

УДК 519.816

**В. Г. Тоценко**

Інститут проблем реєстрації інформації НАН України  
вул. М. Шпака, 2, 03113 Київ, Україна

## Методи та засоби підтримки прийняття рішень

*Викладено результати наукових досліджень і практичних розробок методів експертного оцінювання та методів побудови систем підтримки прийняття рішень відділу аналітичних методів інформаційних технологій Інституту проблем реєстрації інформації НАН України. Визначено невирішені проблеми в галузі підтримки прийняття рішень.*

**Ключові слова:** експертне оцінювання, підтримка прийняття рішень.

Відділ надійності та діагностики (починаючи з 2005 р. змінив назву на «відділ аналітичних методів інформаційних технологій») було створено у жовтні 1987 р. У статті викладаються основні здобутки відділу надійності та діагностики з моменту свого створення, а також невирішені проблеми, над якими, на нашу думку, слід працювати. Результати досліджень відділу в галузях надійності і діагностики було розглянуто у [1]. Тому в статті головну увагу приділено результатам досліджень в галузях експертного оцінювання й підтримки прийняття рішень, що є в центрі уваги відділу за останнє десятиріччя.

### Методи експертного оцінювання

Більше десяти років тому логіка наукових досліджень і потреби практики примусили розвивати в Інституті проблем реєстрації інформації (ІПРІ) НАН України достатньо новий напрямок — теорію підтримки прийняття рішень. Цей напрямок народився від несподіваних батьків — методів вибору найбільш ефективних алгоритмів побудови тестів для пристроїв дискретної дії. Постає проблема оцінки впливу параметрів принципової схеми пристрою (кількості запам'ятовуваних елементів, виходів, розгалужень, зворотних зв'язків тощо) на довжину тесту з урахуванням досвіду застосування різних алгоритмів побудови тестів. Унаслідок вирішення цієї задачі було розроблено принципи побудови одного з класів систем підтримки прийняття рішень (СППР), а саме багатокритеріальних СППР з урахуванням досвіду. Розвиток цих принципів вимагав рішення багатьох задач, які мають самостійне значення.

У теорії підтримки прийняття рішень можна виділити проблеми одержання й обробки: кардинальних оцінок; ординальних оцінок.

© В. Г. Тоценко

При цьому треба вирішити задачі отримання й обробки: індивідуальних і групових одно- і багатокритеріальних оцінок; з урахуванням і без урахування відносної компетентності експертів.

Наступною проблемою є розробка алгоритмів одержання підсумкових оцінок альтернатив і систем, що їх реалізують. Розглянемо ці питання докладніше.

**Кардинальні однокритеріальні оцінки.** Для одержання абсолютних оцінок застосовується модифікований метод середньої точки [1]. Відносні індивідуальні експертні оцінки одержують методами без зворотного й зі зворотнім зв'язком з експертом [1–4]. Уперше запропоновано послідовний метод обробки матриці парних порівнянь, що спрощує процес їхньої обробки, дає змогу генерувати алгоритми експертного оцінювання [3, 4]. Використання цього підходу дає можливість обчислювати зміст звернень до експерта в залежності від результатів, одержаних від нього у перебігу парних порівнянь. Виконано експериментальне дослідження методів експертного оцінювання [5, 6]. Дані, які одержано при проведенні цих досліджень, використано при застосуванні розробленого способу вибору методу експертного оцінювання, який розглядається як задача багатокритеріального вибору [7].

Методи одержання групових експертних оцінок викладено в роботах [1, 8, 9]. При цьому розглянуто загальний випадок, коли матриці індивідуальних парних порівнянь є неповними [9], і враховується відносна компетентність експертів. Методи визначення відносної компетентності експертів у питанні, що розглядається, викладено в [29, 38]. Експериментально досліджено вплив розташування експертів у різних просторово відмінних місцях й об'єднання їх за допомогою Internet на характеристики процесу експертного оцінювання [11, 12].

Методи кількісної оцінки ступеню узгодженості множини кардинальних експертних оцінок базуються на понятті спектрального коефіцієнта узгодженості вперше введеного в [12]. Там же розглянуто проблему достатності узгодженості. Уведені поняття порогу визначення та порогу застосування. На відміну від відомих емпіричних методів ці порогові значення коефіцієнта узгодженості розраховуються, запропоновані алгоритми їхнього обчислення [1, 13, 14].

У [15] запропоновано новий метод одержання відносних кардинальних оцінок. Експериментально показано, що при його застосуванні підвищується складність процесу отримання цих оцінок, але при цьому підвищується їхня точність [6].

Іноді кількість альтернатив при експертному оцінюванні їхньої відносної вагомості перевищує психофізіологічні можливості людини, які, як відомо, обмежуються  $7 \pm 2$  об'єктами, які одночасно може обробляти експерт. У роботі [1] запропоновано метод, який дозволяє розділяти матрицю парних порівнянь на підматриці, що містять припустиму, з точки зору обмеження можливостей експерта, кількість альтернатив.

**Ординальні оцінки.** Для визначення індивідуальних ординальних оцінок (ранжувань) запропоновано використовувати відомі методи розширення й виключення [1]. Узгодженість множини ординальних ранжувань пропонується оцінювати відомими коефіцієнтами конкордації та рангової кореляції. Запропоновано спосіб їхнього обчислення з урахуванням компетентності експертів, а також алгоритми обчислення їхніх порогових значень: порогу визначення та застосування [16]. Розроблено алгоритми визначення групових ординальних експертних оцінок

з урахуванням компетентності експертів без зворотного зв'язку з ними [17] та у випадку, коли такий зв'язок використовується [18]. При цьому обчислюється зміст звернень до експертів.

Вирішено й зворотну задачу: знаючи підсумкове багатокритеріальне ранжування й індивідуальні ранжування по кожному критерію, знайти відносні ваги критеріїв або відносні показники компетентності експертів [19]. Виконано порівняльне дослідження відомих методів Борда і Кондорсе. Встановлено, що, на жаль, вони дають у великій кількості застосувань різні підсумкові групові ранжування.

**Багатокритеріальні кардинальні оцінки.** Піонерські роботи по одержанню оцінок цього класу виконано Сааті Т. Ці оцінки покладено в основу багатокритеріального методу підтримки прийняття рішень, який достатньо широко розповсюджений у світі. Але, на жаль, йому притаманна вада, яка полягає в зміні рангів альтернатив при зміні їхньої кількості. Цей недолік методу досліджено в ряді робіт. Спроби позбавитися цього недоліку не дали бажаного результату. Дослідження показали, що причину виникнення цього феномену закладено у властивостях методу парних порівнянь, що запропоновано Сааті. У [20] знайдено достатні умови відсутності реверсу рангів і запропоновано метод обчислення багатокритеріальних кардинальних оцінок, вільний від цієї вади. Експериментальні дослідження, результати яких викладено в [21] повністю довели достовірність одержаних у [20] теоретичних результатів.

У роботі [22] поставлено та вирішено важливу задачу визначення багатокритеріальної оцінки ступеню наближення об'єкта до еталонного. Вона виникає, наприклад, при комплексній оцінці стану здоров'я людини для вирішення питання про придатність її для виконання специфічної діяльності, (наприклад, космонавта, той чи інший вид Збройних сил), ступеню придатності об'єкта до експлуатації, визначення порушення авторського права тощо.

## Методи підтримки прийняття рішень

**Розширення можливостей багатокритеріальних методів підтримки прийняття рішень.** Удосконалення багатокритеріальних методів підтримки прийняття рішень здійснювалось за двома напрямками:

- розширення кількісних показників;
- надання нових якісних властивостей.

Розширення кількісних показників, у першу чергу, стосувалося збільшення кількості альтернатив, з якими може працювати метод і система, що його реалізує. При застосуванні традиційних методів, наприклад того, що запропоновано в [25], не перевищує психофізіологічних обмежень людини, тобто  $7 \pm 2$ . Це зовсім незадовільно при проведенні широкомасштабних конкурсів проектів, де кількість альтернатив (проектів) сягає декількох сотень і навіть тисяч. У [23] запропоновано і реалізовано метод адитивної декомпозиції задачі, а в [24] — метод декартової декомпозиції задачі багатокритеріального оцінювання.

Другою задачею, яку прийшлося вирішувати, є метод групового формулювання критеріїв. Метод вирішення цієї задачі викладено в роботі [25].

**Цільові методи підтримки прийняття рішень.** Багатокритеріальні методи оцінки альтернатив при підтримці прийняття рішень є придатними при виконанні двох необхідних умов:

- 1) можна побудувати єдину множину критеріїв, за кожним з яких може бути оціненою кожна альтернатива;
- 2) особа, що приймає рішення (ОПР), «володіє проблемою».

При прийнятті рішень щодо побудови складних комплексних цільових програм (КЦП) принаймні одна з цих умов не виконується, тому відомі багатокритеріальні методи підтримки прийняття рішень не можуть бути застосованими. Характерною ознакою цих КЦП є різноманітність альтернатив (проектів). До них входять проекти економічного, гуманітарного, екологічного й т.ін. спрямування. Саме це обумовлює неможливість формулювання для оцінки кожного з них єдиної множини критеріїв. У цих умовах єдиний можливий спосіб порівняльної оцінки ефективності проектів полягає у визначенні для кожного з проектів ступеню досягнення головної цілі КЦП, обумовленого повним виконанням цього проекту. Принципи цільового оцінювання альтернатив викладено у [19, 26].

Складні КЦП розраховані, звичайно, на виконання впродовж значних відрізків часу (роки, десятки років). За цей час проект, який був малоефективним на початку цього відрізка часу, може стати вельми ефективним на його кінці. Тому обґрунтоване планування таких КЦП можливе шляхом урахування інтегральної оцінки відносної ефективності проектів на протязі запланованої тривалості виконання КЦП. Метод обчислення таких оцінок викладено в [27].

При прийнятті рішень потрібно враховувати невизначеність експертної інформації, яка використовується. Метод урахування обмеженої достовірності інформації щодо ймовірності виконання проектів КЦП, запропоновано в [28], а спосіб урахування невизначеності множини підцілей — в [29]. Проблемі підтримки прийняття рішень при наявності загроз і ризиків присвячено роботи [30, 31].

**Методи підтримки прийняття рішень з урахуванням досвіду особи, що приймає рішення.** Урахування досвіду ОПР сприяє підвищенню якості рішень, що приймаються, якщо умови, за яких приймається рішення, є стаціонарними, система переваг ОПР залишається незмінною, і обсяг попередніх рішень такого ж гатунку, що і рішення, яке приймається зараз, є достатньо великим. При виконанні цих умов з'являється можливість знайти ваги відносної важливості альтернатив не шляхом експертного оцінювання їхніх значень, а розрахувати їх на основі досвіду. Методи вирішення цієї задачі розроблені тільки для кардинальних оцінок. У [32] запропоновано оригінальний метод визначення ранжування з урахуванням досвіду, що спирається на метод описаних еліпсоїдів. Метод визначення прогнозованих з урахуванням досвіду значень відносної ефективності множини альтернатив запропоновано в [33]. Для визначення ваг критеріїв по заданій множині індивідуальних і глобальних ранжувань можна використати метод, який базується на навчанні нейронної мережі, що викладено в [19].

Аналіз алгоритмів обробки експертної інформації у різних предметних галузях показав їхню єдність, що дозволило уніфікувати їх, звести до невеликої кількості [14] й організувати підготовку універсальних фахівців — організаторів експертизи, які здатні організувати експертизу в різних предметних галузях [34].

## Системи підтримки прийняття рішень

Основні теоретичні результати, які були отримані у відділі, підлягали експериментальній перевірці шляхом побудови відповідних систем і вирішенням низки практичних задач. У [23] описано систему підтримки прийняття рішень, яка використовувалася при проведенні широкомасштабних (до 2000 проектів) конкурсів. Систему підтримки прийняття рішень багатокритеріального типу з розширеними можливостями описано в роботі [25].

Розроблено три модифікації системи підтримки прийняття рішень (СППР) з цільовим оцінюванням альтернатив типу «Солон». Перша з них, «Солон-1» [1, 35] була застосована для оцінки ефективності проектів, які підтримуються Міжнародним Фондом «Відродження». Вона була здатна обробляти ієрархії лінійних цілей без зворотних зв'язків. СППР «Солон-2» [29] спроможна обробляти ще й порогові цілі та ієрархії зі зворотними зв'язками між цілями. Найбільш складною і досконалою є СППР «Солон-3» [1, 31, 36]. Вона призначена для оцінки відносної ефективності проектів КЦП на інтервалі часу.

Розроблено дві СППР, призначені для підтримки прийняття рішень щодо кадрових питань [37, 38]. Але перша з них базується на досвіді керівника та призначена саме для нього, а друга — для особи, що бажає підібрати для себе професію.

## Невирішені проблеми

На основі досвіду досліджень можна сформулювати такі невирішені проблеми.

1. Психологічні проблеми застосування СППР.
2. Верифікація рекомендацій СППР.
3. Формалізація процедури перевірки множини критеріїв на незалежність за перевагами.
4. Розподіл ресурсів при структурно-алгоритмічному способі задання функції цінності (розробляється).
5. Підтримка прийняття рішень у конфліктних ситуаціях (розробляється).
6. Метод підтримки прийняття рішень на основі досвіду (ординальні оцінки) (розробляється).
7. Метод підтримки прийняття рішень на основі досвіду (кардинальні оцінки) (розробляється).
8. Визначення законів розподілу експертних оцінок ступенів переваг альтернатив (розробляється).
9. Обчислення багатокритеріальних групових експертних оцінок з урахуванням законів розподілу індивідуальних оцінок.
10. Розробка методики визначення функцій приналежності нечітких експертних оцінок.

1. Тоценко В.Г. Методы и системы поддержки принятия решений. Алгоритмический аспект. — Наук. думка, 2002. — 382 с.

2. Totsenko V.G., Tsyganok V.V. Method of Paired Comparisons Using Feedback with Expert // J. of Automation and Information Sciences. — 1999. — 31, № 9. — P. 86–97.

3. Totsenko V.G. Generation of Pair Comparisons Algorithms for Simulation of Expert Preferences During Decision-Making Support. Part 1 // Engineering Simulation. — 2001. — Vol.18. — P. 303–316.

4. *Totsenko V.G.* Generation of Pair Comparisons Algorithms for Simulation of Expert Preferences During Decision-Making Support. Part 2 // *Engineering Simulation*. — 2001. — Vol. 18. — P. 447–456.
5. *Totsenko V.G., Kachanov P.T., Kachanova E.V., Deev A.A., Torba L.T.* Experimental Research of Methods for Getting Cardinal Expert Estimates of Alternatives. Part 1. Methods Without Expert Feedback // *J. of Automation and Information Sciences*. — 2003. — Vol. 35.
6. *Totsenko V.G., Tsiganok V.V., Kachanov P.T., Kachanova E.V., Deev A.A., Torba L.T.* Experimental Research of Methods for Getting Cardinal Expert Estimates of Alternatives. Part 2. Methods with Expert Feedback // *J. of Automation and Information Sciences*. — 2003. — Vol. 35.
7. *Тоценко В.Г., Цыганок В.В., Качанов П.Т.* Підтримка прийняття рішення щодо вибору методу експертного оцінювання // *Системные исследования и информационные технологии*. — 2002. — № 4. — С. 52–61.
8. *Totsenko V.G.* Matching and Aggregation of Experts Estimates Taking into Account Experts' Competence while Group Estimation of Alternatives for Decision-Making Support // *J. of Automation and Information Sciences*. — 2002. — Vol. 34, N 8.
9. *Zgurovsky M.Z., Totsenko V.G., Tsyganok V.V.* Group Incomplete Paired Comparisons with Account of Expert Competence // *Mathematical and Computer Modelling*. — 2004, February. — Vol. 39, N 4–5. — P. 349–361.
10. *Totsenko V.G.* Determination of Relative Competence of Group Members in the Subject under Discussion on Group Decision-Making // *J. of Automation and Information Sciences*. — 2002. — Vol. 34, N 4.
11. *Тоценко В.Г., Цыганок В.В., Ивашкевич Н.В.* Исследование методов группового экспертного оценивания экспертами, работающими в INTERNET // *Реєстрація, зберігання та оброб. даних*. — 2004. — Т. 6, № 2. — С. 81–87.
12. *Тоценко В.Г., Цыганок В.В., Дев А., Олійник І.Д.* Побудова баз знань систем підтримки прийняття рішень групами розподілених експертів // *Реєстрація, зберігання і оброб. даних*. — 2002. — Т. 4, № 4. — С. 120–128.
13. *Totsenko V.G.* The Agreement Degree of Estimations Set with Regard for Experts' Competence // *Proc. of the 4-th International Symp. on the Analytic Hierarchy Process*. — Burnaby, B.C. (Canada). — 1996, 8–12 July. — P. 224–241.
14. *Totsenko V.G.* Spectral Method for Determination of Consistency of Expert Estimate Sets // *Engineering Simulation*. — 2000. — **17**. — P. 715–727.
15. *Цыганок В.В.* Комбинаторный алгоритм парных сравнений с обратной связью с экспертом // *Системы підтримки прийняття рішень. Теорія і практика* // *Збірники доповідей науково-практичної конференції з міжнародною участю* // *НАН України. Інститут проблем математичних машин і систем*. — 2006. — С. 166–169.
16. *Totsenko V.G.* Method of verifying Sufficiency of Individual Ranking Consistency in Group Decision-Making // *J. of Automation and Information Sciences*. — 2006. — Vol. 38.
17. *Totsenko V.G.* Method of Determination of Group Multicriteria Ordinal Estimates with Account of Expert Competence // *J. of Automation and Information Sciences*. — 2005. — Vol. 37.
18. *Totsenko V.G.* Group Ranking under Feedback with Experts Taking into Account Their Competence // *J. of Automation and Information Sciences*. — 2006. — Vol. 38.
19. *Каденко С.В.* Визначення відносної вагомості критеріїв на основі ординальних оцінок // *Реєстрація, зберігання і оброб. даних*. — 2006. — Т. 8, № 2. — С. 100–110.
20. *Totsenko V.G.* On Problem of Reversal of Alternatives Ranks while Multicriteria Estimating // *J. of Automation and Information Sciences*. — 2006. — Vol. 38.
21. *Егорова Е.А., Сигал Т. Г., Тоценко В.Г.* Экспериментальное исследование феномена ревер-

са рангов // Электронное моделирование. — 2007. — № 1. — С. 49–59.

22. Качанов П.Т., Косарев Е.К., Сигал Т.Г. Индивидуальная мультикритериальная абсолютная кардинальная экспертная оценка // Электронное моделирование. — 2006. — № 6. — С. 37–44.

23. Тоценко В.Г., Ларин Л.К. Підтримка прийняття рішень при проведенні великомасштабних конкурсів проектів // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 1999. — Т. 1, № 2. — С. 69–77.

24. Тоценко В.Г. О декомпозиции задач мультикритериального оценивания альтернатив при поддержке принятия решений // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2002. — № 1. — С. 109–119.

25. Тоценко В.Г., Сигал Т.Г. Система підтримки прийняття рішень мультикритеріального оцінювання з розширеними можливостями // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2005. — Т. 7, № 3. — С. 98–107.

26. Totsenko V.G. Estimation of Comparative Efficiency of Projects of Complex Target-Oriented Programmes Using the Simulation Method of Goal Hierarchy // Engineering Simulation. — 1999. — Vol. 16. — P. 361–375.

27. Totsenko V.G. One Approach to the Decision Making Support in R&D Planning. Part 2. The Method of Goal Dynamic Estimating of Alternatives // J. of Automation and Information Sciences. — 2001. — Vol. 33, N 4. — P. 82–90.

28. Тоценко В.Г. Метод підтримки прийняття рішень на основі цільового динамічного оцінювання альтернатив з урахуванням ймовірностей їх реалізації // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2001. — Т. 3, № 4. — С. 102–109.

29. Тоценко В.Г., Егорова Е.А. Метод поддержки принятия решений в условиях неопределённости структуры базы знаний относительно проблемы, по которой принимается решение // Электронное моделирование (передана в печать).

30. Totsenko V.G. On One Approach to Decision-Making Support for Formation of Complex Target-Oriented Programs in the Presence of Threats and Risks. Part 1. Models of Threats and Risks // J. of Automation and Information Sciences. — 2004. — Vol. 36.

31. Totsenko V.G. On One Approach to Decision-Making Support for Formation of Complex Target-Oriented Programs in the Presence of Threats and Risks. Part 2. Evaluation of Project Efficiency // J. of Automation and Information Sciences. — 2004. — Vol. 36.

32. Totsenko V.G. and Myagkiy V.N. On an Approach to Constructing a Procedure for Selecting Alternatives in Decision-Making Support System // Engineering Simulation. — 1996. — Vol. 13. — P. 635–644.

33. Тоценко В.Г. Підтримка прийняття рішень, що повторюються, з урахуванням досвіду // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 1999. — Т. 1, № 1. — С. 110–117.

34. Тоценко В.Г. Об унификации алгоритмов организации экспертиз // Проблемы правовой информатизации. — 2006. — № 2. — С. 96–102.

35. Тоценко В.Г., Будзан Б.П., Ларин Л.К., Цыцарев В.Н., Снежко В.И. Технология использования системы поддержки принятия решений «Солон-1» при планировании комплексных целевых программ // Управляющие машины и системы. — 2000 — № 4. — С. 70–78.

36. Totsenko V.G. One Approach to the Decision-Making Support in R&D Planning. Part 1. The Long-Term Plan Model // J. of Automation and Information Sciences. — 2001. — Vol. 33, N 2. — P. 1–7.

37. Тоценко В.Г., Деєв А.О., Кудін А.М. Система підтримки кадрових рішень // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2000. — Т. 2, № 4. — С. 105–111.

38. Егорова О.О., Дурицька С.Г., Тоценко В.Г. Система підтримки прийняття рішень щодо вибору професії // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2003. — Т. 5, № 4. — С. 97–105.

Надійшла до редакції 09.07.2007