

УДК 519.816

В. Г. Тоценко¹, Т. Г. Сігал²

¹Інститут проблем реєстрації інформації НАН України
вул. М. Шпака, 2, 03113 Київ, Україна

²Національний технічний університет України «КПІ»

Мультикритеріальна система підтримки прийняття рішень з розширеними можливостями

Розглянуто побудову мультикритеріальної системи підтримки прийняття рішень з розширеними можливостями. Проведено аналіз існуючих систем підтримки прийняття рішень на основі мультикритеріального оцінювання і виявлено напрямки їх удосконалення. Наведено концепцію та структуру системи, що описується. Розроблена система відрізняється від існуючих можливістю спільного використання кількісних та якісних критеріїв для групового визначення вагомості критеріїв й альтернатив, а також можливістю розподілу ресурсів між альтернативами.

Ключові слова: мультикритеріальна система підтримки прийняття рішень, експертні оцінки, методи групового експертного оцінювання, кількісні та якісні критерії, розподіл ресурсів.

Вступ

У багатьох сферах діяльності виникає потреба прийняття рішень на основі оцінок однорідних альтернатив. Прикладами можуть слугувати: відбір науково-технічних проектів, пропозицій учасників тендеру, типу обладнання, кандидата на заміщення вакансії тощо. Однорідність альтернатив створює умови формування єдиної множини критеріїв для оцінки кожної альтернативи, тобто для використання багатокритеріальних методів підтримки прийняття рішень. Необхідними умовами застосування багатокритеріальних методів є: наявність множини критеріїв, за кожним з яких може бути оцінена кожна альтернатива; особа, що приймає рішення (ОПР), повинна «повністю володіти проблемою», тобто бути спроможною сформулювати множину проектів, вибрати експертів, які будуть працювати за програмою, а також визначити відносну компетентність експертів.

Системи підтримки прийняття рішень (СППР) на основі багатокритеріального оцінювання та використання функції корисності отримали найбільше практичне застосування. Серед них відмітимо: EXPERT CHOICE [1], БЫСТРЫЙ РЕЙТИНГ

[2], Система підтримки вибору рішення методом аналізу ієрархії (СПВР МАІ) [3], Автоматизована система експертного оцінювання ВИБОР ПРОЕКТА (АСЕО ВИБОР ПРОЕКТА) [4], Автоматизована система експертного оцінювання ПРИОРИТЕТНОСТЬ ФИНАНСИРОВАНИЯ (АСЕО ПРИОРИТЕТНОСТЬ ФИНАНСИРОВАНИЯ) [5], Інформаційно-аналітична система ОЦЕНКА И ВЫБОР (ІАС ОЦЕНКА И ВЫБОР) [6].

Метод, що реалізовано у системі підтримки прийняття рішень EXPERT CHOICE, базується на оцінці ОПР відносної вагомості критеріїв, оцінках альтернатив по кожному з критеріїв і обчисленні на цій основі значення функції корисності (рейтингу альтернатив). EXPERT CHOICE було використано для допомоги компаніям і державним агентствам у різних сферах: розподіл ресурсів; вибір постачальника; стратегічне планування; управління ризиками; управління портфелем інформаційних технологій. У всіх інших названих СППР [2–6] використовуються різні модифікації методу аналізу ієрархій (МАІ), який розроблено Сааті і реалізовано у EXPERT CHOICE.

СППР БЫСТРЫЙ РЕЙТИНГ [2] використовується при проведенні конкурсів інвестиційних проектів і тендерів, виборі напрямку розвитку при стратегічному плануванні діяльності підприємства та банку. У цій системі використовуються оцінки, дані декількома експертами. Вагомість оцінок експерта залежить від ступеню його компетентності, яка враховується рейтингом експерта, що проставляється керівником. Особливістю цієї СППР є використання чотирьох фіксованих значень ступенів переваг критеріїв: від низької до абсолютної. Більш високий ступінь переваги відповідає більшому розриву між критеріями. Ступені переваги встановлюються експертами й узгоджуються з особою, що приймає рішення. Результатом роботи системи БЫСТРЫЙ РЕЙТИНГ є рейтинги варіантів рішень чи об'єктів.

У назву СПВР МАІ [3] увійшло найменування її основного методу — Методу аналізу ієрархій. Система може бути використана при рішенні задач планування, складанні бюджетів й оптимізації розміщення ресурсів. СПВР МАІ дозволяє обробляти 3-х, 4-х і 5-ти рівневі ієрархії, причому як повні, так і неповні.

Технологія АСЕО ВИБОР ПРОЕКТА [4] є детально розробленим й ефективним інструментом супроводження експертиз й одержання багатокритеріальних оцінок об'єктів. Система орієнтована на роботу з експертами високої кваліфікації, що відрізняє її від традиційних експертних систем. ВИБОР ПРОЕКТА має можливість роботи в умовах неповної експертної інформації, тобто обробки неповних даних, обліку індивідуальних переваг експерта при визначенні порівняльної важливості критеріїв, можливістю аналізу погодженості оцінок експертів за відсутності повної інформації. Для виконання основної задачі з відбору проекту система реалізує наступні функції: класифікацію проектів для виключення дублювання; оцінку проектів за інтегральним критерієм, аналіз узгодженості рішень експертів; класифікацію експертів з узгодженості оцінок; визначенню багатокритеріальних оцінок проектів; побудову узагальнених ранжувань проектів. Максимальне число експертів, що одночасно беруть участь в експертизі, не може бути більш 100, і максимальна кількість проектів, що аналізуються, не може перевищувати 200.

Поява АСЕО ПРИОРИТЕТНОСТЬ ФИНАНСИРОВАНИЯ [5] була викликана необхідністю вирішення задач об'єктивної оцінки пріоритетності фінансування

розробок з урахуванням їх конкурентоспроможності, а також визначення пріоритетних напрямів науково-дослідних робіт. Ця система дозволяє з урахуванням порівняльної переваги альтернативних варіантів визначати найкращі пакети об'єктів, що фінансуються, при заданому загальному обсязі фінансування. Рішення про вибір пакета приймається на підставі різнобічних оцінок об'єктів експертами з урахуванням головного обмежувального фактора — загального обсягу фінансування. Варіюючи значення загального обсягу фінансування, можна одержувати різні висновки про перевагу фінансування тих чи інших об'єктів (пакетів об'єктів). При оцінці конкурентоздатності об'єкта система проводить його багатокритеріальну оцінку і будує узагальнені ранжування об'єкта й аналогів за результатами багатокритеріального оцінювання. Узагальнена оцінка об'єктів і аналогів визначається на основі значень оцінок за частковими показниками з використанням спеціально розроблених вербально-числових шкал. При цьому, як правило, показники групуються в блоки. Враховується також порівняльна вагомість часткових показників. Для оцінки пріоритетності напрямків беруться значення їхніх оцінок за укрупненими критеріями. Алгоритм оптимального розподілу ресурсів зводиться до формування цільової функції, сформованої з урахуванням результатів визначення порівняльної переваги об'єктів фінансування, ступеня ризику, окремо розрахованого коефіцієнта економічної ефективності тощо. При формуванні обмежень враховується можливість різних рівнів ресурсозабезпечення об'єктів. Система ПРИОРИТЕТНОСТЬ ФИНАНСИРОВАНИЯ має обмеження: число експертів не може перевищувати 100 чоловік, кількість об'єктів — 200.

Ключова функція ІАС ОЦЕНКА И ВЫБОР [6] — багатокритеріальна оцінка ступеня відповідності будь-яких об'єктів комплексу поставлених вимог і переваг. Результатом роботи системи є ранжування та рейтинги аналізованих об'єктів. При вирішенні особливо відповідальних питань, коли врахування думки однієї людини-експерта недостатньо, ІАС обробляє думки групи експертів чисельністю до 10 чоловік.

Описані вище системи не до кінця вирішують задачі, що виникають, щодо багатокритеріального оцінювання альтернатив та розподілу ресурсів між ними. Основними недоліками описаних систем є:

- відсутність групових методів оцінки змісту критеріїв, ваг критеріїв і оцінок альтернатив за цими критеріями;
- відсутність спільного використання кількісних і якісних критеріїв;
- не до кінця вирішено проблему розподілу ресурсів між проектами в залежності від рейтингу проекту, загального об'єму фінансування, а також від потрібного фінансування.

У даній статті описана спроба розробити мультикритеріальну СППР з розширеними функціональними можливостями (далі — «Солон-МКВ»), яка б ліквідувала вищезазвані недоліки.

Концепція системи

СППР «Солон-МКВ» з розширеними функціональними можливостями спрямована на допомогу особі, що приймає рішення, по відборі проектів і розподілу ресурсів між ними. Задача відбору проектів — це визначення підмножини

оптимальних проектів, тобто таких, що максимізують ступінь досягнення цілі. СППР «Солон-МКВ», що розроблено, підтримує всі етапи прийняття рішень, а саме: формулювання критеріїв групою експертів, визначення групових оцінок важливості критеріїв, проектів за критеріями, обчислення рейтингу проектів, розподіл ресурсів між проектами.

Загальну постановку задачі багатокритеріального оцінювання можна сформулювати наступним чином.

Дано: 1) $P = \{P_i\}, i = (\overline{1, m})$ — множина проектів; 2) $K = \{K_j\}, j = (\overline{1, n})$ — множина критеріїв; 3) кожному проекту ставиться у відповідність кортеж оцінок за всіма критеріями множини $S_i = \{S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{in}\}$.

Потрібно: 1) ранжувати проекти з урахуванням переваг ОПР; 2) знайти інтегровану кардинальну оцінку кожного проекту з урахуванням переваг ОПР, тобто визначити множину $R = \{R_i\}$ рейтингів проектів.

При розробці методу підтримки прийняття рішень враховувались особливості сприйняття людиною самого факту надання допомоги в цій справі і ступінь довіри до рекомендацій, що видаються. Досліди, виконані Міллером [7], свідчать про те, що людина здатна одночасно оперувати не більше ніж 7 ± 2 об'єктами. У той же час кількість проектів, які доведеться оцінювати ОПР або експертам за його дорученням, може бути кілька сотень. У такому випадку використовується метод адитивної декомпозиції множини проектів [8]. Це забезпечується відповідними технологіями настроювання та використання СППР «Солон-МКВ», що підтримується програмними засобами системи.

Визначення групових експертних формулювань критеріїв

Множину критеріїв, за якими будуть оцінюватись проекти, формує ОПР або група експертів за його дорученням. Критерії утворюють ієрархію, причому вона може бути несиметричною. Формулювання критеріїв (підкритеріїв) — суто творчий процес, що не підлягає на даний час формалізації. Від рівня професіоналізму та відповідальності рішень експертів безпосередньо залежить якість рекомендованих СППР рішень. Тому на цьому етапі ОПР повинна заохочувати найбільш досвідчених експертів і, використовуючи метод «мозкового штурму», знаходити узгоджені формулювання цих важливих категорій. При формулюванні критерію (підкритерію) потрібно враховувати не тільки значимість і зрозумілість критерію (підкритерію), але й можливість отримання оцінок альтернатив по ним та число різних можливих оцінок.

Задачу вибору найкращого формулювання критерію (підкритерію) можна сформулювати наступним чином.

Дано: 1) множина формулювань для j -го критерію (підкритерію) $FK_j = \{FK_{jh}, \text{«жодне з формулювань»}\}$, де FK_{jh} — формулювання дане h -м експертом j -му критерію (підкритерію); 2) $E = \{E_h\}, h = (\overline{1, l})$ — множина експертів; 3) $C = \{C_h\}$ — множина коефіцієнтів компетентності експертів.

Потрібно: визначити множину $W = \{W_h\}$ узгоджених агрегованих групових оцінок відносних ваг формулювань.

Для визначення показників відносної вагомості формулювань ОПР залучає групу експертів, які на основі групових методів оцінювання, що реалізовані в СППР «Солон-МКW», дають оцінку формулюванням критерію (підкритерію). У системі впроваджені наступні методи групового експертного оцінювання із зворотнім зв'язком з експертами: метод безпосередньої оцінки, метод парних порівнянь «лінія» [8]. При цьому введення інформації може здійснюватись вербальним, графічним або числовим способами. Кожен із реалізованих методів передбачає врахування показників відносної компетентності експертів. Реалізовані методи дозволяють визначити джерело найбільшої неузгодженості оцінок, а саме, експерта і об'єкта (метод безпосередньої оцінки), результат оцінки якого викликав неузгодженість, або експерта і пари об'єктів (метод «лінія»), результат порівняння яких викликав цю неузгодженість, і сформулювати на цій основі рекомендації конкретному експерту про бажані дії, що спрямовані на зменшення неузгодженості. Після досягнення достатнього рівня узгодженості обчислюються агреговані групові оцінки рейтингу різних формулювань критеріїв. Для найкращого формулювання критерію (підкритерію) визначається його тип, і він вноситься до ієрархії критеріїв.

Розрізняють критерії двох типів: кількісні та якісні. Кількісні критерії відображають властивості альтернатив, які можна виміряти числом; у свою чергу ці критерії можуть бути кількісно-визначеними і кількісно-невизначеними. Якісні критерії відображають ті властивості альтернатив, які природним шляхом неможливо визначити числом.

Визначення групових експертних узгоджених оцінок важливості критеріїв і альтернатив

Після того, як сформульовано критерії (підкритерії) одного рівня ієрархії критеріїв, визначаються показники відносної вагомості цих критеріїв (підкритеріїв).

Постановка задачі. Дано: 1) $K = \{K_j\}$, $j = \overline{(1, p)}$ — множина критеріїв одного рівня; 2) $E = \{E_h\}$, $h = \overline{(1, l)}$ — множина експертів; 3) $C = \{C_h\}$ — множина коефіцієнтів компетентності експертів.

Потрібно: визначити множину $W = \{W_j\}$ узгоджених агрегованих групових оцінок відносних ваг критеріїв (підкритеріїв).

Ця задача вирішується аналогічно задачі, що описана в попередньому пункті, тобто використовуючи один із методів групового експертного оцінювання, що реалізовані в СППР «Солон-МКW», визначаються показники відносної вагомості критеріїв одного рівня.

Після закінчення процедур формулювання критеріїв та визначення їх відносної вагомості маємо повністю сформовану ієрархію критеріїв, причому вона може бути несиметричною.

При проектуванні СППР «Солон-МКW» ставилась задача забезпечення зручності її застосування для підтримки прийняття рішень при невеликій (менше 9) і великій кількості альтернатив (декілька сотень). Оцінка альтернатив проводиться за критеріями нижнього рівня. Якщо кількість альтернатив менше 9, то ОПР має

можливість використовувати весь арсенал методів групового експертного оцінювання, які реалізовані в СППР, не тільки для визначення відносної вагомості критеріїв, але і для оцінки альтернатив за вибраними критеріями.

Можливість роботи з великою кількістю альтернатив забезпечується застосуванням адитивної декомпозиції [8]. Вона полягає у поділі множини альтернатив на підмножини, що не перетинаються, оцінка яких за вибраними критеріями доручається незалежним експертам. При цьому кожному альтернативу оцінюють 3–5 експертів. Така організація експертизи приводить до необхідності вирішення ряду додаткових задач. По-перше, при цьому стає неможливим використання відносних оцінок вагомості альтернатив, даних кожним експертом, оскільки кожен експерт оцінює альтернативи в межах дорученої йому підмножини. Це, в свою чергу, призводить до неможливості використання експертами методів парних порівнянь для оцінювання альтернатив за різними критеріями. Тому оцінювання альтернатив за деяким критерієм організується наступним чином. Якщо критерій кількісний, то кожен із експертів визначає абсолютну оцінку альтернативи методом безпосередньої оцінки. Оцінка альтернативи за якісним критерієм виражається у вигляді однієї з словесно сформульованих градацій. У зв'язку з цим для розрахунку кількісних оцінок рейтингу альтернатив потрібно знайти кількісні еквіваленти цих якісних оцінок. В якості таких використовуються показники відносної вагомості градацій шкали значень оцінок за якісним критерієм [8]. Задача знаходження цих показників аналогічна розглянутій вище задачі визначення вагомості критеріїв. Задача знаходження найкращих формулювань градацій аналогічна розглянутій вище задачі знаходження найкращого формулювання критерію (підкритерію). Для вирішення цих задач використовується та ж сама технологія й ті ж засоби СППР «Солон-МКВ».

Залучення до оцінки альтернатив за кількісним і якісним критеріями декількох експертів призводить до неузгодженості їх оцінок. У зв'язку з цим виникає задача визначення кількісних оцінок ступеня узгодженості множини експертних оцінок і їх достатності, для чого використовується спектральний коефіцієнт узгодженості та його порогові значення [8]. Якщо коефіцієнт узгодженості множини оцінок деякої альтернативи за деяким критерієм виявляється менше порогу застосування, то застосовується спеціальна процедура виявлення експертів, яким рекомендується переглянути свої оцінки.

Показники відносної ефективності альтернатив (рейтинг) розраховується на основі узагальнених експертних оцінок альтернатив за кожним із критеріїв і коефіцієнтів відносної вагомості критеріїв.

Визначення розподілу ресурсів між проектами за результатами оцінювання їх рейтингу

Задачу розподілу ресурсів між проектами можна сформулювати таким чином.

Дано: 1) $P = \{P_i\}, i = \overline{(1, m)}$ — множина проектів; 2) для кожного проекту є функція ступеню виконання в залежності від величини відносного фінансування $f(S_i / S_i^*), i = \overline{(1, m)}$, де S_i^* — потрібне фінансування, $\bar{S} = \{S_i\}$ — варіант фінансу-

вання множини проектів; 3) є алгоритм підрахунку ефективності, що відповідає вектору \bar{S} , $E(\bar{S}) = E(\bar{F})$, де \bar{F} — вектор ступенів виконання.

Потрібно: Знайти вектор S_x , при якому $E(S_x) \rightarrow \max$, при обмеженні

$$\sum_{i=1}^m S_i \leq S_{\max}, \text{ де } S_{\max} \text{ — об'єм фінансування програми.}$$

Для загального випадку, коли відсутнє аналітичне задання функції $E(\bar{S})$, а вона задана алгоритмом $E(\bar{S})$, метод вирішення задачі невідомий. У СППР «Солон-МКВ» з розширеними можливостями, що пропонується, реалізовано частковий випадок, коли ієрархія має тип «дерево». Тоді рейтинг набору проектів:

$$E(\bar{S}) = \sum_{\substack{i=1 \\ S_i \in \bar{S}}}^m E(S_i). \text{ Треба знайти такий вектор } S_x, \text{ при якому } E(S_x) \rightarrow \max, \text{ при об-}$$

меженні $\sum_{i=1}^m S_i \leq S_{\max}$. Це задача лінійного програмування.

Ефективним методом чисельного розв'язання задачі лінійного програмування є симплекс-метод, який і застосовується для розподілу ресурсів у цій СППР.

Структура системи

Як вже було зазначено, СППР «Солон-МКВ» з розширеними функціональними можливостями спрямована на допомогу ОПР по відборі проектів і розподілу ресурсів між ними. Також було відмічено, що для роботи ОПР може залучати групу експертів. Життєвий досвід показує, що при використанні експертної інформації потрібно враховувати компетентність експертів. У СППР реалізовано два методи, на основі яких ОПР може визначити відносну компетентність експертів: метод безпосередньої оцінки та метод «лінія» з числовим або графічним методом вводу інформації (рис. 1, 2).

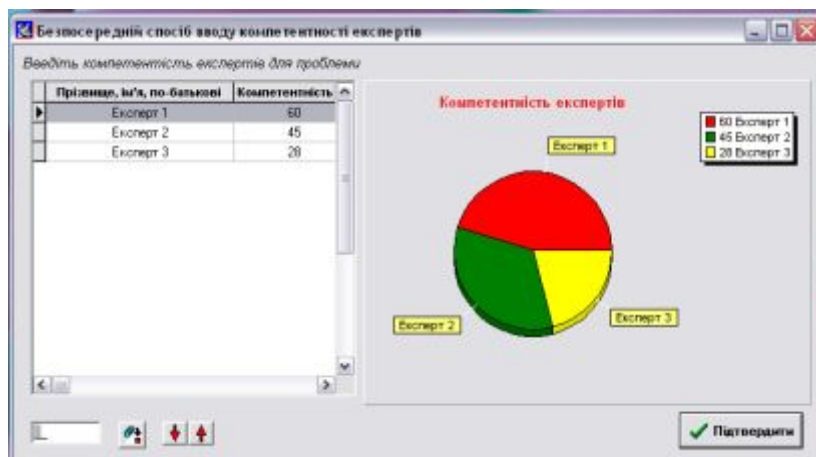


Рис. 1

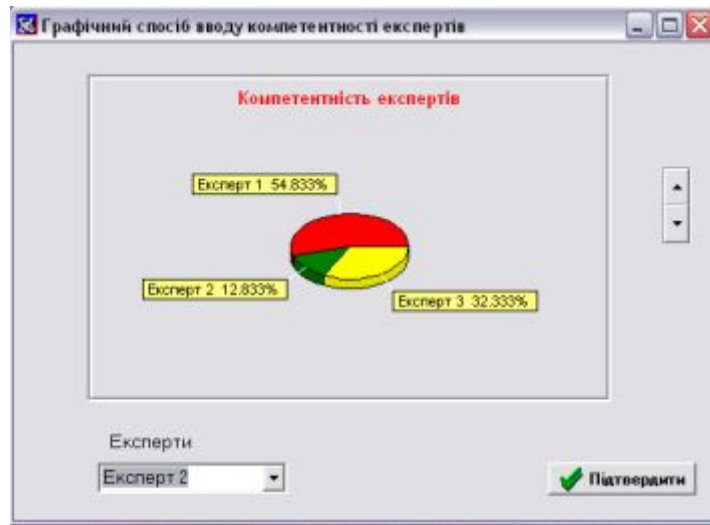


Рис. 2

Далі ОПР або група експертів за його дорученням формує ієрархію критеріїв (рис. 3) та визначає відносні ваги критеріїв шляхом використання методів групового експертного оцінювання (метод безпосередньої оцінки, метод «лінія») [8].

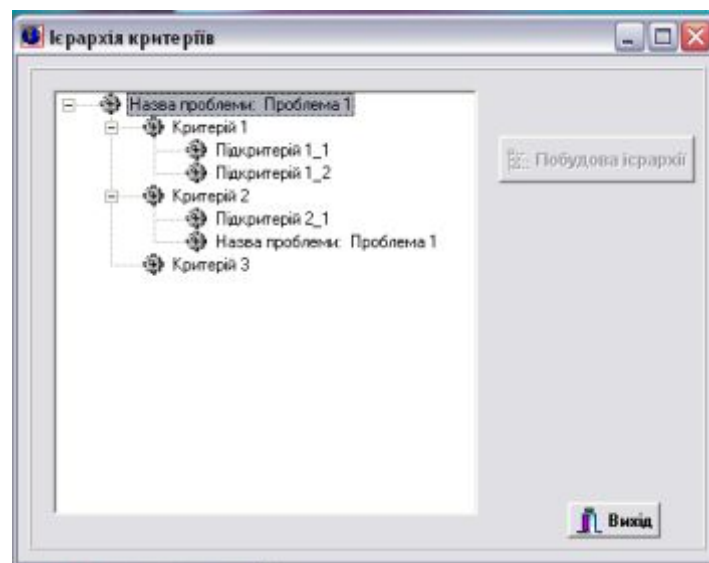


Рис. 3

На основі узагальнених експертних оцінок альтернатив за кожним із критеріїв нижнього рівня ієрархії та коефіцієнтів відносної вагомості критеріїв визначаються показники відносної ефективності альтернатив (рейтинг). Приклад підрахованого рейтингу проектів наведено на рис. 4.

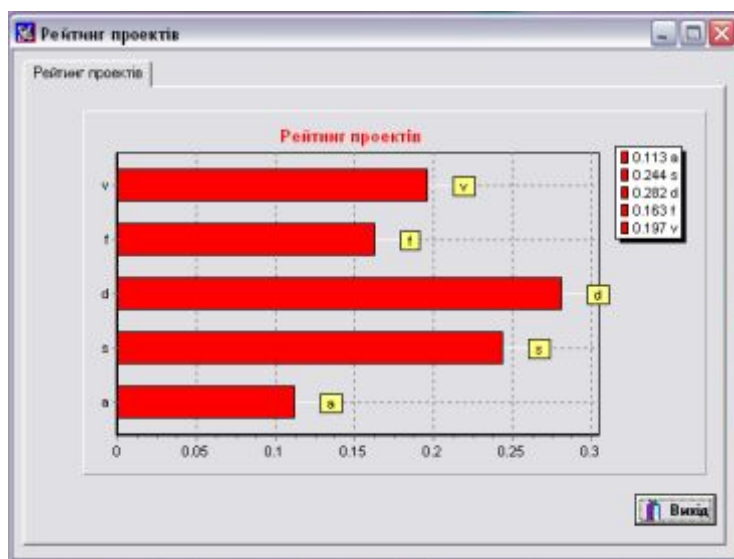


Рис. 4

З урахуванням рейтингу альтернатив, потрібного фінансування, загального фінансування та функції ступеня виконання проектів у залежності від величини відносного фінансування розподіляються ресурси між проектами (рис. 5). Розрахунки проводяться на основі симплекс-методу.

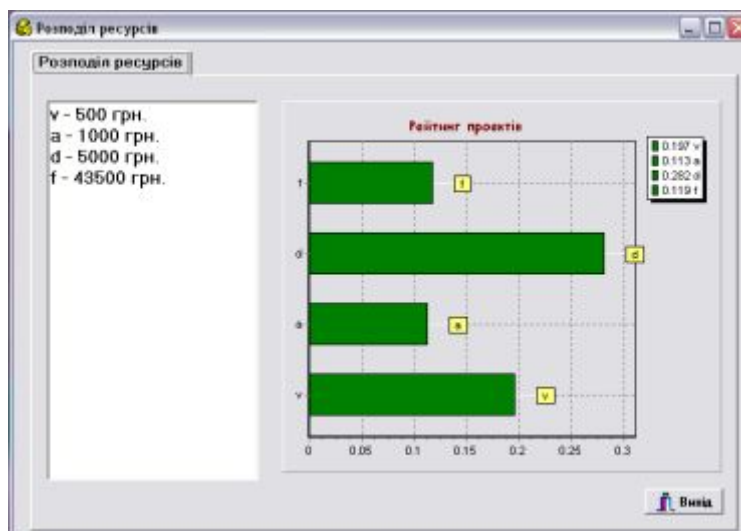


Рис. 5

1. www.expert_choice.com
2. Быстрый рейтинг // SOFTEL: сто компьютерных программ для бизнеса (каталог бизнес-софта, 1997–1998). — М.: Хамтех Паблицер, 1997. — С. 134–138.

3. СПВП МАІ // SOFTEL: сто компьютерных программ для бизнеса (каталог бизнес-софта, 1997–1998). — М.: Хамтех Паблішер, 1997. — С. 139–142.
4. Выбор проекта (АСЕО Выбор проекта) // SOFTEL: сто компьютерных программ для бизнеса (каталог бизнес-софта, 1997–1998). — М.: Хамтех Паблішер, 1997. — С. 143–148.
5. Приоритетность финансирования (АСЕО Приоритетность финансирования) // SOFTEL: сто компьютерных программ для бизнеса (каталог бизнес-софта, 1997–1998). — М.: Хамтех Паблішер, 1997. — С. 149–155.
6. Оценка и выбор (ІАС Оценка и выбор) // SOFTEL: сто компьютерных программ для бизнеса (каталог бизнес-софта, 1997–1998). — М.: Хамтех Паблішер, 1997. — С. 156–165.
7. *Миллер Г.* Магическое число семь плюс или минус два // Инж. психология. — М.: Прогресс, 1964.
8. *Тоценко В.Г.* Методы и системы поддержки принятия решений. Алгоритмический аспект. — К.: Наук. думка, 2002. — 382 с.

Надійшла до редакції 21.03.2005