

Kovalev Alexander – Doctor of Engineering, Donetsk National Technical University, Professor of "Electrical supply of industrial enterprises and cities"; st. Artem, 58, Donetsk, Ukraine, 83000; tel.: 095-003-57-47; e-mail: Kovalev_Alex@gmail.com.

Москвіна Ірина Ігорівна – кандидат технічних наук, Бердянський державний педагогічний університет, доцент кафедри "Методики викладання фізико-математичних дисциплін та інформаційних технологій у навчанні"; вул. Шмідта 4, м. Бердянськ, Україна; тел.: 095-003-57-47; e-mail: iriwka-gt@inbox.ru.

Москвіна Ірина Ігорівна – кандидат технических наук, Бердянский государственный педагогический университет, доцент кафедры "Методики преподавания физико-математических дисциплин и информационных технологий в образовании"; ул. Шмидта 4, г. Бердянск, Украина; тел.: 095-003-57-47;

Moskvina Irina – Ph.D., Berdyansk State Pedagogical University, Associate Professor of "Teaching methods of physical and mathematical sciences and information technologies in education"; st. Schmidt 4, m. Berdyansk, Ukraine; tel.: 095-003-57-47; e-mail: iriwka-gt@inbox.ru.

УДК 004.89:614.841.4

В. М. КРИШТАЛЬ, А. В. СЕРГЄЄВ, В. Є. СНИТЮК

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРІАНТУ КОМПЛЕКТАЦІЇ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКИХ ВИСНОВКІВ

Виконано аналіз аспектів розв'язання задачі комплектування аварійно-рятувальної техніки. Розроблено метод визначення оптимального варіанту комплектування як елемента технології проведення нечіткої багатокритеріальної оптимізації з використанням методу аналізу ієрархій та побудови функцій належності на основі попарних порівнянь пріоритетності цільових функцій. Визначено обмеження на процес і розв'язок задачі, що дозволяють на етапі попереднього аналізу відсіяти неперспективні альтернативи, а також розглянуто можливості застосування інших еволюційних технологій. Наведено приклад експериментального розрахунку варіанту комплектування аварійно-рятувальної техніки.

Ключові слова: аварійно-рятувальна техніка, комплектування, нечіткі висновки, аналіз ієрархій, функція належності.

Вступ. До особливостей сучасного світу належать безперервні природні катаклізми. Це цунами та урагани, землетруси і тайфуни, посухи, повені та пожежі. Такі природні явища супроводжуються техногенними, екологічними катастрофами, які обумовлені ще і зростанням промислового виробництва, а також загрозами, що виходять від окремих суб'єктів, або викликані іншими, можливо випадковими факторами. У розвинених країнах світу створені спеціальні служби, які надають допомогу людям, постраждалим у вищевказаних ситуаціях. В Україні такі функції покладені на підрозділи Державної служби з надзвичайних ситуацій. Певний універсалізм функцій, що виконують його співробітники, є причиною існування проблеми забезпечення та комплектування таких підрозділів технічними засобами. У більшості випадків їх носієм є пожежний або спеціальний автомобіль і у цьому випадку існує протиріччя між необхідністю забезпечення універсальності аварійно-рятувальної техніки (АРТ) і обмеженістю його носія. Необхідно розв'язувати задачу оптимального комплектування АРТ.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Така задача має спільні особливості з відомими задачами, зокрема, із задачею про упаковку в контейнери за вагою або за вартістю [1] і задачею про ранець [2]. Відомими методами їх розв'язання є динамічне програмування [3], метод гілок і границь [4], метод повного перебору [5], генетичні алгоритми [6], алгоритми мурашиної колонії [7], «жадібні» алгоритми [8] тощо.

Особливостями таких задач і відповідних методів їх розв'язання є чітко задані параметри об'єктів і одно- або двокритеріальність. На відміну від них задача комплектування АРТ є багатокритеріальною задачею з нечітко заданими перевагами на множині ці-

льових функцій. Крім того, вона є певним аналогом задачі упаковки в контейнери, тобто тривимірною. При цьому кількість контейнерів вважається заданою, а кількість елементів АРТ є змінною. Вирішення проблеми комплектування АРТ та розробка методики визначення оптимальної альтернативи комплектування становить важливу науково-технічну проблему.

Ціль та задачі дослідження. Метою дослідження є визначення оптимального варіанту комплектування аварійно-рятувальної техніки на основі нечітких експертних висновків.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні задачі:

1. Виконати формалізацію задачі комплектування аварійно-рятувальної техніки як задачі багатокритеріальної оптимізації подібної до задачі тривимірної упаковки в контейнери з декількома цільовими функціями.

2. Розробити метод визначення оптимального варіанту комплектування АРТ на основі висновків багатьох експертів, методу аналізу ієрархій та елементів теорії нечітких множин.

Постановка задачі комплектування АРТ виконана раніше в [9]. Наведемо її основні елементи. Нехай множина $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ представляє номенклатуру АРТ. Кожен елемент множини X належить до одного із класів множини $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$, де $k \ll n$. Припустимо, що в комплект має входити об'єднання для кожного із $\{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ класів, $m < k$, тобто необхідно вибрати по одному елементу із множин $\{X_{i_1}^1, X_{i_2}^1, \dots, X_{i_m}^1\} \subset C_1, \dots, \{X_{i_1}^m, X_{i_2}^m, \dots, X_{i_m}^m\} \subset C_m$. Кожному елементу множини X поставимо у відповідність сукупність значень

$X_q \rightarrow \langle F_{1q}, F_{2q}, \dots, F_{pq}, a_q, b_q, c_q \rangle$, де F_{iq} – значення i -го критерію оцінки q -го елемента, $i = \overline{1, p}$, a_q, b_q, c_q – його габаритні розміри, $q = \overline{1, n}$.

Припустимо, що один комплект АРТ K_i містить елементи множини X , тобто $K_i \subset X$. При цьому можуть існувати такі комплекти, кількість елементів у яких не співпадає, тобто $\exists i, j, i \neq j: |K_i| \neq |K_j|$. І ще одна вимога, яка не є обов'язковою, але виконання якої є доцільним: в один комплект АРТ не входять два і більше елементів із одного класу, тобто не існує таких $j, q, p: (X_{jq} \in K_i) \& (X_{jp} \in K_i)$.

Не обмежуючи загальності, припустимо, що контейнер один, і він має форму прямокутного паралелепіпеда з габаритними розмірами a, b, c . Виключимо із розгляду ті можливі розв'язки, які не задовольняють одній чи декільком умовам.

Очевидними є такі обмеження:

- $\sum_i (a_i \cdot b_i \cdot c_i) \leq a \cdot b \cdot c$, тобто сумарний об'єм елементів комплексу не повинен перевищувати загальний об'єм контейнера.

2. $\forall i \max\{a_i, b_i, c_i\} < \max\{a, b, c\}$, яке вказує на те, що якщо хоча б один елемент має хоча б один габаритний розмір, який перевищує найбільший габаритний розмір контейнера, то такий комплект виключається.

Критеріями, що визначають вибір того чи іншого комплексу АРТ, є F_1 – функціональність, F_2 – потужність, F_3 – надійність, F_4 – ціна. Одержуємо задачу багатокритеріальної оптимізації: знайти комплект АРТ, який відповідає розв'язанню задачі

$$F_1 \rightarrow \max, F_2 \rightarrow \max, F_3 \rightarrow \max, F_4 \rightarrow \min, \quad (1)$$

при вищевказаних обмеженнях. Її розв'язанню передують визначення вагових коефіцієнтів критеріальних функцій.

Розв'язання задачі комплектування аварійно-рятувальної техніки з використанням нечітких експертних припущень. Задача комплектування АРТ може бути розв'язаною з використанням методу аналізу ієрархій Сааті, оскільки необхідно здійснити як порівняння важливості критеріїв оцінювання комплектів АРТ, так і порівняння самих комплектів. Будемо використовувати шкалу порівнянь, запропоновану Томасом Сааті [10]. Значення елементів матриці парних порівнянь будуть такими:

- 1, якщо об'єкт А і об'єкт В рівноважливі;
- 3, якщо об'єкт А помірно перевершує об'єкт В;
- 5, якщо об'єкт А має істотну перевагу над об'єктом В;
- 7, якщо об'єкт А значно перевершує об'єкт В;
- 9, якщо об'єкт А має сильну перевагу над об'єктом В;
- 2, 4, 6, 8 – відповідають проміжним твердженням про важливість.

Якщо при порівнянні А і В маємо одне з вищевказаних чисел, то при порівнянні В з А отримаємо обернену величину. Визначимо пріоритети критеріальних функцій. Для цього виберемо експертів, які, ви-

користовуючи шкалу, запропоновану Т. Сааті, здійснюють їх порівняння. Отримаємо матриці

$$G_i = \begin{pmatrix} 1 & g_{12}^i & g_{13}^i & g_{14}^i \\ 1/g_{12}^i & 1 & g_{23}^i & g_{24}^i \\ 1/g_{13}^i & 1/g_{23}^i & 1 & g_{34}^i \\ 1/g_{14}^i & 1/g_{24}^i & 1/g_{34}^i & 1 \end{pmatrix}, i = \overline{1, m}. \quad (2)$$

Припустимо, що компетентність w_i кожного із експертів відома (якщо це не так, то компетентність можна визначити, використовуючи метод, запропонований в [11]) і $\sum_{i=1}^m w_i = 1$. Компетентність експертів ви-

значають, виходячи із початкових даних. Так, компетентність експертів може бути визначена в умовах повної невизначеності особи, що приймає рішення; компетентність певного експерта є середнім арифметичним його самооцінки та оцінок інших експертів; компетентність є середнім оцінки особи, що приймає рішення, з вагою 0,5 та оцінок інших експертів тощо.

Очевидно, що висновки експерта при розв'язанні задачі порівняння альтернатив часто будуть неузгодженими. Для реалізації можливості врахування цього фактора для кожної матриці $G_i, i = \overline{1, m}$, обчислюємо індекс узгодженості, який дорівнює абсолютній величині відхилення розмірності матриці G_i та її максимального власного числа, тобто $\delta_i = |4 - q_i|, i = \overline{1, m}$. Менше значення δ_i відповідає кращій узгодженості порівнянь експерта. Якщо δ_i досить велике, то матрицю, яка відповідає висновкам такого експерта, необхідно виключити із розгляду або виконати певні уточнюючі процедури.

На наступному кроці здійснюємо додавання елементів матриць $G_i, i = \overline{1, m}$, що знаходяться над головною діагоналлю, з відповідними ваговими коефіцієнтами. Інші елементи результуючої матриці G знайдемо як обернені величини до вже обчислених елементів. Сформувавши матрицю G , визначимо пріоритети критеріальних функцій [10]:

$$p_i = \frac{(\prod_{j=1}^4 g_{ij})^{\frac{1}{4}}}{\sum_{i=1}^4 (\prod_{j=1}^4 g_{ij})^{\frac{1}{4}}}, i = \overline{1, 4}. \quad (3)$$

Таким чином, ми встановили важливість критеріальних функцій при визначенні того чи іншого варіанту комплектування АРТ.

На наступному кроці необхідно оцінити варіанти комплектування АРТ по кожному з критеріїв $F_i, i = \overline{1, 4}$. Припустимо, що після проведення попереднього аналізу і перевірки виконання обмежень залишилось p можливих варіантів. Аналогічно попередньому кроку необхідно одержати чотири матриці Q_i , елементи кожної з яких містять значення парних порівнянь варіантів комплектування за критеріями $F_i, i = \overline{1, 4}$. Отримати матриці можна двома способами. У першому з них елементи матриці визначають традиційно, виходячи з висновків експертів для всіх пар

варіантів. Оскільки кількість таких варіантів навіть у найбільш малорозмірних завданнях досить велика, то матриця попарних порівнянь буде погано узгодженою та її аналіз і застосування в подальших розрахунках стає проблематичним. Рациональним представляється використовувати інший відомий спосіб отримання матриць $Q_i, i = \overline{1,4}$. Для цього необхідно визначити тільки значення попарних порівнянь для одного варіанта комплектування АРТ, наприклад, для першого. Всі інші елементи матриць розраховуються за формулою $q_{kl} = \frac{q_{1l}}{q_{1k}}, k, l = \overline{1, p}$. Отримаємо такі матриці:

$$Q_i = \begin{pmatrix} 1 & q_{12}^i & q_{13}^i & \dots & q_{1p}^i \\ 1/q_{12}^i & 1 & q_{13}^i/q_{12}^i & \dots & q_{1p}^i/q_{12}^i \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/q_{1p}^i & q_{12}^i/q_{1p}^i & q_{13}^i/q_{1p}^i & \dots & 1 \end{pmatrix}, i = \overline{1,4}. \quad (4)$$

Матриці $Q_i, i = \overline{1,4}$, вже є добре узгодженими. Далі обчислюємо міри належності кожного з варіантів комплектування відповідним нечітким множинам (що визначаються критеріальними функціями):

$$\mu(K_j) = \frac{1}{wk_{1j} + wk_{2j} + \dots + wk_{pj}}, j = \overline{1, p}, \quad (5)$$

де wk_{lj} – елементи матриць $Q_i, i = \overline{1,4}$. Таким чином, одержимо нечіткі множини

$$F_i = \left\{ \frac{\mu_{F_i}(K_1)}{K_1}; \frac{\mu_{F_i}(K_2)}{K_2}; \dots; \frac{\mu_{F_i}(K_p)}{K_p} \right\}, \quad (6)$$

або

$$F_i = \left\{ \frac{1/(1 + \sum_{j=1}^p \frac{1}{q_{1j}^i})}{K_1}; \frac{1/(1 + q_{12}^i + \sum_{j=3}^p \frac{q_{1j}^i}{q_{12}^i})}{K_2}; \dots; \frac{1/(1 + q_{1p}^i + \sum_{j=2}^{p-1} \frac{q_{1j}^i}{q_{1p}^i})}{K_p} \right\}, i = \overline{1,4}. \quad (7)$$

Значення, що знаходяться в чисельнику, вказують на те, наскільки функціональні, потужні, надійні та прийнятні за ціною є варіанти комплектування (в знаменнику).

Враховуючи, що найкращим є той варіант, який одночасно найкращий за усіма критеріями, нечіткий розв'язок F знаходимо як перетин критеріїв F_i :

$$F = F_1 \cap F_2 \cap F_3 \cap F_4 = \left\{ \frac{\min_{i=1,4} \mu_{F_i}(K_1)}{K_1}; \frac{\min_{i=1,4} \mu_{F_i}(K_2)}{K_2}; \dots; \frac{\min_{i=1,4} \mu_{F_i}(K_p)}{K_p} \right\}. \quad (8)$$

Найкращим варіантом є той, який є розв'язком задачі пошуку

$$\arg \max_{j=1, p} \min_{i=1,4} \mu_{F_i}(K_j). \quad (9)$$

Якщо враховувати важливість критеріальних функцій, то підхід до визначення оптимального варіанта комплектування залишається незмінним, а вираз (7) перепишемо таким чином:

$$F_i = \left\{ \frac{(1/(1 + \sum_{j=1}^p \frac{1}{q_{1j}^i}))^{\beta_i}}{K_1}; \frac{(1/(1 + q_{12}^i + \sum_{j=3}^p \frac{q_{1j}^i}{q_{12}^i}))^{\beta_i}}{K_2}; \dots; \frac{(1/(1 + q_{1p}^i + \sum_{j=2}^{p-1} \frac{q_{1j}^i}{q_{1p}^i}))^{\beta_i}}{K_p} \right\}, i = \overline{1,4}. \quad (10)$$

Розв'язок задачі (9) визначає оптимальний варіант комплектування і дозволяє враховувати міру оптимальності його вибору, виходячи із значення відповідної функції належності.

Експериментальна верифікація методу комплектування АРТ на основі експертних висновків. Припустимо, що необхідно вибрати один з шести варіантів комплектування АРТ, виходячи із висновків шести експертів. На першому етапі здійснимо попарне порівняння критеріальних функцій. Одержимо такі матриці:

$$G_1 = \begin{pmatrix} 1 & 7 & 5 & 7 \\ 0,14 & 1 & 1 & 5 \\ 0,2 & 1 & 1 & 7 \\ 0,14 & 0,2 & 0,14 & 1 \end{pmatrix}; G_2 = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 1 & 7 \\ 0,2 & 1 & 3 & 7 \\ 1 & 0,33 & 1 & 7 \\ 0,14 & 0,14 & 0,14 & 1 \end{pmatrix};$$

$$G_3 = \begin{pmatrix} 1 & 9 & 9 & 5 \\ 0,11 & 1 & 5 & 9 \\ 0,11 & 0,2 & 1 & 9 \\ 0,2 & 0,1 & 0,1 & 1 \end{pmatrix}; G_4 = \begin{pmatrix} 1 & 9 & 5 & 7 \\ 0,1 & 1 & 5 & 7 \\ 0,2 & 0,2 & 1 & 9 \\ 0,14 & 0,14 & 0,1 & 1 \end{pmatrix};$$

$$G_5 = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 1 & 5 \\ 0,3 & 1 & 1 & 1 \\ 0,2 & 0,2 & 1 & 9 \\ 0,14 & 0,14 & 0,1 & 1 \end{pmatrix}; G_6 = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 7 & 1 \\ 0,2 & 1 & 9 & 5 \\ 0,14 & 0,1 & 1 & 9 \\ 1 & 0,2 & 0,1 & 1 \end{pmatrix}.$$

Компетентності експертів визначені особою, що приймає рішення, і вони є такими:

$$\gamma_1 = 0,34; \gamma_2 = 0,24; \gamma_3 = 0,2;$$

$$\gamma_4 = 0,14; \gamma_5 = 0,05; \gamma_6 = 0,03.$$

Максимальні власні числа матриць $G_i, i = \overline{1,6}$ такі:

$$\lambda_1 = 4,35; \lambda_2 = 4,77; \lambda_3 = 5,45;$$

$$\lambda_4 = 5,13; \lambda_5 = 4,26; \lambda_6 = 6,99.$$

Таким чином, індекси узгодженості дорівнюють

$$\delta_1 = 0,35; \delta_2 = 0,77; \delta_3 = 1,45;$$

$$\delta_4 = 1,13; \delta_5 = 0,26; \delta_6 = 2,99.$$

Найкращим чином узгоджені висновки першого і п'ятого експертів, висновки шостого експерта потрібно коригувати.

Додаючи матриці $G_i, i = \overline{1,6}$ за описаною вище процедурою, одержимо матрицю

$$G = \begin{pmatrix} 1 & 6,94 & 4,7 & 6,32 \\ 0,14 & 1 & 3,08 & 6,36 \\ 0,21 & 0,32 & 1 & 7,64 \\ 0,15 & 0,15 & 0,13 & 1 \end{pmatrix}.$$

Використовуючи (3), розрахуємо пріоритети критеріальних функцій:

$$p_1 = 0,61; p_2 = 0,21; p_3 = 0,14; p_4 = 0,04.$$

Обчислимо значення матриць $Q_i, i = \overline{1,4}$:

$$Q_1 = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 2 & 0,9 & 0,33 & 0,7 \\ 0,33 & 1 & 0,67 & 0,3 & 0,11 & 0,23 \\ 0,5 & 1,5 & 1 & 0,45 & 0,17 & 0,35 \\ 1,11 & 3,33 & 2,22 & 1 & 0,37 & 0,78 \\ 3 & 9 & 6 & 2,7 & 1 & 2,1 \\ 1,43 & 4,29 & 2,86 & 1,29 & 0,48 & 1 \end{pmatrix},$$

$$Q_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0,5 & 4 & 3 & 0,7 & 0,5 \\ 2 & 1 & 8 & 6 & 1,4 & 1 \\ 0,25 & 0,13 & 1 & 0,75 & 0,18 & 0,13 \\ 0,33 & 0,17 & 1,33 & 1 & 0,23 & 0,17 \\ 1,43 & 0,71 & 5,71 & 4,29 & 1 & 0,71 \\ 2 & 1 & 8 & 6 & 1,4 & 1 \end{pmatrix},$$

$$Q_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0,4 & 0,5 & 2 & 0,8 & 3 \\ 2,5 & 1 & 1,25 & 5 & 2 & 7,5 \\ 2 & 0,8 & 1 & 4 & 1,6 & 6 \\ 0,5 & 0,2 & 0,25 & 1 & 0,4 & 1,5 \\ 1,25 & 0,5 & 0,63 & 2,5 & 1 & 3,75 \\ 0,33 & 0,13 & 0,17 & 0,67 & 0,27 & 1 \end{pmatrix},$$

$$Q_4 = \begin{pmatrix} 1 & 6 & 4 & 0,9 & 4 & 0,8 \\ 0,17 & 1 & 0,67 & 0,15 & 0,67 & 0,13 \\ 0,25 & 1,5 & 1 & 0,23 & 1 & 0,2 \\ 1,11 & 6,67 & 4,44 & 1 & 4,44 & 0,89 \\ 0,25 & 1,5 & 1 & 0,23 & 1 & 0,2 \\ 1,25 & 7,5 & 5 & 1,13 & 5 & 1 \end{pmatrix}.$$

Знаходимо міру належності кожного із варіантів комплектування відповідним нечітким множинам:

$$F_1 = \left\{ \frac{0,12}{K_1}; \frac{0,38}{K_2}; \frac{0,25}{K_3}; \frac{0,11}{K_4}; \frac{0,04}{K_5}; \frac{0,09}{K_6} \right\},$$

$$F_2 = \left\{ \frac{0,10}{K_1}; \frac{0,05}{K_2}; \frac{0,41}{K_3}; \frac{0,31}{K_4}; \frac{0,07}{K_5}; \frac{0,05}{K_6} \right\},$$

$$F_3 = \left\{ \frac{0,13}{K_1}; \frac{0,05}{K_2}; \frac{0,06}{K_3}; \frac{0,26}{K_4}; \frac{0,10}{K_5}; \frac{0,39}{K_6} \right\},$$

$$F_4 = \left\{ \frac{0,05}{K_1}; \frac{0,36}{K_2}; \frac{0,24}{K_3}; \frac{0,05}{K_4}; \frac{0,24}{K_5}; \frac{0,05}{K_6} \right\}.$$

Нечіткий розв'язок знаходимо як перетин критеріїв $F_i, i = \overline{1,4}$:

$$F = \left\{ \frac{0,05}{K_1}; \frac{0,05}{K_2}; \frac{0,06}{K_3}; \frac{0,05}{K_4}; \frac{0,04}{K_5}; \frac{0,05}{K_6} \right\}.$$

Враховуючи значущість критеріальних функцій, уточнимо одержані результати:

$$F_1 = \left\{ \frac{0,28}{K_1}; \frac{0,55}{K_2}; \frac{0,43}{K_3}; \frac{0,26}{K_4}; \frac{0,14}{K_5}; \frac{0,22}{K_6} \right\},$$

$$F_2 = \left\{ \frac{0,62}{K_1}; \frac{0,54}{K_2}; \frac{0,83}{K_3}; \frac{0,78}{K_4}; \frac{0,58}{K_5}; \frac{0,53}{K_6} \right\},$$

$$F_3 = \left\{ \frac{0,75}{K_1}; \frac{0,66}{K_2}; \frac{0,68}{K_3}; \frac{0,82}{K_4}; \frac{0,72}{K_5}; \frac{0,87}{K_6} \right\},$$

$$F_4 = \left\{ \frac{0,89}{K_1}; \frac{0,95}{K_2}; \frac{0,94}{K_3}; \frac{0,88}{K_4}; \frac{0,94}{K_5}; \frac{0,88}{K_6} \right\}.$$

Тоді, виходячи із (8), одержимо нечіткий розв'язок

$$F = \left\{ \frac{0,28}{K_1}; \frac{0,54}{K_2}; \frac{0,43}{K_3}; \frac{0,26}{K_4}; \frac{0,14}{K_5}; \frac{0,22}{K_6} \right\}.$$

Розв'язком задачі (9) буде варіант комплектування АРТ K_2 , який відповідає максимальному значенню функції належності.

Висновки. Запропонований метод комплектування АРТ є лише одним можливим елементом технології прийняття рішень, що базується на використанні теорії нечітких множин, яка є однією із складових відомої парадигми «Soft Computing». Незважаючи на те, що не всі її положення мають строгі доведення, їх застосування доцільне при розв'язанні задач, пов'язаних із необхідністю врахування експертних висновків. Такою задачею і є комплектування АРТ. Розглядаючи її як задачу багатокритеріальної оптимізації, важливо звертати увагу на значущість критеріальних функцій, оскільки її врахування прямо впливає на вибір розв'язку – варіанта комплектування.

До важливих аспектів, які необхідно брати до уваги при розв'язанні задачі, відноситься наявність змінної кількості елементів у кожному варіанті комплектації. Така обставина вимагає формального визначення критеріальних функцій, оскільки для різного типу обладнання поняття і одиниці вимірювання функціональності та потужності є різними. Експертам має бути доступні дані про порівняльні характеристики елементів АРТ одного класу, а також передбачена можливість приведення різнорідних показників до однієї шкали.

Запропонований метод, окрім переваг, має і певні недоліки. Так, він орієнтований на певну кількість варіантів комплектування, яка не може змінитися в процесі аналізу, і отримані результати не можуть бути використані для оцінки нового варіанту комплектування. Подолати обмеження методу передбачається з використанням й інших складових «Soft Computing», а саме нейронних мереж, еволюційного моделювання, нейро-нечітких мереж, а також їх композицій. Це дозволить здійснювати оцінку того чи іншого варіанту комплектування АРТ на основі вже побудованої моделі. Крім того, можливо здійснити розробку процедури усунення протиріч в оцінках експертів, що буде направлено на певну об'єктивізацію суб'єктивних висновків.

Список літератури: 1. *Martello, S.* [Knapsack problems](#) [Text] / *S. Martello, P. Toth* // Chichester, UK: John Wiley and Sons, 1990. – P. 221–245. 2. *Pisinger, D.* Algorithms for Knapsack Problems [Text] / *D. Pisinger*. – Copenhagen, Denmark: University of Copenhagen. – 1995. – 199 p. 3. *Eddy, S. R.* What is dynamic programming? [Text] / *S. R. Eddy* // Nature Biotechnology. – 2004. – Vol. 22. – P. 909–910. 4. *Dakin, R. J.* A tree-search algorithm for mixed integer programming problems / *R. J. Dakin* // The Computer Journal. – 1965. – Vol. 8. – P. 250–255. 5. *Thomas, H. C.* et al. Introduction to Algorithms [Text] / *H. C. Thomas et al.* – MIT Press, 2001. – 1292 p. 6. *Holland, J. H.* Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control and artificial intelligence [Text] / *J. H. Holland*. – London: Bradford book edition, 1994. – 211 p. 7. *Dorigo, M.* Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents [Text] / *M. Dorigo, V. Maniezzo, A. Colomi* // IEEE Trans. Syst., Man, and Cybern. – 1996. – Vol. 26, № 2. – P. 29–41. 8. [Кормен, Т. Глава 16. Жадные алгоритмы](#) [Текст] / *Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн* // Алгоритмы: построение и анализ / Introduction to Algorithms. Под ред. И. В. Красикова. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2005. – 1296 с. 9. *Снитюк, В.* Информационно-аналитические модели и эволюционные аспекты решения задачи комплектования [Текст] / *В. Снитюк, П. Кучер* // Искусственный интеллект – 2009. – № 4. – С. 268–273. 10. *Саати, Т.* Аналитическое планирование организации систем [Текст] / *Т. Саати, К. Кернс*. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с. 11. *Снитюк, В. Е.* Модели и методы определения компетентности экспертов на базе аксиомы несмещенности [Текст] / *В. Е. Снитюк, Рифат Мохаммед Али* // Вісник ЧІТІ. – 2000. – № 4. – С. 121–126.

Bibliography (transliterated): 1. *Martello, S. Toth, P.* (1990). [Knapsack problems](#). Chichester, UK: John Wiley and Sons, 221–245. 2. *Pisinger, D.* (1995). Algorithms for Knapsack Problems. Copenhagen, Denmark: University of Copenhagen, 199. 3. *Eddy, S. R.* (2004). What is dynamic programming? *Nature Biotechnology*, 22, 909–910. 4. *Dakin, R. J.* (1965). A tree-search algorithm for mixed integer programming problems. *The Computer Journal*, 8, 250–255. 5. *Thomas, H. C. et al.* (2001). Introduction to Algorithms. MIT Press, 1292. 6. *Holland, J. H.* (1994). Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control and artificial intelligence. London: Bradford book edition, 211. 7. *Dorigo, M., Maniezzo, V., Colomi, A.* (1996). Ant System: Optimization by a colony of

cooperating agents. *IEEE Trans. Syst., Man. and Cybern.*, 26, 29–41. 8. *Kormen, T., Leyzerson Ch., Rivest, R., Shtayn, K.* (2005). Glava 16. [Chadnie algoritmi](#). V knize “Algoritmi: postroenie i analiz. Introduction to Algorithms, Moskva, Villiams, 1296. 9. *Snytyuk, V., Kucher, P.* (2009). Informazionno-analiticheskie modeli I evolutsiionnie aspekti reshenia zadachi komplektovaniya. *Iskusstvennyy intellect, Donetsk*, 4, 268–273. 10. *Saati, T., Kerns, T.* (1991). Analiticheskoe planirovanie organizatsii system. *Radio i svyaz, Moskva*, 224. 11. *Snytyuk, V., Rifat, Mohammed Ali.* (2000). Modeli i metodi opredeleniya kompetentnosti ekspertov na baze aksiomi nesmeschennosti. *Visnik ChITI, Cherkassi*, 4, 121–126.

Надійшла (received) 02.11.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Криштал Василь Миколайович – старший викладач, Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, Кафедра пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт; вул. Онопрієнка, 8, м. Черкаси, Україна, 18034; тел.: 093-147-05-33; e-mail: kryshstal.v@ukr.net.

Криштал Василь Миколайович – старший преподаватель, Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля Национального университета гражданской защиты Украины, Кафедра пожарной тактики и аварийно-спасательных работ; ул. Оноприенко, 8, г. Черкассы, Украина, 18034; тел.: 093-147-05-33

Vasyl Kryshstal – senior lecturer, the department fire tactics and rescue operations, [Cherkassy Institute of Fire Safety named after Heroes of Chornobyl of National University of Civil Defense of Ukraine](#), str. Onoprienko 8, Cherkasy, Ukraine, 18034; tel.: 093-147-05-33; e-mail: kryshstal.v@ukr.net.

Сергеев Антон Валерійович – аспірант, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Кафедра інтелектуальних та інформаційних систем; вул. Ломоносова 81, м. Київ, Україна, 03022; тел.: 091-951-73-81; e-mail: a.serhieiev@gmail.com.

Сергеев Антон Валерьевич – аспирант, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Кафедра интеллектуальных и информационных систем; ул. Ломоносова 81, г. Киев, Украина, 03022; тел.: 091-951-73-81; e-mail: a.serhieiev@gmail.com.

Anton Serhieiev – postgraduate, Taras Shevchenko National University of Kyiv, department of intellectual and information systems; str. Lomonosov 81, Kyiv, Ukraine, 03022; tel.: 091-951-73-81; e-mail: a.serhieiev@gmail.com.

Снитюк Віталій Євгенович – доктор технічних наук, професор; Київський національний університет імені Тараса Шевченка, завідувач кафедри інтелектуальних та інформаційних систем; вул. Ломоносова 81, м. Київ, Україна, 03022; тел.: 050-313-13-42; e-mail: snytyuk@gmail.com.

Снитюк Виталий Евгеньевич – доктор технических наук, професор; Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, заведующий кафедрой интеллектуальных и информационных систем; ул. Ломоносова 81, г. Киев, Украина, 03022; тел.: 050-313-13-42; e-mail: snytyuk@gmail.com.

Vitaliy Snytyuk – doctor of technical sciences, professor; Taras Shevchenko National University of Kyiv, head of the department of intellectual and information systems; str. Lomonosov 81, Kyiv, Ukraine, 03022; tel.: 050-313-13-42

УДК 614.771

Д. Ю. БУВАЛЕЦЬ, О. Є. КАПУСТІН

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ТЕРРИТОРИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ ЦИНКОМ И ДРУГИМИ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

На примере г. Мариуполь рассмотрено загрязнение тяжелыми металлами городских почв, речных вод и донных отложений в условиях влияния предприятий черной металлургии. Проведенные исследования позволили установить степень и характер загрязнения территории г. Мариуполь различными тяжелыми металлами. Было выяснено, что загрязнение хромом, медью и никелем носит характер очагов, локализованных вблизи металлургических предприятий. В то время как загрязнение цинком и свинцом носит повсеместный характер. Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего мониторинга загрязнения города тяжелыми металлами и разработки мер повышения экологической безопасности.

Ключевые слова: цинк, свинец, хром, медь, никель, тяжелые металлы, почва, загрязнение территорий, металлургические отходы, экологическая безопасность.

Введение. Почва и речные воды промышленных городов по химическому составу часто значительно отличаются от природных ресурсов. Черная и цветная металлургия, энергетика, нефтяная промышленность и другие производства являются источниками выбросов в атмосферу различных загрязняющих веществ.

Среди них важное место занимают тяжелые металлы.

Негативное влияние тяжелых металлов на почву заключается в ухудшении структуры, агрохимических свойств. Происходит угнетение растений, возрастает роль спорозоных грибов и бактерий. Попадая в во-

© Д. Ю. Буваець, О. Є. Капустін. 2015