

УДК 004.924:614.8

doi:10.20998/2413-4295.2021.02.10

## КРИТЕРІЙ АКТУАЛЬНОСТІ ОБЛАДНАННЯ ПРИ РОЗВ'ЯЗАННІ ЗАДАЧІ КОМПЛЕКТУВАННЯ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

**В. М. КРИШТАЛЬ<sup>1\*</sup>, В. Є. СНИТЮК<sup>2</sup>, Д. С. ФЕДОРЕНКО<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> кафедра пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт, Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, Черкаси, УКРАЇНА

<sup>2</sup> факультет інформаційних технологій, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, УКРАЇНА  
\*e-mail: kryshstal.v@ukr.net

**АНОТАЦІЯ** Проаналізовано проблему комплектування аварійно-рятувальної техніки, що засвідчив такі її особливості як наявну обмеженість фінансових ресурсів, значний зріст потужності елементної бази, прийняття рішень виключно на основі досвіду та інтуїції відповідальних осіб. Показано, що запропоновані раніше рішення базувалися на урахуванні вартості обладнання, його надійності, функціональності та потужності, водночас поза увагою залишався аспект його застосовності або актуальності. Враховуючи значну кількість потенційних елементів обладнання, що можуть входити до комплекту, запропоновано обмеження, що дозволять скоротити кількість можливих варіантів на основі методу послідовного аналізу варіантів. Запропоновано визначати пріоритетність елементів обладнання певного класу із використанням методу аналізу ієрархій на основі встановлення пріоритетності критеріїв і процедур визначення компетентності експертів. Оскільки задача комплектування є багатокритеріальною, то до критеріїв визначення оптимального комплекту запропоновано включити критерій актуальності. Побудовано моделі показників актуальності обладнання, а також визначено коефіцієнт актуальності елемента обладнання та розроблено модель для визначення коефіцієнта актуальності комплекту аварійно-рятувального обладнання для певної надзвичайної ситуації. Запропоновано розраховувати загальний коефіцієнт актуальності комплекту обладнання для усіх надзвичайних ситуацій як усереднене значення коефіцієнта актуальності комплекту для кожної надзвичайної ситуації при умові їх рівнозначності, або як зважене значення в іншому випадку. Проведене чисельне моделювання на основі розробленого алгоритму дозволило зробити висновки про актуальність та, як наслідок, пріоритетність елементів обладнання, а також оцінити ступінь забезпеченості аварійно-рятувального підрозділу аварійно-рятувальним обладнанням при різних надзвичайних ситуаціях.

**Ключові слова:** надзвичайні ситуації; аварійно-рятувальне обладнання; комплектування; критерій актуальності; модель для визначення коефіцієнта актуальності комплекту аварійно-рятувального обладнання; пріоритетність елементів обладнання.

## CRITERIA OF ACTUALITY OF EQUIPMENT IN SOLVING OF THE PROBLEM OF COMPLETING OF EMERGENCY AND RESCUE EQUIPMENT IN THE CONDITIONS OF UNCERTAINTY

**V. KRYSH TAL<sup>1</sup>, V. SNYTYUK<sup>2</sup>, D. FEDORENKO<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Department of Fire Tactics and Emergency Rescue, Cherkasy Institute of Fire Safety named after the Heroes of Chernobyl of the National University of Civil Defense of Ukraine, Cherkasy, UKRAINE

<sup>2</sup> Faculty of Information Technologies, Taras Shevchenko Kyiv National University, Kyiv, UKRAINE

**ABSTRACT** The problem of rescue equipment compilation was analyzed, which showed such features as the existing limited financial resources, a significant increase in the capacity of the element base, decision making processes based solely on the experience and intuition of those responsible person was carried out. It is shown that the previously proposed solutions were based on the cost of equipment, its reliability, functionality and capacity, while the aspect of its applicability or relevance was ignored. Taken into account the significant number of potential elements of equipment that may be included in the kit, limitations that will reduce the number of possible variants based on the method of sequential analysis of variants are proposed. It is proposed to determine the priority of equipment elements of a certain class using the method of analytic hierarchy process on the prioritization of criteria and procedures for determining the competence of experts. Since the task of compilation is multi-criteria, it is proposed to include the criterion of relevance in the criteria for determining the optimal kit. Models of equipment relevance indicators are constructed, as well as the relevance rate of the equipment element is determined and a model to determine the relevance rate of the set of emergency rescue equipment for a certain emergency situation is developed. It is proposed to calculate the total relevance rate of the equipment set for all emergencies as the average value of the relevance rate of the kit for each emergency, provided they are equivalent, or as a weighted value otherwise. Numerical modeling based on the developed algorithm allowed to draw conclusions about the relevance and, as a consequence, the priority of equipment elements, as well as to assess the degree of provision of rescue unit with rescue equipment in various emergencies.

**Keywords:** emergency situations; rescue equipment; compilation; criterion of relevance; a model for determining the relevance factor of a set of rescue equipment; priority of equipment elements.

## Вступ

Проблема комплектування аварійно-рятувальної техніки (АРТ) є наслідком протиріччя між ресурсною обмеженістю, а також обмеженістю носія та необхідністю забезпечення універсальності й максимальної потужності та надійності аварійно-рятувального обладнання (АРО). Від якісного та ефективного її вирішення залежать людські життя та обсяги матеріальних збитків внаслідок аварій, катастроф та пожеж.

Типовим представником АРВ є пожежний або спеціальний автомобіль, де АРО розміщується у спеціальних контейнерах, які, без обмеження загальності можна вважати прямокутними паралелепіпедами. Проблема комплектування на практиці вирішується особою, що приймає рішення, на основі досвіду, інтуїції та з урахуванням фінансових обмежень, що не завжди є найкращим варіантом. На необхідність об'єктивізації процесу її вирішення вказує і багатокритеріальність вибору із великої кількості варіантів та змішаність суб'єктивізованих експертних оцінок.

Розробка моделей та методів, які дозволять вирішити проблему комплектування АРТ, необхідна у тому числі й для того, щоб продовжити процеси щодо переходу викликів усіх рятувальних служб на номер 112 та автоматизації діяльності підрозділів Державної служби із надзвичайних ситуацій України. Значна кількість релевантних задач уже має своє розв'язання, зокрема задачі визначення найкоротшого шляху проїзду пожежного автомобіля до місця пожежі, визначення ймовірного шляху розвитку пожежі, оптимізація розміщення елементів системи пожежної сигналізації, визначення рівня пожежонебезпечності житлових будинків та інші. Дослідження, одним з яких і є розробка технології комплектування АРТ, проводяться у Черкаському інституті пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України.

Для вирішення даної проблеми були поставлені задачі [1], встановлені обмеження, запропоновані відповідні методи. Зауважимо, що одержані результати базуються на представленні процесу комплектування АРТ як задачі багатокритеріальної оптимізації [2], що має багато спільного із задачами тривимірної упаковки [3], задачі про рюкзак [4], задачі розкрою [5] тощо. Водночас, жорсткі обмеження та критерії, частина з яких має чіткий кількісний характер, а інша частина – якісний, що властиві задачі комплектування АРТ, визначають особливості її розв'язання. У запропонованих раніше моделях та методах [6] не використовувались знання про особливості навколишнього середовища, статистичні дані про надзвичайні ситуації та їх наслідки. Очевидно, що такі дані є визначальними

при комплектуванні носіїв АРТ, серед яких є як спеціальні автомобілі, так і пожежні машини.

Надалі, без обмеження загальності, будемо розглядати пожежні автомобілі, оскільки вони, як носії АРО, кількісно переважають. Для інших автомобілів запропоновані результати також можна використовувати, обмеживши лише номенклатуру та тип обладнання.

Визначимо основні об'єкти, які відіграють визначальну роль при комплектуванні АРТ. Першим таким об'єктом є навколишнє середовище, в якому планується експлуатація пожежного автомобіля з відповідним комплектом АРО. Таким середовищем може бути село, місто, район чи область. Зауважимо, що чим більш спеціалізованим є автомобіль, тим ширшим є середовище його використання. Відповідний регіон визначається соціально-економічними характеристиками, головними з яких є кількість населення, величина валового внутрішнього продукту, середня заробітна плата, відсоток безробітних, кількість працюючих підприємств, характеристики виробництва та кількісні характеристики житлового фонду.

## Мета роботи

Метою роботи є підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт та, як наслідок, мінімізація кількості людських жертв та обсягу матеріальних збитків шляхом об'єктивізації процесів прийняття рішень при комплектуванні аварійно-рятувальної техніки. Мета дослідження досягається у результаті розв'язання задачі побудови критерію актуальності комплекту аварійно-рятувального обладнання.

## Метод побудови критерію актуальності аварійно-рятувального обладнання

Відомо, що можливі небезпеки (R) для регіонів класифікують таким чином [7]:

- небезпеки соціального характеру ( $R_1$ );
- небезпеки техногенного характеру ( $R_2$ );
- пожежі ( $R_3$ );
- небезпеки природного характеру ( $R_4$ );
- інші небезпеки ( $R_5$ ).

Кожен клас небезпек, у свою чергу, ділиться на ситуації, аварії чи катастрофи. Тому, кожен надзвичайну ситуацію будемо позначати  $R_{ij}$ , де  $i$  – клас ситуації,  $i = \overline{1,5}$ ,  $j$  – номер ситуації в класі,  $j = \overline{1,1}$ .

Припустимо, що всього може бути одержано  $N$  комплектів обладнання. Кожен комплект  $K_i$  обладнання має однакову кількість елементів (EO),  $i = \overline{1, M}$ , причому кожен елемент належить до певного класу АРО. Позначимо класи АРО  $C_j, j = \overline{1, M}$  і

вважатимемо, що  $\forall i, j, i \neq j: C_i \cap C_j = \emptyset$ . Такі припущення мають спрощуваний характер, але не обмежують загальності, оскільки їх можна послабити.

Розглянемо першу задачу. Припустимо, що в кожному комплекті обладнання є  $M$  ЕО, потужність класів відома і становить  $|C_j| = m_j, \forall j \in \{1, 2, \dots, M\}$ . Тоді загальна кількість комплектів становитиме

$$L = \prod_{j=1}^M m_j.$$

Як правило, число  $L$  є великим і здійснити вибір оптимального комплекту за багатьма критеріями – процедура надто трудомістка. Тому, необхідно скоротити їх кількість, застосовуючи кроки, аналогічні крокам методу послідовного аналізу варіантів [8]. На першому кроці вилучимо ті комплекти, в яких хоча б один елемент має хоча б один габарит, який є більшим найбільшого габариту контейнера, тобто, якщо

$$\exists e_j: \max\{a_j, b_j, c_j\} > \max\{a, b, c\}, \quad (1)$$

то комплект вилучаємо з розгляду. У виразі (1)  $e_j$  –  $j$ -й ЕО в комплекті,  $a_j, b_j, c_j$  – його ширина, висота і глибина,  $a, b, c$  – ширина, висота і глибина контейнера, відповідно. На другому кроці вилучаємо ті комплекти, сумарні найменші габарити яких є більшими найбільшого габариту контейнера, тобто, якщо

$$\sum_{j=1}^M \min\{a_j, b_j, c_j\} > \max\{a, b, c\}. \quad (2)$$

І третя умова: якщо існує такий комплект обладнання  $E_j$ , що

$$F_1^j > F_{1\max} V(F_2^j < F_{2\max}) V(F_3^j < F_{3\max}) V(F_4^j < F_{4\max}) V(F_5^j < F_{5\max}), \quad j = \overline{1, L},$$

де  $F_{1\max}$  – максимально можливе значення ціни,  $F_{i\min}$  – мінімально можливі значення інших критеріїв (надійність, потужність, функціональність, невраховані фактори),  $i = \overline{2, 5}$ , то комплект теж вилучаємо. У результаті виконання таких дій кількість можливих комплектів значно скоротиться.

Впорядкуємо елементи кожного класу всередині класу. Припустимо, що клас  $C_j$  має  $m_j$  елементів, елемент класу позначимо  $E_{jk}, k = \overline{1, m_j}, j = \overline{1, M}$ . Експертним шляхом, використовуючи метод аналізу ієрархій [9], визначимо пріоритети  $w_i$  критеріїв  $F_i, i = \overline{1, 5}$ . Далі розрахуємо пріоритети  $v_{jki}$  кожного елемента класу  $e_{jk}$  за кожним із критеріїв  $F_i, i = \overline{1, 5}$ . Зауважимо, що значення пріоритетів потрібно нормувати, тоді одержимо, що  $\sum_{i=1}^5 w_{ji} = 1$  і  $\forall i \in \{1, 2, \dots, 5\} \sum_{k=1}^{m_j} v_{jki} = 1, j = \overline{1, m}$ . Загальні

значення пріоритетів елементів  $e_{jk}$  класу  $C_j$  знаходимо так:

$$\gamma_k = \sum_{i=1}^5 w_{ji} \cdot v_{jki}, k = \overline{1, m_j} \quad (3)$$

Після нормування  $\gamma'_k \in (0, 1)$  і  $\sum_{k=1}^{m_j} \gamma'_k = 1$ . Знаючи пріоритети ЕО кожного класу, їх можна впорядкувати за спаданням пріоритетів. Якщо наведену вище процедуру виконував один експерт, то комплект обладнання, який складається з перших елементів у своїх впорядкованих класах, буде шуканим. Якщо з певних причин він виявиться неприйнятним, то необхідно вилучити найгірший елемент з найкращих та замінити його на наступний за рангом у цьому класі. У випадку негативних результатів цю процедуру необхідно повторити.

Якщо в оцінюванні та впорядкуванні альтернатив бере участь декілька експертів, то побудовані ними індивідуальні порядки на множині ЕО та значення пріоритетів будуть відрізнятися. Одним із варіантів розв'язання задачі є апріорне визначення компетентності експертів. У залежності від рівня знань особи, що приймає рішення (ОПР), та інформації про самих експертів, розрізняють процедури встановлення компетентності експертів в детермінованих умовах та умовах невизначеності на основі аксіоми незміщеності [10]. При кількості експертів  $l$ , їх компетентностях  $\mu_i \in (0, 1), i = \overline{1, l}, \sum_{i=1}^l \mu_i = 1$ , визначених індивідуальних пріоритетах ЕО  $\gamma'_{ki} \in (0, 1), \sum_{k=1}^{m_j} \gamma'_{ki} = 1 \forall i \in \{1, 2, \dots, l\}$  колективні пріоритети ЕО розраховуємо так:

$$\gamma_k^* = \frac{\sum_{i=1}^l \mu_i \gamma'_{ki}}{\sum_{k=1}^{m_j} \sum_{i=1}^l \mu_i \gamma'_{ki}}. \quad (4)$$

Можливий також варіант, коли експерт не може кількісно оцінити або пріоритети критеріїв, або пріоритети ЕО за кожним критерієм, але може впорядкувати ЕО. Тоді, якщо експерт один, задача зводиться до попередньої – достатньо взяти кращі елементи в класах. Якщо ж експертів багато і їх індивідуальні порядки розрізняються, то можна застосувати алгоритм визначення медіани Кука-Сейфорда для метрики неспівпадання рангів [4], та у випадку рівної компетентності експертів одержати колективний порядок. Якщо є експерти різнокомпетентні, то необхідним є застосування додаткових евристичних процедур.

Здійснимо об'єктивізацію процесів прийняття рішень експертами щодо пріоритетності комплектів АРТ. Припустимо, що є відомими дані про надзвичайні ситуації (НС) за таким форматом:

$$\langle ID, D, CN, TN, TE, PG, RG, MZ, RZ, NC, RGN, RZN \rangle,$$

де ID – ідентифікатор НС, D – дата, коли трапилась НС; CN – клас НС; TN – тип НС

(наприклад, пожежа в лісі, дорожньо-транспортна пригода, пожежа в будівлі, повінь тощо);

TE – використаний EO;

PG – кількість потенційних жертв (не використовувався жоден, або певний EO);

RG – кількість реальних жертв (деякі EO могли використовуватись);

MZ – обсяг потенційних збитків;

RZ – обсяг реальних збитків;

NC – необхідний EO (EO, який був потрібен для ліквідації НС, але його в наявності не було);

RGN – кількість реальних жертв, якщо б застосовувався необхідний EO ( $RGN \leq RG \leq PG$ );

RZN – обсяг збитків, якщо б застосовувався необхідний EO.

Зауважимо, що у випадку відсутності декількох EO, записи для кожного необхідного EO за вищенаведеним форматом вносяться в базу окремо. Розглянемо задачу визначення актуальності обладнання по відношенню до кількості людських жертв. Зауважимо, що кількість реальних жертв співпадає з кількістю потенційних жертв у випадку відсутності всіх потрібних EO. Кількість реальних жертв – це кількість потенційних жертв мінус кількість врятованих з використанням наявних EO.

Таким чином, кількість врятованих визначається такою залежністю:

$$PG - RG = f(EO_1, EO_2, \dots, EO_N), \quad (5)$$

де N – кількість наявних EO. Для кожної надзвичайної ситуації можна побудувати таблицю, що містить об'єктивно-суб'єктивні дані та має таку структуру (табл. 1).

Таблиця 1 – Статистичні дані щодо врятованих і не врятованих потерпілих під час НС

	Врятовано (PG – RG)			Не врятовано (RG)			
	Завдяки використанню елементів обладнання			Могли б врятувати, використовуючи елементи обладнання		Не могли врятувати у будь-якому випадку	
	EO <sub>1</sub>	EO <sub>2</sub>	EO <sub>N</sub>	EO <sub>1</sub>	EO <sub>2</sub>	EO <sub>N</sub>	
	a <sub>11</sub>	a <sub>12</sub>	a <sub>1N</sub>	b <sub>11</sub>	b <sub>12</sub>	b <sub>1N</sub>	c <sub>1</sub>
	a <sub>21</sub>	a <sub>22</sub>	a <sub>2N</sub>	b <sub>21</sub>	b <sub>22</sub>	b <sub>2N</sub>	c <sub>2</sub>
K	a <sub>K1</sub>	a <sub>K2</sub>	a <sub>KN</sub>	b <sub>K1</sub>	b <sub>K2</sub>	b <sub>KN</sub>	c <sub>K</sub>
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>N</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>N</sub>	C

За даними табл. 1 (S – сума додатних елементів стовпчика) можна знайти загальну кількість врятованих і загиблих, кількість людей, яких вдалось врятувати завдяки використанню певного EO, та кількість людей, яких можна було б врятувати завдяки певному EO, яке на момент НС було відсутнім.

Визначимо показники:

$\eta_{11}$  – загальна кількість НС, у яких EO<sub>1</sub> застосовувався, оскільки це було потрібним;

$\eta_{21}$  – загальна кількість НС, у яких EO<sub>1</sub> не застосовувався, оскільки не було необхідності, але він був у комплекті;

$\eta_{31}$  – загальна кількість НС, у яких EO<sub>1</sub> не застосовувався, оскільки його не було у комплекті, але необхідність у його використанні була;

$\eta_{41}$  – загальна кількість НС, у яких EO<sub>1</sub> не застосовувався, оскільки його не було у комплекті і не було необхідності у використанні.

У табл. 1.

$$a_{ij} = \begin{cases} 0, & j - \text{й EO не був потрібен,} \\ -1, & j - \text{й EO був відсутній,} \\ a, & a \in N, \end{cases}$$

$$b_{ij} = \begin{cases} 0, & j - \text{й EO не був потрібен,} \\ b, & b \in N. \end{cases}$$

Тоді

$$\begin{aligned} \eta_{11} &= \sum_{i=1}^K \chi\{a_{i1} \neq 0 \& a_{i1} \neq -1\}; \\ \eta_{21} &= \sum_{i=1}^K \chi\{a_{i1} = 0\}; \\ \eta_{31} &= \sum_{i=1}^K \chi\{a_{i1} = -1 \& b_{ij} \neq 0\}; \\ \eta_{41} &= \sum_{i=1}^K \chi\{b_{ij} = 0 \& a_{i1} = -1\}, l = \overline{1, N}. \end{aligned} \quad (6)$$

Визначимо коефіцієнт актуальності EO<sub>1</sub>:

$$\lambda_l = \frac{\alpha}{N} (\eta_{11} + \eta_{31}) - \frac{\beta}{N} (\eta_{21} + \eta_{41}), l = \overline{1, N}. \quad (7)$$

Зауважимо, що

$$\lambda_l \in (-\beta, \alpha), l = \overline{1, N}.$$

Значення  $\lambda_{il}$  може бути і від'ємним, що вказує на неактуальність обладнання. Другий доданок у виразі (7) визначає функцію штрафу для EO<sub>1</sub> і опосередковано вказує на жертви (збитки) від того, що замість EO<sub>1</sub> в комплекті обладнання міг бути інший EO<sub>l</sub>, потрібний для ліквідації наслідків даної НС. Встановлення значення коефіцієнтів  $\alpha$  і  $\beta$  можливе експертним шляхом із урахуванням даних табл. 1.

Позначимо

$$Q = \sum_{j=1}^N a_{ij} \chi\{a_{ij} \neq -1\},$$

$$W = \sum_{j=1}^N b_{ij} \chi \{b_{ij} \neq a_{ij} \& b_{ij} > 0\}.$$

Тоді коефіцієнт актуальності комплекту АРТ для і-ої НС визначається так:

$$\eta_i = \frac{Q}{W + Q + c_i}, \forall i \in \overline{1, K}.$$

Значення коефіцієнта актуальності обладнання належить відрізу [0,1]. Випадок, коли  $\eta_i = 0$ , означає, що в результаті НС всі потенційні жертви стали реальними. Якщо ж  $\eta_i = 1$ , то всі потенційні жертви були врятовані. Загальний коефіцієнт актуальності -го комплекту АРТ для всіх аварій розраховується як середнє значення коефіцієнта актуальності комплекту АРТ для усіх НС.

### Обговорення результатів

Вихідні дані для експериментальних розрахунків наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Вихідні статистичні дані щодо жертв під час НС

	Врятовано, осіб					Могли б врятувати, осіб					Z
	e1	e2	e3	e4	e5	e1	e2	e3	e4	e5	
1	0	2	-1	-1	1	0	2	0	1	1	2
2	5	0	0	-1	1	5	0	0	2	1	1
3	3	0	-1	2	1	3	0	1	2	1	1
4	-1	-1	0	1	2	2	3	0	1	2	1
5	1	-1	-1	0	1	1	1	3	0	1	3
S	9	2	0	3	6	11	6	4	6	6	8

Розрахуємо показники  $\eta_{ij}$ :

$$\begin{aligned} \eta_{11} &= 3, \eta_{12} = 1, \eta_{13} = 0, \eta_{14} = 2, \eta_{15} = 5; \\ \eta_{21} &= 1, \eta_{22} = 2, \eta_{23} = 2, \eta_{24} = 1, \eta_{25} = 0; \\ \eta_{31} &= 1, \eta_{32} = 2, \eta_{33} = 2, \eta_{34} = 2, \eta_{35} = 0; \\ \eta_{41} &= 0, \eta_{42} = 0, \eta_{43} = 1, \eta_{44} = 0, \eta_{45} = 0. \end{aligned}$$

Визначимо коефіцієнти актуальності елементів обладнання, припускаючи, що коефіцієнти  $\alpha = \beta = 0,5$ .

Одержимо:

$$\lambda_1 = 0,15; \lambda_2 = 0,1; \lambda_3 = -0,1; \lambda_4 = 0,1; \lambda_5 = 0,5$$

Одразу ж можна зробити висновок про найбільшу актуальність (максимально можливу) п'ятого елемента обладнання та низьку актуальність третього елемента. За актуальністю комплекти обладнання можна впорядкувати таким чином:

$$e3 < e2 = e4 < t1 < t5.$$

По відношенню до кожної НС розрахуємо коефіцієнти актуальності наявного комплекту АРО:

$$\eta_1 = 0,5, \eta_2 = 0,33, \eta_3 = 0,75, \eta_4 = 0,33, \eta_5 = 0,22.$$

Таким чином, аварійно-рятувальний підрозділ був найкраще забезпечений аварійно-рятувальною технікою, рятуючи людей при третій НС, найгірше – при п'ятій НС.

### Висновки

При комплектуванні аварійно-рятувальної техніки традиційно враховувались внутрішні характеристики обладнання: ціна, надійність та потужність. Водночас, чи не найважливішим фактором є те, до яких позитивних наслідків привела її наявність при ліквідації надзвичайних ситуацій – зменшення кількості людських жертв чи обсягу матеріальних збитків. У статті запропоновано ввести критерій актуальності до множини інших критеріїв оптимальності аварійно-рятувального обладнання. Такий критерій дозволить надати пріоритету тому чи іншому складу обладнання. Його використання, як одного із критеріїв, є можливим із застосуванням відомих методів зведення багатокритеріальної задачі оптимізації до однокритеріальної, розв'язання її з використанням методів обчислювального інтелекту [12] та сприятиме об'єктивізації процесу прийняття рішень щодо комплектування аварійно-рятувальної техніки.

### Список літератури

1. Крышталь В. Н., Снитюк В. Е. Проблема комплектования аварийно-спасательной техники и технологии ее решения. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2014. № 3. Т. 6. С. 35–40. doi: 10.15587/1729-4061.2014.33647.
2. Зайченко О. Ю., Зайченко Ю. П. *Дослідження операцій*. Київ: Видавничий дім «Слово», 2009. 472 с.
3. Нужнов Е. В., Барлит А. В. Трехмерная упаковка на основе эвристических процедур. *Известия ТРТУ*. № 3, 2002. С. 95–101.
4. Gallo G., Hammer P. L., Simeone B. Quadratic knapsack problems. *Mathematical Programming Studies*. Vol. 12, 2009. P. 132–149.
5. Лавров С. А. [и др.] *Математические методы исследования операций*. Суми: СДУ, 2017. 212 с.
6. Ларін О. М., Грицина І. М., Васильев С. В., Кривошей Б. І. *Пожезна та аварійно-рятувальна техніка: (Історія, сьогодення, майбутнє)*. Харків, 2005. 160 с.
7. Кодекс цивільного захисту України № 5403-VI від 2.10.2012 р. із змінами і доповненнями, внесеними законами України.
8. Волошин О. Ф., Гнатієнко Г. М., Кудін В. І. *Послідовний аналіз варіантів: Технології та застосування: Монографія*. Київ, 2013. 304 с.
9. Saaty T., Peniwati K. *Group Decision Making: Drawing out and Reconciling Differences*. Pittsburgh, 2008.

10. Снитюк В. Є., Гнатієнко Г. М. Оптимізація процесу оцінювання в умовах невизначеності на основі структуризації предметної області та аксіому незміщеності. *Штучний інтелект*. 2008. № 3. С. 217–223.
11. Куваева В. И., Болтенков В. А., Позняк А. В. Предварительная обработка экспертной информации при формировании агрегированной консенсусной ранговой оценки. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*. Т. 29 (68). Ч.1, Т 1, 2018. С. 155–162.
12. Згуровский М. З., Зайченко Ю. П. *Основы вычислительного интеллекта*. Київ, 2013. 407 с.
6. Larin O. M., Hrytsyna I. M., Vasyl'ev S. V., Kryvoshey B. I. *Pozhezhna ta avariyno-ryatuvna tekhnika: (Istoriya, s'ohodennya, maybutnye)* [Fire and rescue equipment: (History, present, future)]. Kharkiv, 2005, 160 p.
7. Kodeks tsyvil'noho zakhystu Ukrainy no. 5403-VI of 2.10.2012 iz zminamy i dopovnennyamy, vnesenymy zakonamy Ukrainy [Code of Civil Protection of Ukraine No. 5403-VI of 2.10.2012, as amended by the laws of Ukraine]
8. Voloshyn O. F., Hnatiyenko H. M., Kudin V. I. *Posdilovnyy analiz variantiv: Tekhnolohiyi ta zastosuvannya: Monohrafiya* [Sequential analysis of options: Technologies and applications: Monograph]. Kyiv, 2013. 304 p.
9. Saaty T., Peniwati K. *Group Detsision Making: Drawing out and Retsoetsiling Differentses*. Pittsburgh, 2008.
10. Snytyuk V. Ye., Hnatiyenko H. M. Optymizatsiya protsesu otsinyuvannya v umovakh nevyznachenosti na osnovi strukturyzatsiyi predmetnoyi oblasti ta aksiomy nezmyshchenosti [Optimization of the evaluation process in conditions of uncertainty based on the structuring of the subject area and the axiom of immutability]. *Shtuchnyy intelekt*, 2008, no. 3, pp. 217–223.

#### References (transliterated)

1. Kryshstal' V. N., Snytyuk V. E. Problema komplektovannya avariyno-spasatel'noy tekhniky u tekhnolohyy ee reshenyya [The problem of manning rescue equipment and technology for its solution]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Kharkiv, 2014, no. 3, Vol. 6, pp. 35–40, doi: 10.15587/1729-4061.2014.33647.
2. Zaychenko O. Yu., Zaychenko Yu. P. *Doslidzhennya operatsiy* [Operations Research]. Kyiv, 2009, 472 p.
3. Nuzhnov E. V., Barlyt A. V. *Trekhmernaya upakovka na osnove evrystycheskykh protsedur* [Three-dimensional packaging based on heuristic procedures]. *Yzvestiya TRTU*, no. 3, 2002, pp. 95–101.
4. Gallo G., Hammer P. L., Simeone B. Quadratis knapsack problems. *Mathematitsal Programming Studies*, Vol. 12, 2009, pp. 132–149.
5. Lavrov Ye. A. [et al]. *Matematycheskiye metody yssledovannya operatsyy* [Mathematical Methods for Operations Research]. Sumy: SDU, 2017, 212 p.
11. Kuvaeva V. Y., Boltenev V. A., Poznyak A. V. Predvartel'naya obrabotka ekspertnoy ynformatsyy pry formirovaniy ahrehyrovannoy konsensusnoy ranhovoy otsenky [Pre-processing of expert information in the formation of an aggregated consensus rank assessment]. *Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernads'koho. Seriya: tekhnichni nauky*. Vol. 29 (68), P.1, Vol. 1, 2018, pp. 155–162.
12. Zghurovskiy M. Z., Zaichenko Yu. P. *Osnovy vychyslytelnoho intellekta* [Fundamentals of Computational Intelligence]. Kyiv, 2013. 407 p.

#### Відомості про авторів (About the Authors)

**Кришталь Василь Миколайович** – Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, старший викладач кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт; м. Черкаси, Україна; ORCID: 0000-0002-1430-7404; e-mail: kryshstal.v@ukr.net.

**Vasyl Kryshstal** – Senior Lecturer at the Department of Fire Tactics and Emergency Rescue, Cherkasy Institute of Fire Safety named after the Heroes of Chernobyl of the National University of Civil Defense of Ukraine, Cherkasy, Ukraine; ORCID: 0000-0002-1430-7404; e-mail: kryshstal.v@ukr.net.

**Снитюк Віталій Євгенович** – доктор технічних наук, професор, декан факультету інформаційних технологій, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна, ORCID: 0000-0002-9954-8767; e-mail: snytyuk@gmail.com.

**Vitaliy Snytyuk** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of Information Technologies Faculty, Taras Shevchenko Kyiv National University, Kyiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-9954-8767; e-mail: snytyuk@gmail.com.

**Федоренко Дмитро Сергійович** – кандидат історичних наук, Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, доцент кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт; м. Черкаси, Україна; ORCID : 0000-0002-2069-7760; e-mail: dsfedorenko@ukr.net

**Dmytro Fedorenko** – Candidate of Historical Sciences, associate Professor at the Department of Fire Tactics and Emergency Rescue, Cherkasy Institute of Fire Safety named after the Heroes of Chernobyl of the National University of Civil Defense of Ukraine, Cherkasy, Ukraine; ORCID: 0000-0002-2069-7760; e-mail: dsfedorenko@ukr.net

*Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:*

Кришталь В. М., Снитюк В. Є., Федоренко Д. С. Критерій актуальності обладнання при розв'язанні задачі комплектування аварійно-рятувальної техніки в умовах невизначеності. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2021. № 2 (8). С. 70-76. doi: 10.20998/2413-4295.2021.02.10.

*Please cite this article as:*

Kryshstal V., Snytyuk V., Fedorenko D. Criteria of actuality of equipment in solving of the problem of completing of emergency and rescue equipment in the conditions of uncertainty. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2021, no. 2 (8), pp. 70-76, doi:10.20998/2413-4295.2021.02.10.

*Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:*

Крышталь В. Н., Снитюк В. Е., Федоренко Д. С. Критерий актуальности оборудования при решении задачи комплектования аварийно-спасательной техники в условиях неопределенности. *Вестник Национального технического университета «ХПИ».* Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2021. № 2 (8). С. 70-76. doi:10.20998/2413-4295.2021.02.10.

**АННОТАЦИЯ** Выполнен анализ проблемы комплектования аварийно-спасательной техники, который показал такие ее особенности как существующую ограниченность финансовых ресурсов, значительный рост мощности элементной базы, принятие решений исключительно на основе опыта и интуиции ответственных лиц. Показано, что предлагаемые ранее решения базировались на учете стоимости оборудования, его надежности, функциональности и мощности, одновременно без внимания оставался аспект его применимости или актуальности. Учитывая значительное количество потенциальных элементов оборудования, которые могут входить в комплект, предложено ограничения, которые позволят сократить количество возможных вариантов на основе метода последовательного анализа вариантов. Предложено определять приоритетность элементов оборудования определенного класса с использованием метода анализа иерархий на основе установления приоритетности критериев и процедур определения компетентности экспертов. Поскольку задача комплектования является многокритериальной, то в качестве критерия определения оптимального комплекта предложено включить критерий актуальности. Построены модели показателей актуальности оборудования, а также определен коэффициент актуальности элемента оборудования и разработана модель для определения коэффициента актуальности комплекта аварийно-спасательного оборудования для определенной чрезвычайной ситуации. Предложено рассчитывать общий коэффициент актуальности комплекта оборудования для всех чрезвычайных ситуаций как усредненное значение коэффициента актуальности комплекта для каждой чрезвычайной ситуации при условии их равнозначности, или как взвешенное значение в противном случае. Проведенное численное моделирование на основе разработанного алгоритма позволило сделать выводы об актуальности и, как следствие, о приоритетности элементов оборудования, а также оценить степень обеспеченности аварийно-спасательного подразделения аварийно-спасательным оборудованием при различных чрезвычайных ситуациях.

**Ключевые слова:** чрезвычайные ситуации; аварийно-спасательное оборудование; комплектация; критерий актуальности; модель для определения коэффициента актуальности комплекта аварийно-спасательного оборудования; приоритетность элементов оборудования

Надійшла (received) 29.03.2021