

УДК 51.001.57+371.214

О.М. Верес, А.В. Катренко

Національний університет „Львівська політехніка”,  
кафедра “Інформаційні системи та мережі”

## ЕКСПЕРТНІ МЕТОДИ СЛАБКОСТРУКТУРОВАНОЇ ЗАДАЧІ УКЛАДАННЯ РОЗКЛАДУ

© Верес О.М., Катренко А.В., 2002

*Directed the demands to expert methods as importance determination method of each from optimization criterions. For indexes weight coefficients senses computation employed a method of gravimetric importance coefficients, directed the experts coordination criterions.*

*Наведено вимоги до експертних методів як засобу визначення важливості кожного з критеріїв оптимізації. Для розрахунку значень коефіцієнтів ваги показників застосовано метод вагових коефіцієнтів важливості, наведено критерії погодженості експертів.*

### ВСТУП

У більшості випадків при аналізі багатостадійних систем обслуговування, у функціонуванні яких бере участь людина, значну кількість інформації про них можна отримати від експертів (досвідчених методистів), які мають досвід роботи з аналогічними системами і знають їх особливості, проте оперують нечіткими інструкціями. Тому для подальшого застосування математичних методів як потужного засобу для аналізу і синтезу складних об'єктів чи систем необхідно створення засобів врахування нечітких представлень і суджень про реальні процеси та явища в математичних моделях, на етапах синтезу структури та параметрів об'єкта, управління процесом моделювання тощо.

Отже, поряд з використанням потужного математичного апарату необхідне застосування методів логічного виведення на основі формалізованих знань, одним із способів отримання яких є методи експертних оцінок.

З іншого боку, для того, щоб побудувати систему аналізу якості функціонування, необхідно виявити множину критеріїв оптимізації (факторів), які найповніше дають змогу оцінити якість розкладу [1,2].

### МЕТОДИ ЕКСПЕРТНОЇ ОЦІНКИ

Для розрахунку коефіцієнтів важливості показників критеріїв оптимізації інтегрованої оцінки варіанта розкладу та розподілу ресурсів застосовується метод експертних оцінок [3,4].

*Експертні методи* повинні задовольняти такі вимоги:

а) повинні бути однозначно сформульовані цілі, предмет і область застосування методики. Інструкція щодо застосування забезпечується вказівкою на необхідну кваліфікацію експертів, їх необхідну кількість для отримання надійних даних за методом незалежних оцінок;

б) інструкції проведення повинні пройти спеціальні обстеження на однозначність їх виконання експертами стосовно деякого еталонного набору даних (текстів, рисунків, звуко- або відеозаписів тощо);

в) процедура опрацювання результатів повинна містити таке документування проміжних етапів, яке дозволило б перевірити остаточний результат;

г) користувачі-розробники повинні мати можливість відтворити (повторити) нормативне дослідження щодо вимірювання експертної узгодженості на еталонному наборі даних;

д) головна організація повинна вести банк даних, забезпечуючи підготовку користувачів та перепідготовку (відповідно до переглянутих стандартів методики).

Існує багато різноманітних форм і методів експертної оцінки, проте всі вони ґрунтуються на одному фундаментальному твердженні: скероване опитування спеціалістів повинне привести до кількісного описання досліджуваної проблеми. Це дає змогу зменшити початковий факторний простір чи отримати ранжування факторів за певними об'єктивним критеріями. При цьому необхідно забезпечити перехід від рангових до бальних оцінок, що дасть змогу всебічно оцінити результати. Використання такої комплексної оцінки при позитивному вирішенні дає змогу твердити, що отримані висновки дійсно ґрунтуються на первинних даних, а не на методах їх отримання [5,6].

Всі методи експертних оцінок поділяються на два класи: метод прямого ранжування і метод попарних порівнянь. Найкращим з погляду точності висновків вважається метод прямого ранжування. Пряме застосування класичного методу ранжування недоцільне, оскільки самим експертам важко безпосередньо проранжувати вказані фактори. Такі випадки часто зустрічаються на практиці, особливо якщо кількість об'єктів порівняння більша десяти, оскільки значно зростає ймовірність випадкового призначення рангу експертом, а як наслідок достовірність отриманих результатів стає незадовільною. Тому при великій кількості факторів застосовують метод попарних порівнянь, який вільний від обмежень за кількістю факторів. Тут експерт порівнює один з одним по чергові всі  $n$  об'єктів (операцій), але у кожен момент він розглядає тільки два з них і віддає перевагу одному з цих двох.

## МЕТОД ВАГОВИХ КОЕФІЦІЄНТІВ ВАЖЛИВОСТІ

Для визначення коефіцієнтів ваги критеріїв оптимізації в інтегрованій оцінці варіанта розкладу пропонується різновид методу попарних порівнянь – метод вагових коефіцієнтів важливості (ВКВ), який має переваги методу попарних порівнянь і меншу невизначеність за ентропійною оцінкою та дає змогу точніше визначити шукане сумарне ранжування [7,8].

Суть методу ВКВ полягає у побудові матриці суміжності  $A_i$  ( $i=1,2,\dots,m$ ) з такими елементами:

$$a_{ij} = \begin{cases} 2, & \text{якщо фактор } i \text{ сильніше впливає на параметр, ніж фактор } j; \\ 1, & \text{якщо ступінь впливу факторів однакова;} \\ 0, & \text{в іншому випадку.} \end{cases} \quad (2)$$

При помилці, при заповненні матриці чи через некомпетентність експерта втрата інформації все одно вдвічі менша, ніж при використанні методу попарних порівнянь. Тобто достовірність при використанні цього методу залишається високою. Правильність заповнення матриці суміжності перевіряється так: за матрицею суміжності будується матриця інцидентності згідно з правилами побудови для орієнтованих графів розміром  $m = \frac{m \cdot (m-1)}{2}$ , а з неї виділяється квадратна матриця розміром  $m \times m$  – так, щоб в якості її діагональних елементів була найбільша кількість одиниць. Якщо слід цієї квадратної матриці дорівнює  $m$ , то матриця суміжності складена правильно. Однак якщо в матриці суміжності є хоча б один рядок, в якому відсутні двійки, то перевірка відбувається автоматично. Очевидно, що цією властивістю необхідно користуватися для перевірки правильності складення матриці суміжності. Методи знаходження помилки під час заповнення матриці наведені в [9].

Завдання ранжування полягає у визначенні коефіцієнта важливості:

$$\gamma_i(k) = \frac{p_i(k)}{\sum_{i=1}^n p_i(k)}, \quad (3)$$

де  $p_i(k)$  - ітераційна важливість ( $i=1,2,\dots,n$ ) порядку  $k=1,2,\dots$ , яка визначається як сума відповідних рядків матриці суміжності.

Ітераційна важливість порядку  $k=2$  розраховуються додаванням величини  $p_i(1)$  тих факторів, значення  $p_i(1)$  яких дорівнює тому, що розглядається, і подвоєнню величин  $p_i(1)$  тих факторів,  $p_i(1)$  яких менше від того, що розглядається. При досить великому  $k$  величини  $\gamma_i(k)$  стабілізуються і можуть служити значеннями критерію ранжування (див. таблицю). Практика показує, що в більшості випадків достатньо розрахувати величини  $\gamma_i(2)$ , а іноді навіть  $\gamma_i(1)$ . За критерій значимості у першому наближенні можна вважати середній процент.

#### Матриця суміжності $A(m, m)$ , ітераційні важливості та коефіцієнти важливості

Фактор, $i$	Матриця суміжності $A(m, m)$										Ітераційна важливість $P_i(k)$		Коефіцієнт важливості $\gamma_i(k)$	
	Фактор, $i$										$k=1$	$k=2$	$k=1$	$k=2$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
1	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	17	188	0,14	0,15
2	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2	16	174	0,13	0,14
3	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	14	146	0,11	0,11

Продовження таблиці

4	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	10	100	0,08	0,08
5	0	0	1	1	1	0	0	1	2	2	8	72	0,06	0,06
6	1	1	1	2	2	1	2	1	2	2	15	164	0,12	0,13
7	0	1	1	2	2	1	1	1	2	2	13	134	0,11	0,11
8	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	10	100	0,08	0,08
9	0	0	0	1	1	0	1	1	1	2	7	64	0,05	0,05
10	0	0	1	2	1	0	1	1	1	1	8	80	0,06	0,06
$\sum_{i=1}^m P_i(k)$	3	4	10	15	15	8	13	13	18	19	118	1222		

### КОМПЕТЕНТНІСТЬ ЕКСПЕРТІВ

Непоследовність у судженнях експерта, що викликана нетранзитивністю оцінок переваг, оцінюється за критерієм [10]:

$$c = \frac{t}{24}(t^2 - 1) - \frac{1}{2} \sum \left( a_i - \frac{1}{2}(t-1) \right)^2, \quad (4)$$

де  $t$  – кількість об'єктів;  $a_i$  – кількість переваг, яку отримав  $i$ -й об'єкт.

Чим менше  $c$ , тим менше несумісностей у конфігурації переваг, що відразу ж породжує ранжування. Компетентність експерта визначається за таким критерієм:

$$Q = \frac{\max \left\{ \sum_{i=1}^n p_i(2) \right\} - \left\{ \sum_{i=1}^n p_i(2) \right\}_\ell}{\max \left\{ \sum_{i=1}^n p_i(2) \right\} - \min \left\{ \sum_{i=1}^n p_i(2) \right\}} = \frac{n^3 - \left\{ \sum_{i=1}^n p_i(2) \right\}}{\frac{1}{3}(n^3 - n)}, \quad (5)$$

де  $n$  – кількість факторів;

$\ell$  – номер експерта;

$p_i(2)$  – ітераційна важливість другого порядку.

Очевидно, що для подальшого розрахунку потрібно виключити судження малокомпетентних експертів, обмеживши коефіцієнт  $Q > 0,5$  [10].

### КОЕФІЦІЄНТ ПОГОДЖЕНОСТІ ЕКСПЕРТІВ

При формуванні групової оцінки значення коефіцієнтів важливості по кожному об'єкту усереднюються і ранжуються. Відомо, що висновки, зроблені експертним методом, можуть не братися до уваги, якщо не доведена значимість коефіцієнта конкордації (погодженості експертів). Проте коефіцієнт конкордації не можна шукати без попереднього очищення експертних даних від факторів, за якими судження експертів різко відрізняються,

і від суджень експертів, які за більшістю факторів не збігаються з думкою більшості експертів. Для виділення таких факторів пропонується використати критерій Кохрена [65]:

$$G = \frac{\max\{S_i^2(k)\}}{\sum_{i=1}^n S_i^2(k)}, \quad (6)$$

де  $S_i^2(k) = \frac{1}{m-1} \sum_{l=1}^m [\gamma_{il}(k) - \gamma_i(k)]^2$  – вибіркова дисперсія вагових коефіцієнтів важливості,

визначених для  $m$ -експертів за  $i$ -м фактором;

$\max\{S_i^2(k)\}$  – максимальне значення однієї з вибіркової дисперсії  $S_i^2(k)$ , визначених для всіх  $n$  факторів.

Отримане за формулою (5) значення критерію  $G_{розр}$  порівнюється з табличним значенням  $G_{табл}(q, \nu_1, \nu_2)$  для рівня  $q$ , рівня визначеності;  $\nu_1 = m-1$  – значення степенів свободи діленого і  $\nu_2 = n$  – значення степенів вільності дільника. При  $G_{розр} > G_{табл}$  фактор, що має максимальну дисперсію, повинен бути вилучений з подальших розрахунків і питання про його роль повинно вирішуватись за допомогою додаткових досліджень. Наведені вище міркування справедливі при кількості експертів ( $m > 10$ ), коли їх судження, подані в кількісній формі, можна вважати розподіленими за нормальним законом.

Для методів парних порівнянь використовується методика визначення коефіцієнта конкордації по Кенделу з перевіркою значимості за критерієм  $\chi^2$ . Для цього використовується відношення:

$$W = \frac{Q}{Q_{\max}} = \frac{4 \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{i-1} b_{ij}^2 - m \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{i-1} b_{ij}^2 - C_m^2 C_n^2 \right\}}{m(m-1)n(n-1)}, \quad (7)$$

де  $C_m^2$  і  $C_n^2$  – кількість комбінацій для кількості експертів і факторів;

$m$  – кількість експертів;

$n$  – кількість факторів;

$b_{ij} = \sum_{l=1}^m \gamma_{ijl}$  – елемент зведеної матриці парних порівнянь за всіма  $m$  експертами;

$\gamma_{ijl}$  – коефіцієнт важливості матриці суміжності парних порівнянь.

Значимість коефіцієнта конкордації при методі парних порівнянь визначається за критерієм:

$$\chi^2 = \frac{4}{m-2} \left\{ Q - \frac{1}{2} C_m^2 C_n^2 \frac{m-3}{n-2} \right\}, \quad (8)$$

з  $v = C_n^2 \frac{m(m-1)}{(m-2)^2}$  степенями вільності.

При виникненні істотних розбіжностей в оцінках експертів постає завдання визначення однорідних класів експертів та відкидання суджень експертів, які не входять у такі класи. Завдання виявлення групи експертів, всередині якої узгодженість думок висока, аналогічна завданню кластеризації. При цьому під кластером розуміють деяку компакту сукупність точок, яка характеризується певним значенням ступеня компактності точок. Достатньо відомі алгоритми виділення компактних груп точок для часткового випадку, коли відстань між двома компактними групами досить велика (відстань між двома найближчими точками, які належать різним групам, набагато більша відстані між двома максимально віддаленими точками однієї групи) [11].

### Висновок

Отже, значення коефіцієнтів важливості оптимізаційних критеріїв слабоструктурованої задачі формування розкладу та розподілу ресурсів, пронормовані відносно певної шкали, можна трактувати як бальні оцінки. Для корекції отриманих балів та підвищення їх достовірності можна використати метод послідовних порівнянь [10]. Наведені в роботі принципи опрацювання введеної експертами інформації є основою для побудови алгоритму опрацювання тверджень експертів. До його складу входять базові операції для взаємних перетворень та порівнянь, здійснення статистичного опрацювання зібраної інформації.

1. Верес О.М. Побудова множини критеріїв оптимізації укладання розкладу навчальних занять у ВЗО // Вісн. Національного університету "Львівська політехніка". – 2000. – №406. – С.59–65. 2. Верес О.М. Постановка задачі та система вимог до укладання розкладу навчальних занять у ВЗО // Вісн. ДУ "Львівська політехніка". – 1999. – №383 – С.18–23. 3. Верес О.М. Застосування психодіагностичних процедур в задачах укладання розкладу навчальних занять // Вісн. Національного університету "Львівська політехніка". – 2001. – №433. – С.225–233. 4. Общая психодиагностика / Под ред. А.А. Бодалева, В.В. Столина. – М., 1987. – 300с. 5. Белешев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. М., 1980. – 263с. 6. Костылев А.А., Миляев П.В. Статистическая обработка результатов экспериментов. – Л., 1991. – 181с. 7. Долгов Ю.А., Борщевич В.И. Информационный подход к моделированию технологических процессов. – Кишинев. 1984. – 172с. 8. Назар А.В. Застосування методів експертних оцінок при аналізі технологічних процесів виробництва напівпровідникових ІС // Вісн. ДУ "Львівська політехніка". – 1999. – №373. – С.51–58. 9. Дэвид Г. Метод парных сравнений. – М. Статистика, 1978. – 144с. 10. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. – М., 1988. – 238с. 11. Миркин Б.Г. Проблема группового выбора. – М.: Наука, 1974. – 256с.