

ОЦІНЮВАННЯ МОЖЛИВОСТІ КОРИГУВАННЯ ВИДІВ РОБІТ НАД ВИРОБОМ У СТРУКТУРІ МЕТОДІВ ПРАЦІ

Т. П. Завгородня

Д-р екон. наук, професор, завідувач кафедри автоматизованих систем
і моделювання в економіці

Хмельницький національний університет
igumnovaolga@ukr.net

Г. В. Гаврилук

Канд. екон. наук, старший викладач кафедри автоматизованих систем
і моделювання в економіці

Хмельницький національний університет
gavrilyuk@ief.tup.km.ua

В статті розглянуто особливості врахування невизначеності у судженнях експертів за допомогою використання нечітких відношень переваги у методі парних порівнянь при здійсненні оцінювання можливості коригування видів робіт над виробом у структурі методів праці. Наведено особливості, декомпозицію, алгоритм використання методу парних порівнянь для оцінювання можливості коригування видів робіт над виробом. При оцінюванні видів робіт, які підлягають коригуванню або виключенню за сформованими критеріями відбору, в рамках запропонованого алгоритму виконуються етапи, пов'язані із знаходженням вектору за критеріями відбору, проведенням ранжування та виявленням видів робіт, які потребують коригування. В результаті запропоновано алгоритм оцінювання можливості коригування видів робіт над виробом, що ґрунтується на теорії нечітких множин та дозволяє зменшити затрати праці на виконання методів праці.

Ключові слова. *Метод праці, види робіт, декомпозиція, експертне оцінювання, нечітке відношення переваги, функція належності.*

В статье рассмотрены особенности учета неопределенности в суждениях экспертов при помощи использования нечетких отношений предпочтения для оценивания возможности корректирования видов работ по изделию в структуре методов труда. Показано особенности, декомпозицию, алгоритм использования метода парных сравнений для оценивания возможности корректирования видов работ по изделию. При оценивании видов работ, которые подлежат корректированию или исключению по сформированным критериям отбора, в рамках предложенного алгоритма выполняются этапы, связанные с нахождением вектора критериев отбора, проведением ранжирования и выявле-

ния видов работ, которые требуют корректирования. В результате предложен алгоритм оценивания возможности корректирования видов работ по изделию, который основывается на теории нечетких множеств и позволяет уменьшить затраты труда на выполнение методов труда.

Ключевые слова. *Метод труда, виды работ, декомпозиция, экспертное оценивание, нечеткие отношения предпочтения, функция принадлежности.*

The article describes the features of the account of uncertainty in the judgments of experts through the use of fuzzy preference relations to evaluate the possibility of adjusting the types of work over the product in the structure of the methods of labor. There is shown the features, decomposition, the algorithm of usage of method of paired comparisons to evaluate the possibility of adjusting the types of work over the product. In evaluating the types of work to be correcting or eliminating on the basis of constructed selection criteria, algorithm performs the steps to find a vector selection criteria, execute of ranking and identify the types of work that require correction. As a result it's suggested an algorithm of estimating the possibility of adjusting the types of work over the product, which is based on the theory of fuzzy sets and gives the possibility to reduce labor costs for execution of methods of labor.

Keywords. *Method of labor, types of work, decomposition, expert evaluation, fuzzy preference relations, membership function.*

При проектуванні процесів праці повинен розроблятися раціональний метод праці робітника, який забезпечує виконання виробничого завдання із мінімальними затратами фізичної і нервової енергії. Під методом праці розуміється зміст і послідовність виконання робіт нормованої тривалості із відповідним ресурсо-забезпеченням для досягнення виробничих цілей [11, с.46]. Зрозуміло, що методи праці пов'язані із способами здійснення процесів праці при певному наборі трудових прийомів, дій, рухів з низкою їх характеристик. Недосконалі прийоми і методи праці, які застосовуються, призводять до зростання затрат праці. Дослідження структури методів праці дозволить забезпечити мінімізацію затрат живої і уречевленої праці при виконанні робіт над виробом. Під час формування структури методу праці розв'язується комплекс взаємопов'язаних завдань, пов'язаних із аналізом, оцінюванням та прогнозуванням затрат праці.

Проблемам управління процесами праці присвячені роботи широкого кола науковців, а саме: В. К. Беклешева, А. Д. Гальцова, Б. М. Генкіна, Г. Е. Слезінгера, Д. П. Богині, О. В. Дячун, Б. М. Ігумнова, В. М. Нижника. Але існуючі підходи до оцінювання можливості коригування видів робіт у структурі методів праці не враховують нечіткий характер критеріїв вибору альтернатив, їх параметрів, обмежень, що накладаються на можливість вибору тих або інших варіантів. Внаслідок цього, у багатьох випадках виявляється неможливою побудова адекватної математичної моделі досліджуваної проблеми, що спричиняє за собою необхідність використання експертних оцінок, які на початкових стадіях життєвого циклу виробу дозволяють отримати інформацію для ухвалення та прийняття рішень.

Зазначені умови обґрунтовують для вирішення завдання оцінювання можливості коригування видів робіт у структурі методів праці використання методу парних порівнянь із застосуванням нечітких відношень переваги. В широкому розумінні метод парних порівнянь належить до методів аналізу даних [10, 11, 12]. Ці методи знаходять все більше застосування в економіці і є новим підходом до вирішення багатокритеріальних та багатофакторних задач і дозволяють оперувати інформацією, яка задається нечітко [1, 2, 3, 4, 8, 9, 13, 14, 15]. Ефективність методу визначається наступними основними моментами:

експертами (особи, що ухвалюють рішення - ОПР), яким надається можливість оперувати не всією множиною допустимих варіантів, а лише парами альтернатив, що істотно спрощує завдання експертів та підвищує надійність і об'єктивність експертної інформації;

нечіткими відношеннями переваги, що дозволяють, на відміну від звичайних відношень, враховувати інтенсивність переваги одних варіантів над іншими.

Аналіз літературних джерел [5, 7, 10, 11, 12] показав, що на сучасних підприємствах метод праці формується на початкових стадіях життєвого циклу виробу і продовжує коригуватись на подальших стадіях. Розглянемо особливості застосування експертних оцінок при здійсненні коригування видів робіт над виробом у структурі методів праці на стадії проектування (за кресленнями виробів) для стадії експлуатації. При здійсненні такого оцінювання потрібно враховувати ряд особливостей: по-перше, є відо-

мою структура методу праці при виконанні ремонтних робіт; по-друге, зміни, які відбуваються можуть призвести до зміни креслень або конструкційних особливостей виробу; по-третє, основне призначення коригування видів робіт — це зменшення затрат праці, які виникають під час експлуатації виробів.

Так як при здійсненні такого оцінювання стикаємось із великою потужністю початкової множини альтернатив, то доцільно здійснити декомпозицію на ряд взаємозв'язаних підзадач з істотно меншою потужністю множини аналізованих варіантів. Приклад побудованої ієрархії для оцінювання можливості коригування видів робіт над виробом подано на рис. 1.



Рис. 1. Декомпозиція оцінювання можливості коригування видів робіт над виробом

Задача експерта полягає у виділенні груп видів робіт за відповідними критеріями щодо можливості здійснення коригування у структурі методу праці. З рис. 1 бачимо, що на другому рівні ієрархії виділяються критерії, які уточнюють ціль (встановлену на першому рівні) і, одночасно, види робіт на третьому рівні (які оцінюються за критеріями другого рівня).

Дотримуючись такої декомпозиції поставленого завдання слід враховувати особливості оцінювання на кожному із рівнів при використанні методу парних порівнянь.

В методі парних порівнянь використано нечітке відношення переваги, так як доволі складно визначити різницю між альтернативами. За допомогою експертів виявляється нечітке відношення переваги на множині альтернатив, в якій кожній парі альтернатив (x, y) відповідає число, яке описує ступінь виконання переваги. В роботі [15, с. 119] зазначено, що нечітким відношенням нестрогої переваги на множині X називається будь-яке задане на мно-

жині рефлексивне нечітке відношення. Нечітке відношення переваги R на множині X описується функцією належності $\mu_R: X \times X \rightarrow [0, 1]$. Якщо нечітке відношення нестрогої переваги шукається на множині альтернатив X , то для будь-якої пари альтернатив $x, y \in X$ значення $\mu_R(x, y)$ являє собою ступінь виконання переваги « x не гірше за y » або $x \succsim y$ [15, с. 119]. Слід зазначити, що в більшості випадків функція належності нечіткого відношення переваги змістовно інтерпретується як ступінь переваги однієї альтернативи над іншою.

Якщо множина X , на якій задане нечітке відношення R , має певну межу, то функція належності μ_R даного відношення представляє собою квадратну матрицю. По сенсу ця матриця аналогічна матриці звичайного відношення, але елементами її можуть бути не тільки числа 0 або 1, але і довільні числа з інтервалу $[0, 1]$. Використовуючи такі відношення можна звузити множину раціонального вибору, включаючи в неї лише ті, які не домінуються жодною альтернативою множини X . В роботах [9, 15] зазначено, що в тих випадках, коли $(x, y) \in R$, то альтернатива x домінує над альтернативою y ($x \succ y$). При цьому альтернатива $x \in X$ недомінується на множині X при $(y, x) \notin R$ для будь-якої альтернативи $y \in X$ [15, с. 117]. Це означає те, що x — найкраща у певному сенсі та на множині X немає жодної, яка б домінувала альтернативу x .

Зрозуміло, що чим більше інформації при оцінюванні можливості коригування видів робіт, тим вужчою є множина раціонального вибору і тим меншою є невизначеність. При оцінюванні можливості коригування видів робіт потрібно сформувати перелік видів робіт для коригування, задля чого необхідно залучити експертів відповідної кваліфікації та спрямування, провести аналіз видів робіт, креслень і схем складання для визначення критеріїв відбору, які впливають на формування загального переліку, потім сформувати перелік видів робіт, які необхідно коригувати, та визначити ступінь відповідності видів робіт про-ранжованим критеріям відбору. У структурі методів праці потрібно також враховувати особливості виконання ремонтних робіт.

Алгоритм оцінювання за методом парних порівнянь з застосуванням нечітких відношень переваги подано на рис. 2.



Рис. 2. Алгоритм оцінювання можливості коригування видів робіт над виробом,

де $k_1, \dots, k_n$ — критерії відбору, n — кількість критеріїв;

$e_1, \dots, e_L$ — експерти, які приймають участь в оцінюванні, L — кількість експертів;

$d_1, \dots, d_m$ — види робіт над виробом, m — кількість видів робіт;

T — вектор узагальнених значень ступеня відповідності видів робіт критеріям відбору щодо можливості їх коригування;

$\mu_i(d_j)$ — функція належності, значення якої вказує на можливість коригування j -го виду робіт із урахуванням i -го критерію відбору.

Розглянемо особливості алгоритму на кожному із етапів. Першим етапом є формування множини видів робіт над виробом. Оцінювання критеріїв здійснюється групою експертів і складається з трьох основних процедур: формування матриць функцій переваг по кожному експерту; формування підмножин недомінуючих критеріїв по кожному експерту; формування групової думки експертів по кожному критерію з урахуванням їх компетентності. Оцінювання критеріїв базується на основі методу прийняття рішень групою експертів, який характеризується нечітким відношенням нестрогої переваги між ними.

При формуванні матриць функцій переваг по кожному експерту використовується множина критеріїв $K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$, отримана методами текстологій і комунікативного витягування знань, і множина експертів $E = \{e_1, e_2, \dots, e_L\}$. Для кожного експерта e_l , $l = 1, \dots, L$, формується і представляється для заповнення квадратна матриця $(n \times n)$. Кожен експерт e_l повинен по кожній парі (k_i, k_j) побудувати нечітке відношення нестрогої переваги R_1 на множині $\{(k_i, k_j) | i, j = 1..n\}$ у l -тій матриці M_{R_l} . Кожен елемент цієї матриці є значенням функції належності $\mu_{R_l}(k_i, k_j)$, що виражає ступінь переваги критерію k_i в порівнянні з k_j . Заповнення матриці відбувається за формулою:

$$\mu_{R_l}(k_i, k_j) = \begin{cases} \mu_{R_l}(k_i, k_j) > 0, \text{ якщо } k_i \succ k_j; \\ 0 \leq \mu_{R_l}(k_i, k_j) < \mu_{R_l}(k_j, k_i), \text{ якщо } k_i \prec k_j; \\ \mu_{R_l}(k_i, k_j) = 0, \text{ якщо } k_i = k_j. \end{cases} \quad (1)$$

Після заповнення експертами матриць M_{R_l} виконується перетворення матриць за допомогою введення нечіткого відношення строгої переваги R_1^S , що асоціюється з R_1 і визначається функцією належності (2):

$$\mu_{R_l}^S(k_i, k_j) = \begin{cases} \mu_{R_l}(k_i, k_j) - \mu_{R_l}(k_j, k_i), \\ \text{якщо } \mu_{R_l}(k_i, k_j) > \mu_{R_l}(k_j, k_i); \\ 0, \text{ якщо } \mu_{R_l}(k_i, k_j) \leq \mu_{R_l}(k_j, k_i). \end{cases} \quad (2)$$

Таким чином формується матриця $M_{R_i}^S$, яка використовується для формування підмножин критеріїв по кожному експерту. Для цього по формулі (3) будується нечітка підмножина $K_{R_i}^{nd} \subset K$ критеріїв, що є домінантними із функцією належності $\mu_{R_i}^{nd}(k_i)$ (nd вказує на те, що відібрані критерії є найкращими у певному сенсі і у множині K немає жодного, який би домінував над ними), асоційована з R_i , яка включає ті критерії, що є найвагомішими при здійсненні коригування видів робіт над виробом:

$$\mu_{R_i}^{nd}(k_i) = \min_j \{1 - \mu_{R_i}^S(k_j, k_i)\} = 1 - \max_j \{\mu_{R_i}^S(k_j, k_i)\}, k_i, k_j \in K. \quad (3)$$

Для кожного критерію $k_i \in K$ значення $\mu_{R_i}^{nd}(k_i)$ представляє собою ступінь, з якою k_i не домінується жодним із критеріїв множини K .

На величину отриманих критеріїв суттєво впливає компетентність експертів. В тих випадках, коли компетентність другого експерта невисока, то відібрані критерії оцінюються лише першим експертом і, навпаки. Для врахування ступеня компетентності експертів будується нечітке відношення переваги N , задане на множині E експертів із функцією належності $\mu_N(e_i, e_j), e_i, e_j \in E$, значення яких означають ступінь переваги експерта e_i в порівнянні з експертом e_j . Для визначення загальної думки експертів задається нечітка відповідність Φ між множинами E і K за допомогою введення наступного позначення:

$$\mu_l^{nd}(k_i) = \mu_\Phi(e_l, k_i), l = 1, \dots, L, i = 1, \dots, m. \quad (4)$$

Далі, для отримання єдиного результуючого відношення, яке враховує знання про відносну важливість нечітких відношень переваги за критеріями відбору і компетентність експертів, будується згортка, яку позначимо Γ :

$$\Gamma = \Phi^T o N o \Phi, \quad (5)$$

де o — операція композиції, що визначається як максимінний добуток матриць [10, 15].

З відношенням Γ асоціюється відношення Γ^S , яке утворюється після застосування до Γ формули (2), тобто враховується загальна думка експертів у відповідності із (4). Врахування інформації

стосовно відносної важливості нечітких відношень переваги критеріїв відбору з урахуванням компетентності експертів відбувається знаходженням значень нечіткої множини домінуючих критеріїв K_r^{nd} із функцією належності $\mu_r^{nd}(k_i)$ за формулою (3). Множина K_r^{nd} надається експерту для аналізу і вибору кращого рішення. В даній множині значення функцій належності означають ступінь важливості критеріїв відбору. В тих випадках, коли найбільший ступінь недовідомості має не один, а декілька критеріїв, то ОПР сам вибирає один із них, виходячи із певних міркувань, або виникає потреба розширити коло експертів при формуванні вихідних даних задачі.

Наступним етапом є визначення ступеня відповідності видів робіт критеріям відбору, яке засноване на методі парних порівнянь без урахування компетентності експертів. Початковими даними для здійснення розрахунків є множина експертів $E = \{e_1, e_2, \dots, e_L\}$, сформований вектор-рядок критеріїв для коригування видів робіт по відношенню до виробу $K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$, множина видів робіт над виробом $D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$, які будуть включатись при визначенні затрат праці і формуються виходячи із конструкційних особливостей нового виробу. Зміст даного етапу описано у алгоритмі (див. рис. 2).

Спочатку експертами задаються квадратні матриці $(m \times m)$ по кожній парі (d_i, d_j) із множини $D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ при попарному порівнянні видів робіт із врахуванням критеріїв відбору першого етапу. Для отримання нечіткого відношення нестрогої переваги R_1 формуємо матриці M_{R_1} як і на першому етапі, але по видах робіт із функцією належності $\mu_{R_1}(d_i, d_j)$, використовуючи формулу (1). За формулою (2) перетворюємо матриці M_{R_1} для отримання нечіткого відношення строгої переваги R_1^S , асоційованого із R_1 , і розраховуємо матриці $M_{R_1}^S$ за видами робіт — їх кількість буде відповідати кількості критеріїв відбору. Далі за формулою (3) будується нечітка підмножина $D_{R_1}^{nd_{k_i}} \subset D$ за видами робіт із функцією належності $\mu_{R_1}^{nd_{k_i}}(d_j)$, яка включає ті види робіт, які не домінуються іншими видами робіт при здійсненні коригування за критеріями відбору. В результаті отримуємо n векторів із кількістю елементів m у кожному із них та функціями належності

$(\mu_{R_l}^{nd_{k_i}}(d_j))$, що показують ступінь впливу на здійснення коригування виду робіт за відповідним критерієм відбору по кожному із експертів. Для отримання результуючої множини $D^{nd_{k_i}}$ видів робіт проводимо імплікацію за формулою:

$$\mu^{nd_{k_i}}(d_j) = \min\{\mu_{R_1}^{nd}(d_j), \mu_{R_2}^{nd}(d_j), \dots, \mu_{R_L}^{nd}(d_j)\}, \quad (6)$$

де $\mu_{R_l}^{nd}(d_j)$ — ступінь необхідності здійснення коригування для видів робіт за критеріями відбору по l -му експерту;

k_i — вказує на те, за яким критерієм здійснюється оцінювання.

Для отримання результуючої матриці V , яка прийме участь в подальших розрахунках, потрібно провести нормалізацію елементів (знаходження питомої частки складових у загальній сукупності по рядку) множини $D^{nd_{k_i}}$. Відповідно до цього утворюються вектори S_i , $i = 1, \dots, n$, із функціями належності $\mu_{S_i}(d_j)$ в кожному із них. Сукупність векторів S_i по кожному із критеріїв відбору складе матрицю V із функціями належності $\mu_V(d_{ij})$.

На третьому етапі застосовується максимуміплікативна композиція відношень, в результаті використання якої проводиться впорядкування ступенів відповідності за видами робіт. Початковими даними є множина K_r^{nd} (результат розрахунку першого етапу) та матриця V (результат другого етапу) видів робіт по кожному критерію. Визначення результуючих оцінок здійснюється за допомогою максимуміплікативної композиції за формулою:

$$\mu_{K*V}(d_j) = \sup\{\mu_r^{nd}(k_i) \cdot \mu_V(d_{ij})\}, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m. \quad (7)$$

Далі проводимо нормування отриманих значень $\mu_{K*V}(d_j)$, щоб сума всіх функцій належності дорівнювала одиниці. В результаті цього отримаємо вектор T , кожен елемент якого є значенням функції належності $\mu_i(d_j)$, що визначає види робіт, які будуть коригуватись з врахуванням впливу критеріїв відбору.

Застосувавши такий підхід з'являється можливість виділити види робіт, які потребують коригування. Розглянемо особливості використання запропонованого алгоритму (див. рис. 2) на ранніх стадіях життєвого циклу виробу, зокрема на стадії проектування.

Для здійснення оцінювання відібрано двох експертів на основі використання методу прийняття рішень в умовах неусувної невизначеності.

Нехай експертами сформовано множину видів робіт, які будуть коригуватись (таблиця 1). В результаті аналізу експертами виділено п'ятнадцять видів робіт (в таблиці відмічені курсивом), трудомісткість виконання яких можна зменшити за рахунок знань експертів шляхом коригування по видах робіт та за рахунок внесення змін у креслення або зміни структури робіт.

Таблиця 1

ВИДИ РОБІТ І ТРУДОМІСТКІСТЬ ПО УМОВНОМУ ВИРОБУ

Склад робіт	Види робіт	Затрати часу, людино-годин
1. Демонтаж	Транспортування лебідок і такелажного устаткування з місця схову до місця установки; установка лебідок і такелажного устаткування; спорудження тимчасового риштування; від'єднання електроживлення (виконує електрослужба); <i>роз'єднання з'єднань (кріплень)¹</i> ; знімання з місця установки і транспортування до місця ремонту.	176,54
2. Ремонт	<i>Очистка устаткування від технологічних відходів²; повне розбирання³; промивання⁴; заміна (відновлення) відпрацьованих елементів, деталей та комплектуючих виробів, включаючи базові⁵; збирання⁶, регулювання вузлів⁷; залив мастила⁸; нанесення захисного покриття на зовнішні частини виробу⁹.</i>	683
3. Монтаж	Транспортування устаткування до місця установки; підготовка місця та установка, вивіряння та закріплення опорної плити; установлення колони повороту, поворотного пристрою ¹⁰ ; з'єднання пушки з притискним пристроєм ¹¹ ; приєднання електроживлення (виконує електрослужба); <i>прибирання кріпильних з'єднань¹²; регулювання¹³, підготовка та випробування устаткування¹⁴</i> ; розбирання тимчасового риштування, такелажного устаткування, лебідок і транспортування до місця схову.	407,4
4. Наладочні роботи після ремонту	<i>Регулювання синхронності технологічних операцій, що виконуються окремими вузлами устаткування з частковим розбиранням вузлів¹⁵</i> ; виявлення відхилень від норми в роботі устаткування та їх усунення; здача устаткування до експлуатації.	16,3
Всього		1283,24

^{1, ..., 15} — індексами позначені номери тих видів робіт, які можуть бути піддані коригуванню.

У табл. 1 сформовано загальний перелік критеріїв, які залежать від конструкційних особливостей виробу і впливають на здійснення коригування за видами робіт. Обрані критерії відбору не є рівнозначними, тому необхідно визначити їх ступінь важливості відносно один одного.

Пропонуємо наступні критерії, множина яких проте не є константою, а може змінюватись та доповнюватись в залежності від характеристик виробу:

k_1 — критерій важливості кількості деталей, що знімаються при ремонті — цей критерій впливає на можливість коригування ремонтних та монтажно-демонтажних робіт. В цілому k_1 пов'язаний з k_2 , k_4 , k_6 та k_7 . Чим більше значення даного критерію, тим важливішою є величина кількості деталей, що знімаються при ремонті, з точки зору можливості коригування певного виду робіт.

k_2 — критерій важливості складності конструкції виробу — потребує обов'язкової наявності схеми складання і ускладнює розбирання виробу. Даний критерій пов'язаний з ремонтними роботами і обумовлює необхідність проведення коригування саме їх змісту. Чим складніша конструкція виробу, тим більше значення трудомісткості робіт. В цілому k_2 пов'язаний з k_1 , k_4 , k_6 та k_8 .

k_3 — критерій важливості якості спряжених деталей, що дозволяє уникнути їх заміни при виконанні робіт, пов'язаних із заміною (відновленням) деталей. Цей критерій показує вплив рівня якості деталей, що замінюються або відновлюються, на доцільність коригування робіт. Високий рівень якості спряжених деталей дозволяє уникнути коригування, і навпаки.

k_4 — критерій важливості кількості кріплень, що знімається. Цей критерій впливає на можливість коригування демонтажних і монтажних робіт. Чим більше значення критерію, тим домінантнішим є коригування демонтажних і монтажних робіт. В цілому k_4 пов'язаний з k_1 , k_2 , k_6 та k_8 .

k_5 — критерій важливості кількості вузлів, що підлягають регулюванню. Даний критерій впливає на затрати часу при виконанні налагоджувальних робіт після ремонту. Якщо рівень критерію високий, то коригуватись мають саме роботи, пов'язані з регулюванням. Чим більше значення критерію, тим більше робіт проводиться налагоджувальником.

k_6 — критерій важливості кількості складальних одиниць. Даний критерій впливає на можливість коригування складально-

розкладальних робіт. Якщо кількість складальних одиниць висока або достатня, то ймовірність коригування зменшується, якщо мала — то зростає.

k_7 — критерій важливості ваги деталі. Чим вагоміший даний критерій, тим більший вплив здійснює вага деталей на можливість коригування робіт над виробом. Одним із шляхів зменшення ваги деталей є заміна самого матеріалу без подорожчання вартості виробу.

k_8 — критерій важливості необхідності нанесення захисного покриття для уникнення псування зовнішніх елементів виробу. Чим більше значення критерію, тим вагомішим є проведення коригування ремонтних робіт, оскільки даний критерій пов'язаний із ремонтними роботами.

Найбільшу питому вагу в загальному обсязі робіт (за даними табл. 1) займають ремонтні роботи. Тому більшість критеріїв відбору, сформованих експертами, пов'язана саме із ними. За сформованими критеріями відбору проведено ранжування елементів. Критерії відбору отримано на основі опрацювання анкет експертів.

Задамо нечітке відношення нестрогої переваги R_1 та R_2 — оцінки пар критеріїв двома експертами — і сформуємо матриці M_{R_1} (8) та M_{R_2} (9) $M_{R_i} = \|\mu_{R_i}(k_i, k_j)\|, i=1,2, i, j=1, \dots, 8$, де $\mu_{R_i}(k_i, k_j)$ визначається за формулою (1). Наприклад, перше значення $\mu_{R_1}(k_1, k_1)$ дорівнює нулю, оскільки критерій k_1 порівнюється сам із собою. Друге значення $\mu_{R_1}(k_1, k_2)$ отримано в ході порівняння критеріїв k_1 та k_2 , згідно якого критерій k_1 є важливішим при здійсненні коригування видів робіт над виробом за критерій k_2 із мірою належності 0,3. Аналогічно, в ході попарного порівняння заповнені всі інші значення матриць (8) та (9):

$$M_{R_1} = \begin{pmatrix} 0 & 0,3 & 0,5 & 0,3 & 0,7 & 0,3 & 0,2 & 0,6 \\ 0,2 & 0 & 0,4 & 0,5 & 0,3 & 0,4 & 0,5 & 0,4 \\ 0,4 & 0,5 & 0 & 0,5 & 0,6 & 0,6 & 0,7 & 0,6 \\ 0,7 & 0,5 & 0,8 & 0 & 0,7 & 0,8 & 0,8 & 0,6 \\ 0,2 & 0,2 & 0,3 & 0,5 & 0 & 0,1 & 0,3 & 0,7 \\ 0,7 & 0,5 & 0,5 & 0,7 & 0,7 & 0 & 0,6 & 0,8 \\ 0,7 & 0,7 & 0,8 & 0,7 & 0,7 & 0,5 & 0 & 0,6 \\ 0,6 & 0,5 & 0,6 & 0,5 & 0,5 & 0,6 & 0,5 & 0 \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$M_{R_2} = \begin{pmatrix} 0 & 0,5 & 0,6 & 0,6 & 0,5 & 0,5 & 0,6 & 0,4 \\ 0,3 & 0 & 0,4 & 0,3 & 0,6 & 0,4 & 0,5 & 0,4 \\ 0,3 & 0,5 & 0 & 0,5 & 0,5 & 0,4 & 0,6 & 0,4 \\ 0,8 & 1 & 0,7 & 0 & 0,5 & 0,8 & 0,8 & 0,6 \\ 0,4 & 0,5 & 0,7 & 0,4 & 0 & 0,1 & 0,3 & 0,2 \\ 0,4 & 0,6 & 0,5 & 0,4 & 0,6 & 0 & 0,4 & 0,3 \\ 0,4 & 0,5 & 0,4 & 0,3 & 0,3 & 0,5 & 0 & 0,5 \\ 0,5 & 0,6 & 0,8 & 0,8 & 0,5 & 0,5 & 0,6 & 0 \end{pmatrix} \quad (9)$$

Для матриць (8) та (9) нечітке відношення строгої переваги $R_l^S, l=1,2$, що асоціюються з R_l , визначається за формулою (2) і представлено у вигляді матриць $M_{R_l}^S$:

$$M_{R_1}^S = \begin{pmatrix} 0 & 0,1 & 0,1 & 0 & 0,5 & 0,1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,1 & 0 & 0 & 0,3 & 0,1 & 0 & 0 \\ 0,4 & 0 & 0,3 & 0 & 0,2 & 0,1 & 0,1 & 0,1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,2 \\ 0,4 & 0,1 & 0 & 0 & 0,6 & 0 & 0,1 & 0,2 \\ 0,5 & 0,2 & 0,1 & 0 & 0,4 & 0 & 0 & 0,1 \\ 0 & 0,1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$M_{R_2}^S = \begin{pmatrix} 0 & 0,2 & 0,3 & 0 & 0,1 & 0,1 & 0,2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,2 & 0 \\ 0,2 & 0,7 & 0,2 & 0 & 0,1 & 0,4 & 0,5 & 0 \\ 0 & 0 & 0,2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,2 & 0,1 & 0 & 0,5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,1 & 0 & 0 \\ 0,1 & 0,2 & 0,4 & 0,2 & 0,3 & 0,2 & 0,1 & 0 \end{pmatrix} \quad (11)$$

Далі побудуємо множини недомінуючих альтернатив по кожному із експертів. Із (10) та (11) за формулою (3) обраховуються значення функцій належності елементів підмножин $K_{R_l}^{nd}, l=1,2$. По першому експерту: $\mu_{R_1}^{nd}(k_1) = 0,5$; $\mu_{R_1}^{nd}(k_2) = 0,8$; $\mu_{R_1}^{nd}(k_3) = 0,7$; $\mu_{R_1}^{nd}(k_4) = 1$; $\mu_{R_1}^{nd}(k_5) = 0,4$; $\mu_{R_1}^{nd}(k_6) = 0,9$; $\mu_{R_1}^{nd}(k_7) = 0,9$; $\mu_{R_1}^{nd}(k_8) = 0,8$. Для другого експерта обчислення відбувались аналогічно і отримано наступні значення: $\mu_{R_2}^{nd}(k_1) = 0,8$; $\mu_{R_2}^{nd}(k_2) = 0,3$; $\mu_{R_2}^{nd}(k_3) = 0,6$; $\mu_{R_2}^{nd}(k_4) = 0,8$; $\mu_{R_2}^{nd}(k_5) = 0,5$; $\mu_{R_2}^{nd}(k_6) = 0,6$; $\mu_{R_2}^{nd}(k_7) = 0,5$; $\mu_{R_2}^{nd}(k_8) = 1$.

По першому експерту отримуємо наступну нечітку підмножину критеріїв відбору, які не домінуються ніякими іншими:

$$K_{R_1}^{nd} = \{0,5/k_1; 0,8/k_2; 0,7/k_3; 1/k_4; 0,4/k_5; 0,9/k_6; 0,9/k_7; 0,8/k_8\}. \quad (12)$$

Це означає, що з мірою належності $0,5$ k_1 (критерій важливості кількості деталей, що знімаються при ремонті) не домінується з іншими критеріями та впливає на коригування демонтажних та ремонтних робіт. Найбільші ступені належності у критеріїв k_2, k_3, k_4, k_6, k_7 та k_8 . Це вказує на те, що види робіт, які із ними пов'язані, мають бути скориговані.

По другому експерту отримуємо наступну нечітку підмножину недомінуючих критеріїв:

$$K_{R_2}^{nd} = \{0,8/k_1; 0,3/k_2; 0,6/k_3; 0,8/k_4; 0,5/k_5; 0,6/k_6; 0,5/k_7; 1/k_8\}. \quad (13)$$

Найбільші міри належності у критеріїв k_1, k_3, k_4, k_6, k_8 . Це вказує на те, що коригуванню підлягають ремонтні та демонтажні види робіт, так як ці критерії мають найбільшу перевагу порівняно з іншими критеріями. Для підвищення об'єктивності оцінювання проведено врахування компетентності експертів.

Формування групової думки експертів по кожному критерію з урахуванням їх компетентності визначено шляхом побудови нечіткого відношення переваги N , заданого на множині E , і побудовою матриці $M_N = \|\mu_N(e_i, e_j)\|$. Дана матриця отримана в ході застосування методу прийняття рішень в умовах неусувної невизначеності:

$$M_N = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0,2 & 0 \end{pmatrix}. \quad (14)$$

Для встановлення нечіткої відповідності Φ між множинами E і K побудовано матрицю на основі нечітких підмножин невідоміючих критеріїв по кожному експерту (першим рядком матриці буде підмножина (12), другим — (13)). В результаті отримано:

$$\Phi = \begin{pmatrix} 0,5 & 0,8 & 0,7 & 1 & 0,4 & 0,9 & 0,9 & 0,8 \\ 0,8 & 0,3 & 0,6 & 0,8 & 0,5 & 0,6 & 0,5 & 1 \end{pmatrix}. \quad (15)$$

Побудову згортки Γ здійснено на основі (14) та (15):

$$\Gamma = \begin{pmatrix} 0,5 & 0,8 \\ 0,8 & 0,3 \\ 0,7 & 0,6 \\ 1 & 0,8 \\ 0,4 & 0,5 \\ 0,9 & 0,6 \\ 0,9 & 0,5 \\ 0,8 & 1 \end{pmatrix} \circ \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0,2 & 0 \end{pmatrix} \circ \begin{pmatrix} 0,5 & 0,8 & 0,7 & 1 & 0,4 & 0,9 & 0,9 & 0,8 \\ 0,8 & 0,3 & 0,6 & 0,8 & 0,5 & 0,6 & 0,5 & 1 \end{pmatrix} \quad (16)$$

З (16) в результаті застосування формули (3) отримаємо наступну матрицю:

$$\Gamma = \begin{pmatrix} 0,5 & 0,3 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,5 \\ 0,8 & 0,3 & 0,6 & 0,8 & 0,5 & 0,6 & 0,5 & 0,8 \\ 0,7 & 0,3 & 0,6 & 0,7 & 0,5 & 0,6 & 0,5 & 0,7 \\ 0,8 & 0,3 & 0,6 & 0,8 & 0,5 & 0,6 & 0,5 & 1 \\ 0,4 & 0,3 & 0,4 & 0,4 & 0,4 & 0,4 & 0,4 & 0,4 \\ 0,8 & 0,3 & 0,6 & 0,8 & 0,5 & 0,6 & 0,5 & 0,9 \\ 0,8 & 0,3 & 0,6 & 0,8 & 0,5 & 0,6 & 0,5 & 0,9 \\ 0,8 & 0,3 & 0,6 & 0,8 & 0,5 & 0,6 & 0,5 & 0,8 \end{pmatrix} \quad (17)$$

Відношення Γ^S знаходимо із (17), застосовуючи формулу (2). У результаті отримаємо матрицю:

$$\Gamma^S = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0,1 & 0 & 0 & 0 \\ 0,5 & 0 & 0 & 0,5 & 0,2 & 0,3 & 0,2 & 0,5 \\ 0,2 & 0 & 0 & 0,1 & 0 & 0 & 0,1 & 0 \\ 0,3 & 0 & 0 & 0 & 0,1 & 0 & 0 & 0,2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,3 & 0 & 0 & 0,2 & 0,1 & 0 & 0 & 0,3 \\ 0,3 & 0 & 0,1 & 0,3 & 0,1 & 0,1 & 0 & 0,4 \\ 0,3 & 0 & 0 & 0 & 0,1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (18)$$

Далі, за формулою (3) на основі (18) знаходимо значення $\mu_{\Gamma}^{nd}(k_i)$:

$$\begin{aligned} \mu_{\Gamma}^{nd}(k_1) &= 0,5; & \mu_{\Gamma}^{nd}(k_5) &= 0,8; \\ \mu_{\Gamma}^{nd}(k_2) &= 1; & \mu_{\Gamma}^{nd}(k_6) &= 0,7; \\ \mu_{\Gamma}^{nd}(k_3) &= 0,9; & \mu_{\Gamma}^{nd}(k_7) &= 0,8; \\ \mu_{\Gamma}^{nd}(k_4) &= 0,5; & \mu_{\Gamma}^{nd}(k_8) &= 0,5. \end{aligned} \quad (19)$$

Ці значення є оцінками критеріїв, які обчислені з урахуванням компетентності експертів, і говорять про те, що найбільш ваговими на думку експертів є критерії k_2, k_3, k_5, k_6, k_7 для здійснення коригування видів робіт над виробом, а критерії k_1, k_4, k_8 також мають вплив (значення їх дорівнює 0,5), але не на стільки вагомий.

Наступним кроком є визначення ступеня відповідності видів робіт критеріям відбору, яке засноване на методі парних порівнянь без урахування компетентності експертів у відповідності із декомпозицією на третьому рівні (див. рис. 1). Через громіздкі розрахунки покажемо лише як обраховано оцінки для третього рівня ієрархії для першого критерію k_1 по першому експерту. Задамо нечітке відношення нестрокої переваги R_1 і сформуємо матрицю M_{R_1} за формулою (1):

$$M_{R_1} = \begin{pmatrix} 0 & 0,7 & 0,7 & 0,5 & 0,6 & 0,5 & 0,8 & 0,6 & 0,6 & 0,6 & 0,7 & 0,7 & 0,8 & 0,6 & 0,5 \\ 0,2 & 0 & 0,4 & 0,3 & 0,3 & 0,2 & 0,5 & 0,4 & 0,4 & 0,3 & 0,2 & 0,1 & 0,3 & 0,4 & 0,3 \\ 0,85 & 0,7 & 0 & 0,5 & 0,6 & 0,7 & 0,4 & 0,3 & 0,5 & 0,8 & 0,5 & 0,8 & 0,95 & 0,5 & 0,6 \\ 0,2 & 0,5 & 0,4 & 0 & 0,1 & 0,2 & 0,4 & 0,6 & 0,2 & 0,3 & 0,4 & 0,2 & 0,3 & 0,4 & 0,5 \\ 0,2 & 0,2 & 0,3 & 1 & 0 & 0,1 & 0,3 & 0,2 & 0,3 & 0,4 & 0,3 & 0,4 & 0,5 & 0,6 & 0,5 \\ 0,6 & 0,6 & 0,75 & 0,4 & 0,8 & 0 & 0,4 & 0,3 & 0,5 & 0,4 & 0,7 & 0,7 & 0,6 & 0,9 & 0,4 \\ 0,1 & 0,5 & 0,2 & 0,3 & 0,3 & 0,2 & 0 & 0,2 & 0,1 & 0,3 & 0,2 & 0,2 & 0,3 & 0,4 & 0,3 \\ 0,2 & 0,1 & 0,2 & 0,6 & 0,2 & 0,3 & 0,1 & 0 & 0,3 & 0,2 & 0,1 & 0,3 & 0,4 & 0,3 & 0,2 \\ 0,4 & 0,6 & 0,4 & 0,3 & 0,5 & 0,3 & 0,5 & 0,5 & 0 & 0,4 & 0,3 & 0,1 & 0,5 & 0,6 & 0,5 \\ 0,3 & 0,7 & 0,3 & 0,6 & 0,4 & 0,3 & 0,6 & 0,3 & 0,4 & 0 & 0,2 & 0,2 & 0,1 & 0,4 & 0,2 \\ 0,2 & 0,5 & 0,4 & 0,6 & 0,6 & 0,3 & 0,5 & 0,95 & 0,3 & 0,6 & 0 & 0,3 & 0,2 & 0,3 & 0,4 \\ 0,1 & 1 & 0,1 & 0,5 & 0,5 & 0,1 & 0,5 & 0,6 & 1 & 0,5 & 0,5 & 0 & 0,3 & 0,4 & 0,5 \\ 0,4 & 0,3 & 0,2 & 0,4 & 0,8 & 0,3 & 0,3 & 0,7 & 0,3 & 0,9 & 0,7 & 0,3 & 0 & 0,9 & 0,5 \\ 0,5 & 0,5 & 0,4 & 0,7 & 0,4 & 0,1 & 0,5 & 0,5 & 0,6 & 0,4 & 0,4 & 0,5 & 0,5 & 0 & 0,4 \\ 0,3 & 0,7 & 0,3 & 0,5 & 0,5 & 0,1 & 0,4 & 0,3 & 0,6 & 0,5 & 0,5 & 0,7 & 0,3 & 0,5 & 0 \end{pmatrix} \quad (20)$$

Таким самим чином формуються ще сім матриць по інших критеріях відбору і відповідні матриці для другого експерта. Далі за формулою (2) знаходимо нечітке відношення строгої переваги $R_l^S, l=1,2$, по всіх матрицях. Для матриці (20) дане відношення складе:

$$M_{R_1}^S = \begin{pmatrix} 0 & 0,5 & 0 & 0,3 & 0,4 & 0 & 0,7 & 0,4 & 0,2 & 0,3 & 0,5 & 0,6 & 0,4 & 0,1 & 0,2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,1 & 0 & 0 & 0,3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,15 & 0,3 & 0 & 0,1 & 0,3 & 0 & 0,2 & 0,1 & 0,1 & 0,5 & 0,1 & 0,7 & 0,75 & 0,1 & 0,7 \\ 0 & 0,2 & 0 & 0 & 0 & 0,1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,2 & 0 \\ 0,1 & 0,45 & 0,05 & 0,25 & 0,7 & 0 & 0,2 & 0 & 0,25 & 0,1 & 0,45 & 0,58 & 0,3 & 0,8 & 0,3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,1 & 0,1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,2 & 0 & 0,1 & 0,2 & 0 & 0,4 & 0,2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,2 & 0 & 0,1 \\ 0 & 0,4 & 0 & 0,3 & 0 & 0 & 0,3 & 0,1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,3 & 0 & 0,2 & 0,3 & 0 & 0,3 & 0,85 & 0 & 0,4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,9 & 0 & 0,3 & 0,1 & 0 & 0,3 & 0,3 & 0,9 & 0,3 & 0,2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,1 & 0,3 & 0 & 0 & 0,3 & 0 & 0,8 & 0,5 & 0 & 0 & 0,4 & 0,2 \\ 0 & 0,1 & 0 & 0,3 & 0 & 0 & 0,1 & 0,2 & 0 & 0 & 0,1 & 0,1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,3 & 0,1 & 0,2 & 0 & 0,1 & 0 \end{pmatrix} \quad (21)$$

Побудова множин видів робіт, які не домінуються іншими, по кожному із критеріїв для кожного із експертів здійснюється за формулою (3) (у формулі (3) відбулась заміна змінної k на d) і складе для матриці (21): $\mu_{R_1}^{nd_{k_1}}(d_1) = 0,85$; $\mu_{R_1}^{nd_{k_1}}(d_2) = 0,1$; $\mu_{R_1}^{nd_{k_1}}(d_3) = 0,95$; $\mu_{R_1}^{nd_{k_1}}(d_4) = 0,1$; $\mu_{R_1}^{nd_{k_1}}(d_5) = 0,3$; $\mu_{R_1}^{nd_{k_1}}(d_6) = 1$; $\mu_{R_1}^{nd_{k_1}}(d_7) = 0,3$;

$\mu_{R_1}^{nd_{k_1}}(d_8) = 0,15$; $\mu_{R_1}^{nd_{k_1}}(d_9) = 0,1$; $\mu_{R_1}^{nd_{k_1}}(d_{10}) = 0,2$; $\mu_{R_1}^{nd_{k_1}}(d_{11}) = 0,5$;
 $\mu_{R_1}^{nd_{k_1}}(d_{12}) = 0,3$; $\mu_{R_1}^{nd_{k_1}}(d_{13}) = 0,25$; $\mu_{R_1}^{nd_{k_1}}(d_{14}) = 0,2$; $\mu_{R_1}^{nd_{k_1}}(d_{15}) = 0,7$.
 Аналогічно розраховано функції належності по першому критерию (важливості кількості деталей, що знімаються при ремонті) для кожного із видів робіт і для другого експерта складатимуть:
 $\mu_{R_2}^{nd_{k_1}}(d_1) = 0,97$; $\mu_{R_2}^{nd_{k_1}}(d_2) = 0,21$; $\mu_{R_2}^{nd_{k_1}}(d_3) = 0,99$; $\mu_{R_2}^{nd_{k_1}}(d_4) = 0,1$;
 $\mu_{R_2}^{nd_{k_1}}(d_5) = 0,4$; $\mu_{R_2}^{nd_{k_1}}(d_6) = 0,99$; $\mu_{R_2}^{nd_{k_1}}(d_7) = 0,32$; $\mu_{R_2}^{nd_{k_1}}(d_8) = 0,13$;
 $\mu_{R_2}^{nd_{k_1}}(d_9) = 0,1$; $\mu_{R_2}^{nd_{k_1}}(d_{10}) = 0,2$; $\mu_{R_2}^{nd_{k_1}}(d_{11}) = 0,54$; $\mu_{R_2}^{nd_{k_1}}(d_{12}) = 0,25$;
 $\mu_{R_2}^{nd_{k_1}}(d_{13}) = 0,3$; $\mu_{R_2}^{nd_{k_1}}(d_{14}) = 0,22$; $\mu_{R_2}^{nd_{k_1}}(d_{15}) = 0,75$.

Сформуємо результуючу множину $D^{nd_{k_i}}$, $i = 1, \dots, n$, за формулою (6) за видами робіт для кожного із критеріїв k_i , функції належності якої подамо у табл. 2.

Таблиця 2

**ЕЛЕМЕНТИ МНОЖИНИ $D^{nd_{k_i}}$
ЗА ВИДАМИ РОБІТ ДЛЯ КОЖНОГО ІЗ КРИТЕРІЇВ ВІДБОРУ**

Функції належності за видами робіт	Критерії відбору							
	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8
$\mu^{nd_{k_1}}(d_1)$	0,85	0,88	0,98	0,94	0,24	0,66	0,62	0,31
$\mu^{nd_{k_1}}(d_2)$	0,10	0,07	0,10	0,06	0,06	0,06	0,06	0,04
$\mu^{nd_{k_1}}(d_3)$	0,95	0,82	0,28	0,32	0,42	1,00	0,86	0,49
$\mu^{nd_{k_1}}(d_4)$	0,10	0,06	0,08	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04
$\mu^{nd_{k_1}}(d_5)$	0,30	0,30	0,77	0,25	0,18	0,29	0,51	0,16
$\mu^{nd_{k_1}}(d_6)$	0,99	0,99	0,20	0,30	0,23	0,99	0,99	0,25
$\mu^{nd_{k_1}}(d_7)$	0,30	0,18	0,24	0,16	0,66	0,16	0,12	0,10
$\mu^{nd_{k_1}}(d_8)$	0,13	0,08	0,11	0,08	0,08	0,08	0,06	0,06

Закінчення табл. 2

Функції належності за видами робіт	Критерії відбору							
	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8
$\mu^{nd_{k_i}}(d_9)$	0,10	0,09	0,24	0,09	0,08	0,09	0,08	0,99
$\mu^{nd_{k_i}}(d_{10})$	0,20	0,13	0,19	0,45	0,13	0,13	0,23	0,08
$\mu^{nd_{k_i}}(d_{11})$	0,50	0,56	0,29	0,54	0,20	0,38	0,51	0,17
$\mu^{nd_{k_i}}(d_{12})$	0,25	0,24	0,35	0,21	0,17	0,24	0,14	0,14
$\mu^{nd_{k_i}}(d_{13})$	0,25	0,19	0,16	0,16	0,65	0,19	0,11	0,10
$\mu^{nd_{k_i}}(d_{14})$	0,20	0,19	0,29	0,18	0,17	0,20	0,15	0,11
$\mu^{nd_{k_i}}(d_{15})$	0,70	0,53	0,81	0,18	0,97	0,38	0,50	0,11

Сформуємо вектори S_i із елементів множини $D^{nd_{k_i}}$. Узагальнені значення функцій належності $\mu_{S_i}(d_j)$ знаходимо як нормовані суми рядків векторів S_i по кожному критерію за кожним видом робіт. В результаті отримаємо матрицю V , що подана у табл. 3.

Таблиця 3

ЕЛЕМЕНТИ МАТРИЦІ V

Види робіт для коригування	Критерії відбору							
	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8
1. Роз'єднання з'єднань	0,144	0,166	0,192	0,235	0,055	0,135	0,124	0,097
2. Очистка устаткування від технологічних відходів	0,017	0,013	0,020	0,016	0,015	0,013	0,012	0,013
3. Повне розбирання	0,16	0,154	0,055	0,079	0,098	0,204	0,173	0,157

Закінчення табл. 3

Види робіт для коригування	Критерії відбору							
	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8
4. Промивання	0,017	0,011	0,016	0,015	0,014	0,011	0,010	0,012
5. Заміна (відновлення) спрацьованих елементів, деталей та комплектуючих виробів, включаючи базові	0,051	0,056	0,149	0,063	0,043	0,060	0,102	0,050
6. Збирання	0,167	0,186	0,038	0,074	0,054	0,203	0,199	0,080
7. Регулювання вузлів	0,051	0,033	0,047	0,039	0,154	0,033	0,024	0,032
8. Залив мастила	0,022	0,015	0,022	0,021	0,018	0,016	0,013	0,018
9. Нанесення захисного покриття на зовнішні частини виробу	0,017	0,017	0,047	0,022	0,020	0,017	0,016	0,314
10. Вивірення та закріплення опорної плити, установлення колони повороту, поворотного пристрою	0,033	0,025	0,037	0,114	0,030	0,026	0,046	0,026
11. З'єднання пушки з притискним пристроєм	0,084	0,105	0,056	0,136	0,046	0,078	0,101	0,053
12. Обирання кріпильних з'єднань	0,042	0,046	0,068	0,053	0,038	0,048	0,028	0,045
13. Регулювання	0,042	0,036	0,031	0,041	0,151	0,039	0,022	0,032
14. Підготовка та випробування устаткування	0,034	0,036	0,057	0,046	0,040	0,041	0,030	0,036
15. Регулювання синхронності технологічних операцій, що виконуються окремими вузлами устаткування з частковим розбиранням вузлів	0,118	0,101	0,158	0,046	0,226	0,077	0,100	0,035

На можливість здійснення коригування видів робіт вказують значення у кожному із стовпців — чим вони більші, тим доцільність здійснення коригування вища. З табл. 3 бачимо, що коригування за критерієм k_1 (виділено жирним начертанням) потрібно для робіт: роз'єднання з'єднань, повне розбирання, збирання та регулювання синхронності технологічних операцій, що виконуються окремими вузлами устаткування з частковим розбиранням вузлів. За критерієм k_2 : роз'єднання з'єднань, повне розбирання, збирання, з'єднання пушки з притискним пристроєм та регулювання синхронності технологічних операцій, що виконуються окремими вузлами устаткування з частковим розбиранням вузлів. За критерієм k_3 : роз'єднання з'єднань та заміна (відновлення) спрацьованих елементів, деталей та комплектуючих виробів, включаючи базові. За критерієм k_4 : роз'єднання з'єднань, вивірення та закріплення опорної плити, установлення колони повороту, поворотного пристрою та з'єднання пушки з притискним пристроєм. За критерієм k_5 : регулювання вузлів, регулювання при виконанні монтажних робіт та регулювання синхронності технологічних операцій, що виконуються окремими вузлами устаткування з частковим розбиранням вузлів. За критерієм k_6 : роз'єднання з'єднань, повне розбирання, збирання. За критерієм k_7 : роз'єднання з'єднань, повне розбирання, заміна (відновлення) спрацьованих елементів, деталей та комплектуючих виробів, включаючи базові, збирання, з'єднання пушки з притискним пристроєм та регулювання синхронності технологічних операцій, що виконуються окремими вузлами устаткування з частковим розбиранням вузлів. За критерієм k_8 : повне розбирання та нанесення захисного покриття на зовнішні частини виробу.

Далі застосовується формула (7), в результаті використання якої отримано наступну множину M_{K*V} із функціями належності $\mu_{K*V}(d_j)$: $M_{K*V} = \{0,1731/d_1; 0,0179/d_2; 0,1541/d_3; 0,0144/d_4; 0,1355/d_5; 0,1862/d_6; 0,1228/d_7; 0,0203/d_8; 0,1568/d_9; 0,0568/d_{10}; 0,1050/d_{11}; 0,0615/d_{12}; 0,1206/d_{13}; 0,0514/d_{14}; 0,1804/d_{15}\}$.

Провівши нормалізацію M_{K*V} отримаємо вектор T узагальнених значень ступеня відповідності видів робіт критеріям відбору щодо можливості їх коригування із функціями належності $\mu_i(d_j)$. Отримані значення зведено до табл. 4.

Таблиця 4

**УЗАГАЛЬНЕННІ ЗНАЧЕННЯ ВАГ
СТУПЕНЯ ВІДПОВІДНОСТІ ВИДІВ РОБІТ КРИТЕРІЯМ ВІДБОРУ**

Номер виду робіт, j	Найменування виду робіт, d_j	Узагальненні значення ваг ступеня відповідності видів робіт критеріям відбору, $\mu_i(d_j)$
1	2	3
1	Роз'єднання з'єднань (кріплень) (демонтажні роботи)	0,111
2	Очистка устаткування від технологічних відходів	0,012
3	Повне розбирання	0,099
4	Промивання	0,009
5	Заміна (відновлення) спрацьованих елементів, деталей та комплектуючих виробів, включаючи базові	0,087
6	Збирання	0,120
7	Регулювання вузлів	0,079
8	Залив мастила	0,013
9	Нанесення захисного покриття на зовнішні частини виробу	0,101
10	Вивірення та закріплення опорної плити, Установлення колони повороту, поворотного пристрою	0,036
11	З'єднання пушки з притискним пристроєм	0,067
12	Прибирання кріпильних з'єднань;	0,039
13	Регулювання	0,077
14	Підготовка та випробування устаткування	0,033
15	Регулювання синхронності технологічних операцій, що виконуються окремими вузлами устаткування з частковим розбиранням вузлів	0,116

Роботи, які мають найвищий рейтинг, зокрема «Роз'єднання з'єднань (кріплень) (демонтажні роботи)», «Збирання», «Регулювання синхронності технологічних операцій» та «Нанесення захисного покриття» повинні бути переглянуті і перерозподілені. Тобто, значення функцій належності елементів вектора T і визначають необхідність коригування видів робіт при усуненні несправностей по конкретному виробу.

Для остаточного відбору видів робіт для коригування потрібно розрахувати порогове значення. Згідно із алгоритмом (див. рис. 2) порогове значення становить для даного випадку 0,067 ($1/15 = 0,067$). Наочно результати представлено на діаграмі (див. рис. 3).

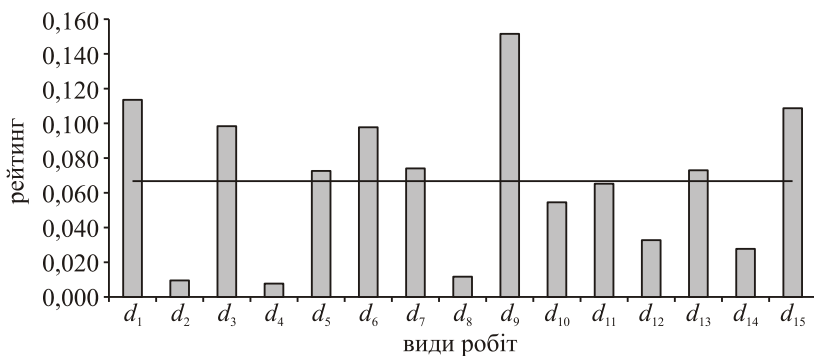


Рис. 3. Виділення видів робіт, що підлягають коригуванню

З даного переліку робіт усунуто «Нанесення захисного покриття» (оцінка 0,101) — оскільки при виконанні ремонту не відбувається ушкодження зовнішніх поверхонь виробу, то на основі досвіду експертів прийнято рішення виключити даний вид робіт із зазначеного переліку. Це дозволило зменшити трудомісткість робіт на 24 люд-год. Зазнали коригування види робіт «Розбирання» та «Складання» за рахунок додавання однієї складальної одиниці. Трудомісткість виконання робіт зменшилась на 52 люд-год. Загальна трудомісткість виконання робіт зменшиться на 5,92 % (або на 76 люд-год).

Отже, виявлено, що при оцінюванні видів робіт, які підлягають коригуванню або виключенню у структурі методів праці, необхідним є формування критеріїв відбору із урахуванням особли-

востей виконання ремонтних робіт, виділення видів робіт у структурі методів праці без порушення структури процесу праці.

Висновок

Оцінювання можливості коригування видів робіт над виробом у структурі методів праці є складною задачею через необхідність врахування відмінностей у судженнях експертів та наявності слабоструктурованої і слабоформалізованої інформації на стадії проектування нових виробів. Існуючі методи експертного оцінювання не дозволяють уникнути невизначеності, яка присутня у судженнях експертів при прийнятті управлінських рішень, що може призводити до отримання неадекватного результату.

Таким чином, у дослідженні запропоновано здійснювати декомпозицію процесу оцінювання та побудовано алгоритм оцінювання можливості коригування видів робіт над виробом, що дозволяє виявляти ті види робіт, які підлягають коригуванню або виключенню у структурі методів праці. Оскільки оцінювання можливості коригування видів робіт є доволі складною задачею, то в розробленому алгоритмі застосовано декомпозиційні процедури, де на найнижчому рівні ієрархії знаходяться види робіт над виробом. Це дає можливість врахувати особливості характеру спрямованості та умов виконання видів робіт, а також виявити критерії, що впливають на величину затрат праці при виконанні процесів праці задля досягнення головної цілі — зменшення затрат праці на стадії експлуатації виробів. Запропонований підхід дозволяє визначати затрати праці за видами робіт, використовуючи одночасно знання експертів сервісної, ремонтної служб та конструкторського бюро підприємства ще на передвиробничих стадіях життєвого циклу виробів. Розроблений математичний апарат в подальшому можна використовувати при формуванні бюджетів на підприємстві та в комплексному дослідженні трудових затрат по стадіях життєвого циклу виробу.

Литература

1. Батищев Д. И. Многокритериальный выбор с учетом индивидуальных предпочтений: монография / Д. И. Батищев, Д. Е. Шапошников. — Нижний Новгород: ИПФ РАН. — 1994. — 92 с.
2. Блюмин С. Л. Модели и методы принятия решений в условиях неопределенности / С. Л. Блюмин, И. А. Шуйкова. — Липецк: ЛЭГИ, 2001. — 138 с.

3. *Борисов А. Н.* Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования / А. Н. Борисов, О. А. Крумберг, И. П. Федоров.— Рига: Зинатне, 1990.— 184 с.
4. *Брахман Т. Р.* Многокритериальность и выбор альтернативы в технике: монография / Т. Р. Брахман.— М.: Радио и связь.— 1984.— 288 с.
5. *Генкин Б. М.* Организация, нормирование и оплата труда на промышленных предприятиях: учебник для вузов / Б. М. Генкин.— [3-е изд., изм. и доп.].— М.: Норма, 2005.— 448 с.
6. *Гольдштейн Г. Я.* Стратегические аспекты управления: монография / Г. Я. Гольдштейн.— Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000.— 244 с.
7. *Грішнова О. А.* Економіка праці та соціально-трудові відносини: підручник / О. А. Грішнова.— К.: Знання, 2006.— 559 с.
8. *Дилигенский Н. В.* Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология: монография / Н.В. Дилигенский, Л. Г. Дымова, П. В. Севастьянов. — М.: Издательство Машиностроение-1. — 2004. — 397 с.
9. *Жуковин В. Е.* Нечеткие многокритериальные модели принятия решений: монография / В. Е. Жуковин. — Тбилиси: Мецниереба. — 1988. — 72 с.
10. *Завгородня Т. П.* Експертні методи прийняття рішень про перерозподіл видів робіт для визначення їх оптимальної трудомісткості / Т. П. Завгородня, Г. В. Гаврилюк // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. — 2010. — № 2. — Т. 3. — С. 80—86.
11. *Завгородня Т. П.* Экономико-математические модели в нормировании труда: монография / Т. П. Завгородня, Е. В. Горбатюк. — Хмельницкий: ТОВ НВП «Евріка», 2001. — 212 с.
12. *Игумнов Б. Н.* Системы нормирования производственной деятельности / Б. Н. Игумнов, Т. П. Завгородня, С. Н. Барский. — Хмельницкий: Поділля, 1997.- 388 с.
13. *Матвійчук А. В.* Штучний інтелект в економіці: нейронні мережі, нечітка логіка : монографія / А. В. Матвійчук.— К.: КНЕУ, 2011.— 439 с.
14. *Недосекин А. О.* Методологические основы моделирования финансовой деятельности с использованием нечетко-множественных описаний: дис. на соиск. научной степени докт. экон. наук: 08.00.13 / Недосекин А. О.— Санкт-Петербург.— 2003.— 280 с.
15. *Орловский С. А.* Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации / С. А. Орловский.— М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981.— 208 с.

Стаття надійшла до редакції 05.02.2013