

УДК 519.816

ЕКСПЕРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Г.М. Гнатієнко, В.Є. Снитюк

ЗАТ «Агроекопродукт», Черкаський державний технологічний університет

e-mail: snytyuk@gmail.com

Нещодавно вийшла друком монографія Гнатієнка Г.М. та Снитюка В.Є. «Експертні технології прийняття рішень» [1]. Книга присвячена розробці та обґрунтуванню моделей і обчислювальних методів розв'язання задач прийняття рішень, проблемам, що супроводжують процеси створення відповідного алгоритмічного забезпечення. Особлива увага приділена способам та методам одержання, обробки, аналізу та інтерпретації експертної інформації. Здійснено аналіз ефективності моделей і методів, які використовуються у процесах прийняття рішень та базуються на парадигмах “м'яких” обчислень. Викладено методи та алгоритми обробки експертної інформації в задачах прийняття рішень. Виконано формалізований опис математичних моделей ситуацій прийняття рішень.

Значну кількість результатів, описаних на сторінках книги, одержано вперше. До них належать багатокритеріальні постановки задач визначення результуючого ранжування, застосування схеми послідовного аналізу варіантів до задач експертного оцінювання великої розмірності, всебічне дослідження особливостей інтервального задання нормованих вагових коефіцієнтів та оригінальні непрямі методи їх визначення. Виконано розробку та дослідження методу визначення компетентності експертів на основі аксіоми незміщеності, запропоновано адаптивну процедуру коригування експертних висновків.

Оскільки багато практичних задач, які потребують в процесі розв'язку експертного втручання, є важко формалізованими та слабо структурованими, то авторами обґрунтовано застосовуються технології “м'яких обчислень” до розв'язання задачі кластеризації та відновлення пропусків.

У цілому монографію присвячено проблемам, в яких так чи інакше використовується евристика. В одних випадках людині пропонується взяти участь у формуванні адекватної моделі проблеми, в інших – вибрати формулу агрегування інформації, в третіх – визначити відношення переваги на окремих елементах математичної моделі, в четвертих – назвати ймовірність здійснення деяких подій тощо. Це є наслідком того, що експертне оцінювання в багатьох випадках є єдиною можливим методом вирішення реальних проблем. Успішне застосування експертних оцінок у цьому процесі багато в чому обумовлюється досконалістю математичного апарату аналізу та обробки експертної інформації.

У першому розділі монографії висвітлено основні поняття, які використовуються в задачах прийняття рішення. Наводиться огляд шкал вимірювання, способів нормування значень, мір близькості, способів агрегування інформації, принципів оптимальності об'єктів, які найчастіше використовуються в теорії прийняття рішень, які вже публікувалися в науковій літературі, але в систематичному вигляді подаються вперше. Класифікація задач прийняття рішень, яка пропонується у першому розділі, включає метрики, критерії, форми представлення даних та постановки задач, які використовуються в задачах експертного оцінювання і зустрічаються в різних роботах, але вперше наводяться у повному та систематизованому вигляді.

У цьому ж розділі розглядаються особливості впливу фактора суб'єктивності на прийняття рішень, досліджуються особливості колективного прийняття рішень, наводиться ретроспективний огляд формалізованого експертного оцінювання.

Другий розділ присвячено опису математичного забезпечення задач експертного оцінювання. Зокрема, розглядається постановка задачі та методи знаходження компромісного розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації, різні методи колективного вибору, які застосовуються у теорії голосування та загальна схема послідовного аналізу варіантів. Важливим напрямком у процесах прийняття рішень є застосування методів “м'яких” об-

числень, зокрема нейромережних технологій, еволюційного моделювання та елементів теорії нечітких множин.

У другому розділі наводиться також історичний огляд застосування евристики для вирішення різноманітних проблем, історія застосування послідовного аналізу варіантів та ретроспективний огляд застосування процедур колективного вибору.

У третьому розділі описано способи представлення матриць відношень між парами об'єктів, у систематизованому вигляді наведено формули перетворень між різними способами парних відношень переваги, розглянуто поняття кардинальної узгодженості метризованих відношень. Описується алгоритм локалізації матриці парних порівнянь за інтервалами вагових коефіцієнтів об'єктів, формули визначення міри схожості суджень експертів за вибраними ними підмножинами об'єктів. Наводяться формули визначення міри схожості експертів за експертним розподілом об'єктів по кластерах та алгоритм побудови матриці парних порівнянь шляхом порівняння наборів параметрів, які знаходяться поряд з антиутопічними точками. Описано процедури агрегування матриць парних порівнянь і алгоритм знаходження результуючого відношення на множині об'єктів. Наводяться також приклади застосування процедур побудови матриць парних порівнянь.

Четвертий розділ присвячено описові використання схем послідовного аналізу варіантів та методології багатокритеріальної оптимізації в задачах строгого ранжування об'єктів. Розглядаються процедури послідовного аналізу варіантів, які базуються на використанні умови ациклічності розв'язку. Наводяться необхідні означення та твердження. Наведено огляд задач колективного ранжування об'єктів та їх класифікація. Вводиться поняття ранжованості ряду та процедури визначення коефіцієнта ранжованості. Описуються послідовні алгоритми розв'язання задач визначення строгого результуючого ранжування об'єктів для різних метрик та за різними критеріями. Наводяться процедури послідовного аналізу варіантів, які базуються на використанні умови ациклічності розв'язку. Запропоновано базові елементи технології експертних оцінок при розв'язанні задачі синтезу складних систем.

Нехай k експертів з множиною індексів $l \in L = \{1, \dots, k\}$ задають свої переваги на множині об'єктів A у вигляді строгих ранжувань $R^l, l \in L$. Індивідуальні переваги кожного експерта на множині об'єктів можна представити у вигляді матриці $B^l = (b_{ij}^l)$, $i, j \in I$, $l \in L$,

де $b_{ij}^l = 1$, $i, j \in I = \{1, \dots, n\}$, $l \in L$, тоді і тільки тоді, коли на думку l -го експерта i -й об'єкт переважає j -й об'єкт, n – кількість об'єктів. Якщо l -й експерт вважає, що $a_i < a_j$, то $b_{ij}^l = -1$, $i, j \in I$, $l \in L$. До того ж, $b_{ij}^l + b_{ji}^l = 1$, $i \neq j$, $b_{ii}^l = 0$, $i, j \in I$, $l \in L$. Для задання матриці $B^l, l \in L$, експертів необхідно порівняти кожен об'єкт з кожним, тобто здійснити $n(n-1)/2$ порівнянь на множині об'єктів A .

На множині ранжувань або відповідних їм матриці парних порівнянь вводяться поняття міри їх близькості. Для визначення відстані між ранжуваннями об'єктів використовують

$$\text{– метрику неспівпадання рангів об'єктів у ранжуваннях експертів } d(R^j, R^l) = \sum_{i \in I} |r_i^j - r_i^l|,$$

де r_i^l ранг i -го об'єкта у ранжуванні l -го експерта, $R^l, l \in L$, $1 \leq r_i^l \leq n$,

$$\text{– метрику Хемінга } d(B^j, B^l) = 0,5 \sum_{i \in I} \sum_{t \in I} |b_{it}^j - b_{it}^l|.$$

Запропоновано та досліджено багатокритеріальний підхід до колективного упорядкування об'єктів. Задача знаходження колективного ранжування формалізується як багатокритеріальна дискретна комбінаторна задача

$$f_i(x) = \sum_{j \in I} f_i(x_{ij}) = \sum_{j \in I} |x_{ij} - x_j| \rightarrow \min, \quad i \in L, \quad (1)$$

$$x \in X^0 = \prod_{j \in I} X_j^0, \quad (2)$$

$$x_j \in X_j^0, j \in I,$$

$$x_j \neq x_l, l \neq j, j, l \in I. \quad (3)$$

Розв'язок задачі (1)-(3) називається ГВ-медіаною. Слід зазначити, що в загальному випадку не існує єдиного розв'язку задачі визначення строгих ранжувань об'єктів вигляду (1)-(3), тому слід розглядати не єдиний розв'язок, а підмножину еквівалентних розв'язків задачі (1)-(3). Для звуження підмножини одержаних розв'язків чи визначення єдиного розв'язку на цій підмножині можна шукати медіану Кука-Сейфорда або єдиний розв'язок за іншим критерієм.

Методи та алгоритми розв'язання задач нестрогого ранжування об'єктів описуються у п'ятому розділі. Наводяться процедури послідовного аналізу варіантів у задачах нестрогого ранжування об'єктів, що базуються на умові ациклічності розв'язку. Описуються послідовні алгоритми розв'язання одно- та багатокритеріальних задач визначення колективного ранжування об'єктів. Наводиться аналіз базисних підмножин у задачах нестрогого ранжування об'єктів. Описано послідовні алгоритми визначення нестрогих колективних ранжувань для неповних експертних матриць парних порівнянь та результати дослідження ефективності алгоритмів послідовного аналізу та відсіювання варіантів для задач визначення результуючого ранжування.

Задача знаходження компромісного ранжування об'єктів для нестрогих ранжувань формалізується в класі багатокритеріальних комбінаторних моделей:

$$f_i(x) = \sum_{j \in H} f_i(x_j) = \sum_{j \in H} |c_{ij} - x_j| \rightarrow \min, i \in L, \quad (4)$$

$$x_j \in X_j^0 = \{-1, 0, 1\}, j \in H = \{1, \dots, n(n-1)/2\}, \quad (5)$$

$$x \in D^A \subset X^0, X^0 = \prod_{j \in H} X_j^0. \quad (6)$$

Розв'язок задачі (4)-(6) називається ВГ-медіаною і знаходиться застосуванням розроблених авторами процедур послідовного аналізу варіантів.

Шостий розділ присвячено задачам визначення вагових коефіцієнтів об'єктів. Виконано дослідження проблем визначення вагових коефіцієнтів та досліджуються особливості інтервальної форми вагових коефіцієнтів в задачах експертного оцінювання. Описано методи непрямого визначення інтервалів вагових коефіцієнтів за неповною матрицею парних порівнянь, метризації ранжувань об'єктів, узагальнення методу стабілізації переваг, визначення границь зміни інтервалів вагових коефіцієнтів об'єктів, одержаних при розв'язанні задач лінійного програмування. Наводяться процедури перетворення між інтервальними бальними оцінками та нормованими ваговими коефіцієнтами. Описуються адаптивні процедури визначення інтервалів вагових коефіцієнтів параметрів за відношеннями між об'єктами з використанням різних евристик, а також узагальнення процедури непрямого визначення інтервалів вагових коефіцієнтів параметрів на випадок метризованого задання відношень між об'єктами. Наведено також приклади розв'язання задач визначення вагових коефіцієнтів.

Наукові дослідження задач експертного оцінювання та практика побудови систем підтримки прийняття рішень показують, що далеко не завжди експерти та особа, яка приймає рішення, мають чітке уявлення про структуру переваг на множині об'єктів, яка досліджується. Побудова структури переваг у формалізованому вигляді є складною задачею для людини.

В шостому розділі описано близько десяти методів та алгоритмів визначення вагових коефіцієнтів. Зокрема, наводяться алгоритми адаптивного задання гіперпаралелепіпеда вагових коефіцієнтів (ГВК), які можуть бути застосовані для знаходження ГВК в задачах

векторної оптимізації та багатоатрибутного вибору довільного класу. Експертиза організується таким чином, що дозволяє на основі послідовного уточнення відношень переваги на множині ефективних об'єктів побудувати ГВК параметрів, який постійно звужується, “адаптуючись” до переваг експерта і таким чином локалізує окіл компромісного об'єкта.

Нехай $\omega_i^j = 0$, $i \in I$, $j \in J = \{1, \dots, m\}$, де m – кількість параметрів, у тому випадку, коли значення j -го параметра у i -му наборі параметрів має максимальний вплив на якість об'єкта. Значення ω_i^j , $i \in I, j \in J$, є близьким до 1 у випадку, коли j -й параметр у i -му наборі параметрів має мінімальний вплив на якість об'єкта. Нехай на множині безрозмірних значень параметрів об'єктів експертом задано відношення переваги для двох довільних наборів параметрів $\omega^1 = (\omega_1^1, \dots, \omega_m^1) \succeq (\omega_1^2, \dots, \omega_m^2) = \omega^2$, $\omega^1, \omega^2 \in \prod_{i \in J} [0, 1]$.

Введемо таку евристику.

Евристика Е1. Будемо вважати, що з суб'єктивного судження експерта про перевагу об'єкта a_1 над об'єктом a_2 , тобто з відношення $a_1 > a_2$, $a_1, a_2 \in A$, випливає справедливості співвідношення $\max_{j \in J} \omega_j^{(1)} \beta_j < \max_{j \in J} \omega_j^{(2)} \beta_j$.

Описано послідовний алгоритм адаптивної локалізації ГВК, заснований на застосуванні евристики Е1.

Наведена постановка задачі адаптивного визначення вагових коефіцієнтів параметрів може бути застосована для процедур, які будуються на інших евристичних.

Евристика Е2. Якщо експертним шляхом визначено відношення між об'єктами $a_i > a_l$, $i, l \in I$, то це означає, що є справедливою нерівність $\sqrt{\sum_{j \in J} (\omega_j^{(i)} \beta_j)^2} < \sqrt{\sum_{j \in J} (\omega_j^{(l)} \beta_j)^2}$, де $\beta_j, j \in J$ – нормовані вагові коефіцієнти параметрів.

Для розв'язання задачі у постановці, розглянутій вище, можна застосувати ще одну евристику.

Евристика Е3. З того, що експерт вважає правомірним відношення $a_i > a_l$, $i, l \in I$, (тобто $\omega^{(i)} = \omega(a_i) > \omega^{(l)} = \omega(a_l)$, $i, l \in I$), випливає справедливості нерівності $\sum_{j \in J} \omega_j^{(i)} \beta_j < \sum_{j \in J} \omega_j^{(l)} \beta_j$, $i, l \in I$.

Задача, утворена застосуванням евристики Е3, формалізується у класі задач лінійного програмування і може бути розв'язана застосуванням алгоритму послідовного аналізу варіантів для задач лінійного програмування великої розмірності.

У цьому розділі виконано огляд та визначено аспекти прийняття групових рішень в нечітких умовах. Наводиться алгоритм побудови розмитої функції належності на неспівпадаючих терм-множинах. Описується процедура визначення функції належності шляхом аналізу частотності значень. Розглядається зв'язок та взаємна відповідність функції належності та гіперпаралелепіпеда вагових коефіцієнтів об'єктів. Наводяться процедури визначення функції належності на основі матриці парних порівнянь. Описуються приклади застосування методів та алгоритмів обробки нечіткої інформації.

Запропоновано процедуру експертного аналізу визначення міри узгодженості вимоги певного значення параметра із можливістю його отримання, яка є необхідною при прийнятті рішень, базуючись на суб'єктивних судженнях експертів про варіанти розвитку майбутніх процесів. Розроблено і виконано аналіз технології вибору оптимального об'єкта в умовах композиційної невизначеності, а також наведено моделі процесу прийняття адаптивних рішень композиційної структури з детермінованими та ймовірнісними характеристиками. Описано еволюційні моделі і методи, які застосовуються при розв'язанні задач кластеризації та відновленні пропусків у даних.

Восьмий розділ присвячено задачам визначення компетентності експертів. Розглядаються особливості взаємооцінки експертів та визначення компетентності експертів на

основі аналізу інтервалів вагових коефіцієнтів. Описуються результати дослідження компетентності у випадку непрямого визначення вагових коефіцієнтів та компетентність експертів у задачі “узагальненого оцінювання”. Також наведено класифікацію питань анкети та процедуру визначення компетентності експертів за відсутності апіорної інформації на базі аксіом неzmіщеності.

Зокрема, визначення компетентності експертів, якщо їм задаються питання, що передбачають відповіді "Так" або "Ні", здійснюється за таким алгоритмом:

Крок 1. Методом експертного опитування визначається матриця $L = (l_{ij})_{i=1, j=1}^{k, m_1}$,

де $l_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i\text{-й експерт дав стверджувальну відповідь на } j\text{-е питання,} \\ 0, & \text{в іншому випадку.} \end{cases}$

Крок 2. Формується послідовність трикутних матриць $\{T_1^l\}_{l=1, m_1}$, де $T_1^l = (t_{ij}^l)_{i, j=1}^k$, $k = \overline{1, m_1}$ і

$t_{ij}^k = \chi(l_{ik} = l_{jk})$ при $i > j$, при $i \leq j$ $t_{ij}^k = 0$, де $\chi(B) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } B \text{ вірно,} \\ 0, & \text{в іншому випадку.} \end{cases}$

Крок 3. Обчислюються елементи матриці $T_1' = (t_{ij}')_{i, j=1}^k$, $t_{ij}' = \sum_{l=1}^{m_1} \chi(l_{il} = l_{jl})$, $i > j$, при $i \leq j$ $t_{ij}' = 0$.

Крок 4. Нормуванням елементів матриці T_1' одержується матриця $T_1 = (t_{ij})_{i, j=1}^k$, $t_{ij} = \frac{t_{ij}'}{\sum_{i, j=1, i > j}^k t_{ij}'}$.

Крок 5. Якщо питання обмежуються лише вказаним типом або на цьому етапі є необхідність у попередньому висновку про компетентність експерта, то її значення обчислюється за

формулою $\gamma_p = \frac{\sum_{\substack{i, j=1 \\ i > j \\ (j=p) \vee (i=p)}}^k t_{ij}}{\sum_{p=1}^k \sum_{\substack{i, j=1 \\ i > j \\ (j=p) \vee (i=p)}}^k t_{ij}}$, $p = \overline{1, k}$.

Значну частину прикладних задач неможливо розв'язати без залучення експертної інформації. Але у більшості випадків недооцінюється значення процесу її коректного одержання та обробки. Крім того, аналіз практичних ситуацій прийняття рішень свідчить про недостатнє використання наукових результатів для розв'язання реальних задач.

Одним із завдань цієї монографії була спроба наблизити психологічні аспекти прийняття рішень до математичного інструментарію, який традиційно використовується у задачах підтримки прийняття рішень та суміжних галузях досліджень.

Викладені у монографії методи та алгоритми є результатом більше ніж 20-річних наукових досліджень. За результатами цих досліджень під керівництвом авторів захищено кілька кандидатських дисертацій та декілька десятків дипломних робіт.

Монографія призначена для наукових працівників та практичних фахівців в області комп'ютерних наук та прикладної математики, економістів, інженерів, адміністраторів, діяльність яких пов'язана з прийняттям технічних чи господарських рішень і котрі бажають оволодіти сучасною методологією та математичним апаратом прийняття рішень.

Література

1. Гнатієнко Г.М., Снитюк В.Є. Експертні технології прийняття рішень: Монографія. – К.: ТОВ «Маклаут», 2008. – 444 с.