} = 1, 2, 3, \dots, p$ ;  $\tilde{z}_{ij}^{(k)} = (l_{ij}^{(k)}, m_{ij}^{(k)}, u_{ij}^{(k)})$ . Без обмеження загальності  $\tilde{z}_u^{(k)} = (i=1, 2, \dots, n)$  буде розглядатися як трикутне нечітке число  $\tilde{z} = (0, 0, 0)$ , коли це потрібно.

Після побудови нормалізованої нечіткої матриці  $\tilde{z}_k$ , проводимо аналіз прямих зав'язків, виходячи з припущення, що:

$$r_k = \max_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^n u_{ij}^k \right). \quad (3)$$

Для перетворення шкали критеріїв у шкалу порівнянних значень використовується лінійне перетворення, і нормалізована нечітка матриця прямих зв'язків, одержана в результаті експертного оцінювання і має такий вигляд:

$$\bar{x}^k = \begin{bmatrix} \bar{x}_{11}^{(k)} & \bar{x}_{12}^{(k)} & \dots & \bar{x}_{1n}^{(k)} \\ \bar{x}_{21}^{(k)} & \bar{x}_{22}^{(k)} & \dots & \bar{x}_{2n}^{(k)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{x}_{n1}^{(k)} & \bar{x}_{n2}^{(k)} & \dots & \bar{x}_{nn}^{(k)} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де  $k = 1, 2, 3, \dots, p$ .

$$\bar{x}_{ij}^{(k)} = \frac{\tilde{z}_{ij}^{(k)}}{r^k} = \left( \frac{l_{ij}^{(k)}}{r^k}, \frac{m_{ij}^{(k)}}{r^k}, \frac{u_{ij}^{(k)}}{r^k} \right). \quad (5)$$

Подібно до того, як це прийнято у звичайному методі *Dematel*, припускається, що є принаймні одне значення  $i$  таке, що задовольняє

$$\sum_{j=1}^n u_{ij}^k < \sum_{j=1}^n r^k.$$

При цьому визначаємо середнє значення суджень всіх експертів  $\tilde{X}$  як:

$$\tilde{X} = \frac{\tilde{x}^1 + \tilde{x}^2 + \dots + \tilde{x}^p}{p}. \quad (6)$$

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} \tilde{X}_{11} & \tilde{X}_{12} & \dots & \tilde{X}_{1n} \\ \tilde{X}_{21} & \tilde{X}_{22} & \dots & \tilde{X}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{X}_{n1} & \tilde{X}_{n2} & \dots & \tilde{X}_{nn} \end{bmatrix}, \quad (7)$$

$$\text{де } \tilde{X}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^p \tilde{x}_{ij}^{(k)}}{p}.$$

Крок 7. Визначення причинно-наслідкових зв'язків між показниками, які характеризують вибір пожежно-рятувального автомобіля. Після подальших обчислень отримано загальну fuzzy матрицю нечітких зв'язків  $T$ , в якій розраховується сума рядків  $D$  і сума стовпчиків  $R$ . Дані, які містяться в цих векторах, застосовуються для створення діаграми причинно-наслідкових зв'язків, оскільки її горизонтальна вісь, позначена як  $(D_i + R_i)$ , визначає важливість критерію, а її вертикальна вісь, позначена як  $(D_i - R_i)$ , вказує на ступінь взаємного впливу між показниками вибору ПРА.

Крок 8. Визначення базових показників для обґрунтування вибору пожежно-рятувального автомобіля.

**Результати дослідження.** Наведемо приклад з визначення основних груп і базових показників для вибору ПРА відповідно до умов НС. Для цього виділимо властиві ПРА групи показників, виходячи з рекомендацій [19, 20]:

- *тактико-технічні* – які пов'язані з тактико-технічним завданням ПРА (ємність цистерни, параметри насосів, наявність сучасного пожежно-рятувального обладнання тощо) і дають змогу рятувальникам якісніше та швидше виконувати оперативні завдання з ліквідації НС;

- *ергономічні* – які враховують вплив умов робочого середовища (в кабіні водія) та рівня задоволеності і безпеки;

- *експлуатаційні* – які враховують можливість виникнення помилки, пов'язаної зі швидкістю руху, та можливістю проходження різних перешкод;

- *транспортні* – що залежать від довжини маршруту та визначають об'єм і параметри джерела живлення та складності маршруту переміщення ПРА;

- *економічні* – враховують невідповідність обсягів інвестованих коштів та їх період окупності;

- *розмірні* – враховують помилки з габаритними розмірами та можливостями під'їзду до місця виникнення НС;

- *силові* – які пов'язані з потужністю двигуна та можливостями навантаження на ПРА;

- *динамічні* – які пов'язані з керованістю ПРА;

- надійності – які враховують швидкість реагування та напрацювання на відмову;

- екологічні – які пов'язані із забрудненням навколишнього середовища.

Осереднені результати ранжування методом МАІ десяти груп показників ПРА експертами наведені в таблиці 4. Для визначення основних груп показників скористались правилом пріоритетності за накопичувальним відсотком на рівні 80% від загальної суми всіх вагових коефіцієнтів. Значення вагових коефіцієнтів були обраховані за формулами, наведеними в таблиці 2. В результаті аналізу отриманих даних, наведених в таблиці 4, приходимо до висновку, що найбільшу перевагу експерти віддали групам показників:  $A_9$  – тактико-технічним,  $A_8$  - транспортним,  $A_4$  - ергономічним,  $A_7$  - експлуатаційним та  $A_{10}$  - економічним групам показників.

Кожна група показників складається з низки показників, які можна визначити з характеристик, які надає виробник ПРА (табл. 5). Зазначимо, що експлуатаційні показники визначаються, виходячи з умов середовища, що наявні у підрозділі. Результати виявлення експертами «причинно-наслідкових» взаємозв'язків серед обраних показників, які мають вагомий вплив при

виборі ПРА методом fuzzy Dematel на основі матриць попарних порівнянь, наведені в табл. 6. Де стовпець  $D + R$  показує значущості кожного показника та взаємозв'язки між ними - стовпець  $D - R$ ). Отримані дані дають змогу створити діаграму причинно-наслідкових зв'язків між показниками, як показано на рис. 2. Чинники впливу на вибір ПРА для відповідних умов експлуатації відображаються на діаграмі точками жовтого кольору, а наслідки цього впливу представлені точками голубого кольору.

В результаті аналізу зазначених показників, встановлено, що тактико-технічні та транспортні показники мають найвищий пріоритет (табл. 7), оскільки вони охоплюють практичні аспекти, які безпосередньо впливають на вибір ПРА. Ще на етапі формування управлінського рішення з метою оновлення або реструктуризації парку рухомого складу пожежно-рятувального підрозділу визначається тактико-технічний тип ПРА залежно від формування мети призначення пожежно-рятувального підрозділу: гасіння пожеж в міській забудові, гасіння лісових пожеж, гасіння пожеж на промислових підприємствах, на відомчих об'єктах нафтовидобувної, нафтопереробної, хімічної промисловості тощо.

**Таблиця 4**

Матриця попарних порівнянь груп показників якості ПРА (визначення основних груп показників)

Група показників ПРА		Група показників ПРА										Вагові коефіцієнти	%	Ранжування	Накопичувальний відсоток, %	Статус групи показників
Позначення	Назва	Динамічні	Розмірні	Силові	Ергономічні	Надійності	Екологічні	Експлуатаційні	Транспортні	Тактико-технічні	Економічні					
A <sub>1</sub>	Динамічні	1	1/5	1/1	3/1	1/2	1/5	1/2	1/2	1/1	1/2	0,07±0,005	7,14	6	86,73	Не основна
A <sub>2</sub>	Розмірні	5/1	1	5/1	1/3	5/1	1/2	3/1	1/3	5/1	5/1	0,03±0,004	3,06	9	98,98	Не основна
A <sub>3</sub>	Силові	1/1	1/5	1	1/3	1/2	1/3	1/2	1/2	1/1	1/2	0,04±0,002	4,08	8	95,92	Не основна
A <sub>4</sub>	Ергономічні	3/1	1/3	3/1	1	1/2	1/2	3/1	2/1	2/1	3/1	0,11±0,05	11,22	5	79,59	Основна
A <sub>5</sub>	Надійності	2/1	1/5	2/1	2/1	1	1/2	1/1	1/3	1/1	½	0,05±0,01	5,10	7	91,84	Не основна
A <sub>6</sub>	Екологічні	5/1	1/3	2/1	1/3	1/1	1	1/3	1/2	1/1	1/3	0,01±0,005	1,02	10	100,00	Не основна
A <sub>7</sub>	Експлуатаційні	2/1	1/3	2/1	1/3	1/1	3/1	1	1/2	1/2	½	0,15±0,05	15,31	3	57,14	Основна
A <sub>8</sub>	Транспортні	2/1	1/3	2/1	3/1	2/1	3/1	2/1	1	1/3	1/3	0,16±0,04	16,33	2	41,84	Основна
A <sub>9</sub>	Тактико-технічні	1/1	5/1	2/1	1/1	1/2	1/1	1/1	2/1	1	1/2	0,25±0,06	25,51%	1	25,51	Основна
A <sub>10</sub>	Економічні /фінансові	2/1	1/5	2/1	1/3	2/1	3/1	2/1	3/1	2/1	1	0,11±0,05	11,22%	4	68,37%	Основна
Усього												0,98	100%			

Таблиця 5.

## Опис обраних груп показників ПРА

Група показників	Позначення	Опис обраних груп показників пожежного автомобіля
А1. Тактико-технічні	A <sub>11</sub>	Оперативно-тактична характеристика району, який буде обслуговувати ПРА
	A <sub>12</sub>	Кількість пожежних в розрахунку, який одночасно знаходиться в ПРА
	A <sub>13</sub>	Шасі (колісна формула)
	A <sub>14</sub>	Параметри насосу
	A <sub>15</sub>	Ємність цистерни, м <sup>3</sup>
А2. Транспортні	A <sub>21</sub>	Максимальна швидкість, км/год.
	A <sub>22</sub>	Середня технічна швидкість, км/год.
	A <sub>23</sub>	Вибіг зі швидкістю 100 км/год., м
	A <sub>24</sub>	Пробіг до першого капітального ремонту, тис. км
	A <sub>25</sub>	Напрацювання на відмову, тис. км
А3. Ергономічні	A <sub>31</sub>	Зручність робочого місця водія, бали
	A <sub>32</sub>	Оглядовість, бали
	A <sub>33</sub>	Інформативність приладів, бали
	A <sub>34</sub>	Число регулювань сидіння, кількість регулювань
	A <sub>35</sub>	Число регулювань керма, кількість регулювань
А4. Експлуатаційні	A <sub>41</sub>	Потужність двигуна, кВт
	A <sub>42</sub>	Робочий об'єм, см <sup>3</sup>
	A <sub>43</sub>	Максимальний крутний момент двигуна, Нм
	A <sub>44</sub>	Ступінь стиснення
	A <sub>45</sub>	Середній ефективний тиск при максимальному крутному моменті, Бар
А5. Економічні показники	A <sub>51</sub>	Вартість ПРА, грн.
	A <sub>52</sub>	Термін окупності інвестиційного проекту з придбання ПРА
	A <sub>53</sub>	Середня вартість технічного обслуговування або ремонту ПРА
	A <sub>54</sub>	Витрати на закупівлю запасних частин і шин, грн.
	A <sub>55</sub>	Лояльні фінансові програми для оновлення парку ПРА

Таблиця 6

## Результати оцінювання обраних показників ПРА на основі їх взаємовпливу

Показник	D	R	D+R	D-R	Рейтинг
A <sub>11</sub>	15,338	12,607	27,95	2,73	1
A <sub>12</sub>	15,625	15,666	31,29	-0,04	8
A <sub>13</sub>	16,416	16,754	33,17	-0,34	17
<b>A<sub>14</sub></b>	<b>15,139</b>	<b>14,106</b>	<b>29,25</b>	<b>1,03</b>	<b>3</b>
<b>A<sub>15</sub></b>	<b>15,202</b>	<b>13,980</b>	<b>29,18</b>	<b>1,22</b>	<b>2</b>
A <sub>21</sub>	15,311	15,566	30,88	-0,26	15
A <sub>22</sub>	15,323	15,797	31,12	-0,47	19
A <sub>23</sub>	15,518	15,775	31,29	-0,26	16
A <sub>24</sub>	15,196	15,738	30,93	-0,54	21
A <sub>25</sub>	15,383	15,730	31,11	-0,35	18
A <sub>31</sub>	16,155	16,791	32,95	-0,64	22
A <sub>32</sub>	16,674	17,721	34,39	-1,05	25
A <sub>33</sub>	15,321	15,844	31,16	-0,52	20
A <sub>34</sub>	16,416	17,225	33,64	-0,81	24
A <sub>35</sub>	15,888	16,546	32,43	-0,66	23
<b>A<sub>41</sub></b>	<b>15,321</b>	<b>14,302</b>	<b>29,62</b>	<b>1,02</b>	<b>4</b>
<b>A<sub>42</sub></b>	<b>15,418</b>	<b>14,958</b>	<b>30,38</b>	<b>0,46</b>	<b>5</b>
<b>A<sub>43</sub></b>	<b>15,396</b>	<b>15,290</b>	<b>30,69</b>	<b>0,11</b>	<b>6</b>
<b>A<sub>44</sub></b>	<b>15,520</b>	<b>15,573</b>	<b>31,09</b>	<b>-0,05</b>	<b>9</b>
<b>A<sub>45</sub></b>	<b>16,214</b>	<b>16,282</b>	<b>32,50</b>	<b>-0,07</b>	<b>10</b>
<b>A<sub>51</sub></b>	<b>15,765</b>	<b>15,736</b>	<b>31,50</b>	<b>0,03</b>	<b>7</b>
A <sub>52</sub>	15,543	15,698	31,24	-0,15	13
A <sub>53</sub>	16,085	16,160	32,24	-0,07	11
A <sub>54</sub>	15,591	15,745	31,34	-0,15	12
A <sub>55</sub>	15,487	15,656	31,14	-0,17	14



В результаті проведеного дослідження підтверджена важливість економічних показників, оскільки їх урахування дає змогу забезпечити фінансову стійкість в процесі закупівлі ПРА з метою оновлення або реструктуризації парку рухомого складу

пожежно-рятувального підрозділу. З іншого боку, як екологічним, так і соціальним показникам приділяється менше значення, хоча вони представляють два критичні аспекти, які в останній час набувають все більшого значення для забезпечення сталого розвитку громад.

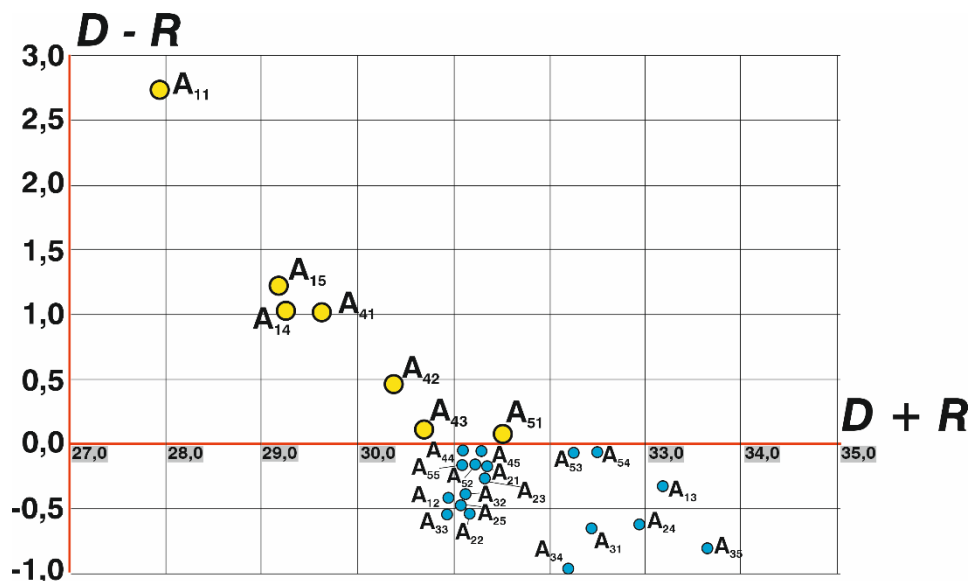


Рисунок 2 - Діаграма причинно-наслідкових зв'язків показників-вибору ПРА

Таблиця 7

Базові показники вибору ПРА

Рейтинг	Базовий показник ПРА
1	A <sub>11</sub> . Оперативно-тактична характеристика району, який буде обслуговувати ПРА (міська забудова)
2	A <sub>15</sub> . Ємність цистерни
3	A <sub>14</sub> . Параметри насосу
4	A <sub>41</sub> . Потужність двигуна, кВт
5	A <sub>42</sub> . Робочий об'єм, см <sup>3</sup>
6	A <sub>43</sub> . Максимальний крутний момент двигуна, Нм
7	A <sub>51</sub> . Вартість ПРА

На основі визначених базових показників проведемо вибір ПРА для оновлення або реструктуризації парку рухомого складу пожежно-рятувального підрозділу з розповсюджених моделей на ринку:

- ПРА на базі Tatra Terra;
- ПРА на базі MAN TGM;
- ПРА на базі Renault Trucks;
- ПРА на базі Mercedes-Benz Actros.

Стисла характеристика та функціональне призначення ПРА, що розглядаються за даними інформації [21], наведено в табл. 8. Результати розрахунку моделей ПРА, що розглядаються методом МАІ, наведено в табл. 9.

**Обговорення.** Необхідність забезпечення мінімального часу ліквідації НС є ключовим показником при виборі ПРА, що є основною

метою цього дослідження. Цю проблему автори вирішували, проводячи дві процедури оцінки, обидві методом МАІ для ранжування альтернатив, але за різною кількістю розглянутих критеріїв. У першій оцінці методом МАІ враховувалась значна кількість показників на основі огляду інформаційних джерел, які є у відкритому доступі та досвіду групи експертів. У другій оцінці методом МАІ використовувався скорочений набір для визначення груп базових показників. Зменшений набір показників було визначено за допомогою методу fuzzy Dematel, який розкрив взаємозв'язки між показниками. Крім того, зменшення кількості оцінювальних показників дало змогу збільшити продуктивність і скоротити час експертів при відповіді на попарні порівняння під час першої оцінки.

Ще на етапі формування управлінського рішення з метою оновлення або реструктуризації парку рухомого складу пожежно-рятувального підрозділу визначається тактико-технічний тип ПРА залежно від формування мети призначення

пожежно-рятувального підрозділу: гасіння пожеж в міській забудові, гасіння лісових пожеж, гасіння пожеж на промислових підприємствах, на відомчих об'єктах нафтовидобувної, нафтопереробної, хімічної промисловості тощо.

Таблиця 8

Стисла характеристика і функціональне призначення ПРА [21]

Модель та стисла характеристика	Функціональні можливості							
	Базове шасі	Потужність двигуна, кВт	Кількість місць для бойового розрахунку, осіб	Запас води, м <sup>3</sup> (л)	Подача насосу, л/с	Напір насоса, м	Габаритні розміри (довжина: ширина: висота), мм	Маса автомобіля з повним навантаженням, кг
<b>АЦ-4-60 МАЗ(5309)-505М</b> Транспортний засіб, призначений для доставки до місця пожежі оперативного розрахунку, засобів пожежогасіння, пожеж-но-технічного оснащення (ПТО) і служить для гасіння пожеж водою і повітряно-механічною піною. <b>Насос:</b> пожежний відцентровий ПН-60Б-Р-Р	МАЗ-53095 / 4х4.1	243	1+6	4 (4000)	60	100	8500: 2550: 3640	19 000
<b>АЦ-4-60 МАЗ(530905)-515М</b> Те саме. <b>Насос:</b> пожежний відцентровий ПН-60Б-А	МАЗ-53090 5 / 4х4.1	243	1+6	4(4000)	60	100	8 500 × 2 550 × 3 450 мм	19 000
<b>АЦ-5-50 (1833)-442F</b> Призначена для перевезення особового складу оперативного розрахунку, засобів пожежогасіння, ПТО та аварійно-рятувального обладнання (АРО) для гасіння пожеж та проведення пожежно-рятувальних робіт. Може використовуватися в містах, сільських поселеннях, промислових районах оперативними підрозділами як самостійна бойова одиниця, або як насосна установка при роботі «в перекачування» з однією або декількома іншими пожежними автоцистернами. <b>Насос:</b> FPN 10-3000 Пожмашина 1833-442f/	Ford 1833 CC 4×2	243	1+5	5 (5000)	50	170	8 500 × 2 600 × 3 300 мм	19 000
<b>АЦ-4-60 (150E28W)-525I</b> Те саме <b>Насос:</b> пожежний відцентровий ПН-60Б-Р-Р	Iveco Euroc argo 150E2 8W MLD Cab	205	1+6	4 (4000)	62	100	8 500 × 2 600 × 3 000 мм	19800

Модель та стисла характеристика	Функціональні можливості							Маса автомобіля з повним навантаженням, кг
	Базове шасі	Потужність двигуна, кВт	Кількість місць для бойового розрахунку, осіб	Запас води, м <sup>3</sup> (л)	Подача насоса, л/с	Напір насоса, м	Габаритні розміри (довжина: ширина: висота), мм	
<b>АЦ-3,2-40 (TGM 15.250)-163М</b> Призначена для доставки до місця пожежі оперативного розрахунку, засобів пожежо-гасіння, ПТО і служить для гасіння пожеж водою та повітряно-механічною піною в умовах міст, селищ, об'єктів з розвиненою мережею водопостачання. <b>Насос:</b> FPN 10-3000 Пожмашина	MAN TGM 15.25 0 4x2 BL	243	1+5	5 (5000)	40	170	7 500 × 2 600 × 2 950 мм	13500
<b>АЦ-2,5-30 (NQR90)-537IS</b> Призначена для доставки до місця пожежі оперативного розрахунку, засобів пожежо-гасіння, ПТО і служить для гасіння пожеж водою та повітряно-механічною піною в умовах міст, селищ, об'єктів з розвиненою мережею водопостачання.	Isuzu NQR 90	140	3+4	2,5 (2500)	40	100	6 800 × 2 400 × 2 800 мм	9500

Таблиця 9

Результати вибору ПРА методом МАІ для гасіння пожеж в міській забудові

№	Марка пожежного автомобіля (автоцистерни)	Рейтинг
1	АЦ-4-60 МАЗ(5309)-505М	2
2	АЦ-4-60 МАЗ(530905)-515М	2
3	АЦ-5-50 (1833)-442F	3
4	АЦ-4-60 (150E28W)-525I	4
5	АЦ-3,2-40 (TGM 15.250)-163М	1
6	АЦ-2,5-30 (NQR90)-537IS	5

Важливість представленого у цій роботі дослідження полягає у порівнянні двох методів ранжування альтернатив, які були отримані за різними аспектами аналізу, а саме, не лише щодо відносної важливості оцінки показників, а й їхнього взаємозв'язку. Наслідки дослідження можна узагальнити таким чином, враховуючи дві різні перспективи [19, 23]:

- на дослідницькому рівні – спроба спростувати процедуру оцінки шляхом інтеграції методів МАІ та fuzzy Dematel з метою зменшення кількості критеріїв оцінки була викликана наявністю різниці між концепціями важливості та впливу, що може неправильно вплинути на вибір критеріїв. Фактично найвпливовіші критерії можуть не завжди відповідати найважливішим критеріям;

- на практичному рівні – результати дослідження підкреслили, що велика увага

повинна приділятися меті застосування методів оцінки, особливо коли залучається велика кількість експертів. Зокрема, процедури оцінки, проведені в дослідженні, розкрили необхідність точного пояснення конкретної мети застосованих методів оцінки респондентам. У цьому сенсі необхідно було розглядати чітку відмінність між поняттями важливості та впливу для коректного застосування методів МАІ та fuzzy Dematel. Зокрема, як підкреслено в [16], можливі проблеми через непорозуміння, які можуть виникнути через відмінності у точках зору аналітиків. Через це в процеси прийняття рішень можуть бути внесені упередження, які відображаються в остаточних рекомендаціях, наданих для приймання остаточних рішень. Виходячи з результатів дослідження, потенційне непорозуміння концептуальної різниці між поняттями важливості

та впливу може бути причиною вищого рангу, як у випадку автобусів з внутрішнім згорянням, незважаючи на загально поширену усвідомленість щодо екологічної стійкості.

Майбутній розвиток запропонованого дослідження буде включати, з одного боку, більш глибоке дослідження розуміння експертами обґрунтованості методики оцінки, а з іншого боку, більш повний аналіз чутливості пріоритетів критеріїв для виявлення можливих варіацій у ранжуванні можливих альтернатив ПРА. Крім того, передбачено перевірку доречності застосування запропонованої методології в інших випадках досліджень та контекстах.

### Висновки

1. Розроблено процес вибору основних груп і базових показників ПРА, який складається з восьми кроків (зокрема: підбір експертів; формування каталогу показників, які характеризують умови експлуатації; виявлення основних груп показників для ранжування альтернатив з урахуванням вагових коефіцієнтів; виявлення експертами «причинно-наслідкових» взаємозв'язків серед сукупності показників ПРА з метою виділення базових).

2. Для вибору ПРА відповідно до умов НС у разі оновлення або реструктуризації парку рухомого складу пожежного підрозділу визначено п'ять основних груп (тактико-технічні, транспортні, ергономічні, експлуатаційні, економічні) і з цих груп – сім базових показників (оперативно-тактична характеристика району, ємність цистерни, параметри насоса, потужність двигуна, максимальний крутний момент двигуна, вартість ПРА).

3. Запропоновано поєднання методу аналізу ієрархій (МАІ) для визначення основних груп показників з методом fuzzy Dematel для визначення базових показників з цих груп. Це дозволяє прийняти обґрунтоване управлінське рішення щодо вибору показників для ПРА на основі визначення базових показників, які полегшують і зменшують тривалість процесу вибору пожежно-технічного обладнання.

### Список літератури:

1. Неклонський І.М., Коломієць В.С., Тарадуда Д.В. Ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій та гасіння пожеж: конспект лекцій, частина I. Харків, 2024. 229 с.

2. Wiśnios M., Tatko S., Mazur M., Paś J., Łukasiak J.M., Klimczak T. Identifying Characteristic Fire Properties with Stationary and Non-Stationary Fire Alarm Systems. *Sensors*, 2024, 24(9), 2772. <https://doi.org/10.3390/s24092772>. (Дата звернення: 07.04.2023).

3. Liu D., Xu Z., Yan L., Fan C. Dynamic estimation system for fire station service areas based on travel time data. *Fire Safety Journal*, 118, 103238

(2020). [doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.103238](https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.103238). (Дата звернення: 07.04.2023).

4. Довідник пожежного рятувальника. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. Харків, 2017. 114 с. <https://dsns.gov.ua/upload/9/5/7/7/2018-10-2-112-dovidnik-pozeznogo-ryatuvalnika-2018.pdf> (Дата звернення: 07.04.2023).

5. Дерюгін О.В., Чеберячко С.І. Обґрунтування вибору вантажного автомобіля за критерієм мінімізації психофізіологічного навантаження на водія. *Східно-Європейський журнал передових технологій*, 2015, №3(75), 15-22. [doi.org/10.15587/1729-4061.2015.42127](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.42127). (Дата звернення: 07.04.2023).

6. Nyimbili P.H., Erden T. GIS-based fuzzy multi-criteria approach for optimal site selection of fire stations in Istanbul, Turkey. *Socio-Economic Planning Sciences*, 2020, 71, 100860. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2020.100860>. (Дата звернення: 07.04.2023).

7. Sivrikaya F., Küçük Ö. Modeling forest fire risk based on GIS-based analytical hierarchy process and statistical analysis in Mediterranean region. *Ecological Informatics*, 2022, 68, 101537. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101537>. (Дата звернення: 07.04.2023).

8. Yao J., Zhang X., Murray A.T. Location optimization of urban fire stations: Access and service coverage. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2019, 73, 184-190. <https://doi.org/10.1016/j.compenurbsys.2018.10.006>. (Дата звернення: 07.04.2023).

9. Stofkova J., Krejnos M., Stofkov, K.R., Malega P., Binasova V. Use of the Analytic Hierarchy Process and Selected Methods in the Managerial Decision-Making Process in the Context of Sustainable Development. *Sustainability*, 2022, 14, 11546. <https://doi.org/10.3390/su141811546>. (Дата звернення: 07.04.2023).

10. Yuan Z., Wen B., He C., Zhou J., Zhou Z., Xu F. Application of Multi-Criteria Decision-Making Analysis to Rural Spatial Sustainability Evaluation: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19, 6572. <https://doi.org/10.3390/ijerph19116572>. (Дата звернення: 07.04.2023).

11. Cheberiyachko S., Yavorska O., Deryugin O., Lantukh D., Bas I., Kruznilko O., Melnyk V. Improving safety of passenger road transportation. *Transactions on transport sciences*, 2023, №14 (2), 11-20. <https://doi.org/10.5507/tots.2023.003>. (Дата звернення: 07.04.2023).

12. Tsopa V., Cheberyachko S., Litvinova Y., Vesela M., Deryugin O., Bas I. The dangerous factors identification features of occupational hazards in the transportation cargo process. *Communications -*

*Scientific Letters of the University of Zilina*, 2023, №25(3), F64-F77. doi.org/10.26552/com.C.2023.058. (Дата звернення: 07.04.2023).

13. Tsopa V., Nehrii T., Cheberichko S., Litvinova Ya., Deryugin O., Horoshko N. Improving the risk assessment process of road accidents involving trucks. *Transactions on transport sciences*, 2024, №3. <https://doi.org/10.5507/tots.2024.011>. (Дата звернення: 07.04.2023).

14. Rodrigues D., Godina R., da Cruz P.E. Key Performance Indicators Selection through an Analytic Network Process Model for Tooling and Die Industry. *Sustainability*, 2021, 13, 13777. <https://doi.org/10.3390/su132413777>. (Дата звернення: 07.04.2023).

15. Xia Z., Li H., Chen Y. An Integrated Spatial Clustering Analysis Method for Identifying Urban Fire Risk Locations in a Network-Constrained Environment: A Case Study in Nanjing, China. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2017, 6 (11), 370. doi.org/10.3390/ijgi6110370. (Дата звернення: 07.04.2023).

16. Bazaluk O., Pavlychenko A., Yavorska O., Nesterova O., Cheberichko S., Deryugin O., Lozynskiy V. Improving the risk management process in quality management systems of higher education. *Scientific Reports*, 2024, 14, 3977. doi: 10.1038/s41598-024-53455-9. (Дата звернення: 07.04.2023).

17. Ayadi H., Benaissa M., Hamani N., Kermad L. Selecting Indicators to Assess the Sustainability of Urban Freight Transport Using a Multi-Criteria Analysis. *Logistics*, 2024, 8 (1), 12. <https://doi.org/10.3390/logistics8010012>. (Дата звернення: 07.04.2023).

18. Sachenko O., Hladiy G., Bushuyev S., Dombrowsky Z. Criteria for selecting the investment projects on DEMATEL and ANP combination. *2015 IEEE 8th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*, Warsaw, Poland, 2015, pp. 555-558, doi.org/10.1109/IDAACS.2015.7341366. (Дата звернення: 07.04.2023).

19. Huang A.-C., Huang C.-F., Shu C.-M. A Case Study for an Assessment of Fire Station Selection in the Central Urban Area. *Safety*, 2023, 9(4), 84. <https://doi.org/10.3390/safety9040084>. (Дата звернення: 07.04.2023).

20. Oliveira M., Slezakova K., Alves M. J., Fernandes A., Teixeira J. P., Delerue-Matos C., Pereira M.D.C., Morais S. Polycyclic aromatic hydrocarbons at fire stations: firefighters' exposure monitoring and biomonitoring, and assessment of the contribution to total internal dose. *Journal of hazardous materials*, 323 (Pt A), 2017, 184-194. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.03.012>. (Дата звернення: 07.04.2023).

21. Офіційний сайт Пожмашина. URL: <https://pkpm.com.ua/uk/category/pozhezhna-tekhnika/avtotsystemy-pozhezhni/> (Дата звернення: 07.04.2023).

22. Гащук, П.М., Сичевський, М.І. Особливості й труднощі класифікації самохідної техніки для ліквідації надзвичайних ситуацій. *Пожжежна безпека*, 2016, №27, 33-43. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pb\\_2015\\_27\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pb_2015_27_7). (Дата звернення: 07.04.2023).

23. Li L., Li N., Wu X., Liu B. A Method for Evaluating the Spatial Layout of Fire Stations in Chemical Industrial Parks. *Applied Sciences*, 2024, 14, 2918. <https://doi.org/10.3390/app14072918>. (Дата звернення: 07.04.2023).

#### References:

1. Neklonskyi I.M., Kolomiiets V.S., Taraduda D.V. Likvidatsiia naslidkiv nadzvychainykh sytuatsii ta hasinnia pozhhez: konspekt leksii [Emergency response and firefighting: lecture notes], part I. Kharkiv, 2024. 229 p. (In Ukrainian)

2. Wiśnios, M., Tatko, S., Mazur, M., Paś, J., Łukasiak, J.M., & Klimczak, T. (2024). Identifying Characteristic Fire Properties with Stationary and Non-Stationary Fire Alarm Systems. *Sensors*, 24(9), 2772. <https://doi.org/10.3390/s24092772>.

3. Liu, D., Xu, Z., Yan, L., & Fan, C. (2020). Dynamic estimation system for fire station service areas based on travel time data. *Fire Safety Journal*, 118, 103238. doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.103238.

4. Dovidnyk pozhheznoho riatuvalnyka. Derzhavna sluzhba Ukrainy z nadzvychainykh sytuatsii [Firefighter's Handbook. State Emergency Service of Ukraine]. Kharkiv, 2017. 114 p. <https://dsns.gov.ua/upload/9/5/7/7/2018-10-2-112-dovidnik-pozheznogo-ryatuvalnika-2018.pdf> (In Ukrainian).

5. Deryugin, O., & Cheberyachko, S. (2015). Obruntuvannya vyboru vantazhnoho avtomobilia za kryteriiem minimizatsii psykhozivlozhchynoho navantazhennia na vodiia. [Substation of truck selection in terms of minimizing psychophysiological stress on a driver]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (3 (75)), 15-22. doi.org/10.15587/1729-4061.2015.42127. (In Ukrainian)

6. Nyimbili, P.H., & Erden, T. (2020). GIS-based fuzzy multi-criteria approach for optimal site selection of fire stations in Istanbul, Turkey. *Socio-Economic Planning Sciences*, 71, 100860. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2020.100860>.

7. Sivrikaya, F., & Küçük, Ö. (2022). Modeling forest fire risk based on GIS-based analytical hierarchy process and statistical analysis in Mediterranean region. *Ecological Informatics*, 68, 101537. doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101537.

8. Yao, J., Zhang, X., & Murray, A.T. (2019). Location optimization of urban fire stations: Access

and service coverage. *Computers, Environment and Urban Systems*, 73, 184-190. doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.10.006.

9. Stofkova, J., Krejnus, M., Stofkova, K.R., Malega, P., & Binasova, V. (2022). Use of the Analytic Hierarchy Process and Selected Methods in the Managerial Decision-Making Process in the Context of Sustainable Development. *Sustainability*, 14, 11546. https://doi.org/10.3390/su141811546.

10. Yuan, Z., Wen, B., He, C., Zhou, J., Zhou, Z., & Xu, F. (2022). Application of Multi-Criteria Decision-Making Analysis to Rural Spatial Sustainability Evaluation: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, 6572. doi.org/10.3390/ijerph19116572.

11. Cheberiachko, S., Yavorska, O., Deryugin, O., Lantukh, D., Bas, I., Kruzhilko, O., & Melnyk, V. (2023). Improving safety of passenger road transportation. *Transactions on transport sciences*, 14(2), 11-20. https://doi.org/10.5507/tots.2023.003.

12. Tsopa, V., Cheberyachko, S., Litvinova, Y., Vesela, M., Deryugin, O., & Bas, I. (2023). The dangerous factors identification features of occupational hazards in the transportation cargo process. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, 25(3), F64-F77. https://doi.org/10.26552/com.C.2023.058.

13. Tsopa, V., Nehrii, T., Cheberiachko, S., Litvinova, Ya., Deryugin, O., & Horoshko, N. (2024). Improving the risk assessment process of road accidents involving trucks. *Transactions on transport sciences*, 3, on-line. doi.org/10.5507/tots.2024.011.

14. Rodrigues, D., Godina, R., & da Cruz, P.E. (2021). Key Performance Indicators Selection through an Analytic Network Process Model for Tooling and Die Industry. *Sustainability*, 13, 13777. https://doi.org/10.3390/su132413777.

15. Xia, Z., Li, H., & Chen, Y. (2017). An Integrated Spatial Clustering Analysis Method for Identifying Urban Fire Risk Locations in a Network-Constrained Environment: A Case Study in Nanjing, China. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(11), 370. https://doi.org/10.3390/ijgi6110370.

16. Bazaluk, O., Pavlychenko, A., Yavorska, O., Nesterova, O., Cheberiachko, S., Deryugin, O. & Lozynskyi, V. (2024). Improving the risk management process in quality management systems of higher education. *Scientific Reports*, 14, 3977. DOI: 10.1038/s41598-024-53455-9.

17. Ayadi, H., Benaissa, M., Hamani, N., & Kermad, L. (2024). Selecting Indicators to Assess the Sustainability of Urban Freight Transport Using a Multi-Criteria Analysis. *Logistics*, 8(1), 12. https://doi.org/10.3390/logistics8010012.

18. Sachenko, O., Hladiy, G., Bushuyev, S., & Dombrowsky, Z. Criteria for selecting the investment projects on DEMATEL and ANP combination. *2015 IEEE 8th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), Warsaw, Poland, 2015*, pp. 555-558, https://doi.org/10.1109/IDAACS.2015.7341366.

19. Huang, A.-C., Huang, C.-F., & Shu, C.-M. (2023). A Case Study for an Assessment of Fire Station Selection in the Central Urban Area. *Safety*, 9(4), 84. https://doi.org/10.3390/safety9040084.

20. Oliveira, M., Slezakova, K., Alves, M. J., Fernandes, A., Teixeira, J. P., Delerue-Matos, C., Pereira, M. D. C., & Morais, S. (2017). Polycyclic aromatic hydrocarbons at fire stations: firefighters' exposure monitoring and biomonitoring, and assessment of the contribution to total internal dose. *Journal of hazardous materials*, 323(Pt A), 184-194. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.03.012.

21. Official site Pozhmashyna. URL: https://pkpm.com.ua/uk/category/pozhezhna-tehnika/avtotsystemy-pozhezhni.

22. Haschuk, P.M., & Sychevskyi, M.I. (2016). Osoblyvosti y trudnoshchi klasyfikatsii samokhidnoi tekhniki dlia likvidatsii nadzvychainykh sytuatsii. [Peculiarities and difficulties of classification of self-propelled equipment for liquidation of emergency situations]. *Fire safety*, 27, 33-43. Retrieved from: nbuv.gov.ua/UJRN/Pb\_2015\_27\_7. (In Ukrainian)

23. Li, L., Li, N., Wu, X., Liu, B. (2024). A Method for Evaluating the Spatial Layout of Fire Stations in Chemical Industrial Parks. *Applied Sciences*, 14, 2918. doi.org/10.3390/app14072918.

© В. А. Цопа, О. В. Дерюгін, С. І. Чеберячко, Н. С. Сушко, О. В. Станіславчук, 2024.

**Науково-методична стаття.**

Надійшла до редакції 01.11.2024.

Прийнято до публікації 18.12.2024.