

**Саченко Олег Анатолійович**

Викладач кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління  
Тернопільський національний економічний університет, Тернопіль

**Гладій Григорій Михайлович**

Кандидат економічних наук, доцент кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління  
Тернопільський національний економічний університет, Тернопіль

**КОМБІНОВАНА МОДЕЛЬ ВИБОРУ КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ  
ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЕКТІВ У СФЕРІ ЕНЕРГЕТИКИ**

***Анотація.** На основі аналізу методів формування портфельних інвестицій запропоновано метод ефективного вибору критеріїв оцінки інвестиційних проектів у сфері енергетики. Селекцію проектів у портфель доцільно здійснювати на базі комбінованої моделі методів DEMATEL і ANP. За результатами моделювання сконструйовано карту взаємовпливів вказаних критеріїв. Отриманий рейтинг критеріїв дає змогу оцінити проекти в межах портфеля і здійснити оптимальний вибір серед них.*

***Ключові слова:** інвестиційний проект; енергоефективність; селекція проектів; модель; критерії оцінки проектів; DEMATEL; ANP*

**Вступ**

Проблема розвитку підприємств енергетичної галузі є вкрай актуальною, враховуючи завищений рівень зношення основних засобів. При цьому важливу роль відіграє механізм інвестиційного забезпечення, оскільки власних коштів у країнах, що розвиваються, недостатньо ні для фінансування поточних потреб підприємств, ні для їх інноваційного розвитку. В свою чергу, інноваційно-інвестиційні процеси, відповідно до реалізації основних положень Енергетичної стратегії України [6] вимагають чіткого формування сутності, компонентів, чинників інвестиційного механізму електроенергетичного підприємства, а також обґрунтованого вибору інвестиційних проектів.

Протягом останніх десятиліть, особливо на великих підприємствах енергетики, став поширюватись комплекс заходів для досягнення кінцевої мети під назвою «управління проектами» [25]. При значній кількості різномірних проектів для гармонізації роботи електроенергетичного підприємства, його фінансових, кадрових й інших складових доцільно об'єднати проекти у портфель проектів [24]. При цьому актуальним завданням є формування портфеля проектів методом відбору чи селекції «правильних» проектів із множин альтернативних підпроектів, що стало предметом дослідження в даній роботі.

**Аналіз публікацій**

**і постановка задачі дослідження**

Проблема вибору потрібного критерію для селекції проектів полягає у наявності великої

кількості таких критеріїв, тоді як для розв'язання задачі оптимізації потрібен лише один з них. Тому оцінка портфеля проектів є надзвичайно складною задачею, яка не має однозначного вирішення.

Першу спробу побудови моделі портфеля у вигляді середньої дисперсії зробив Markovitz ще в 1952 р. [14]. Трохи пізніше Sharpe [15], Linter [16] і Mossin [17], посилаючись на модель [14], запропонували модель CAPM (Capital Asset Pricing Model).

При формуванні оптимального портфеля необхідно вміти порівнювати проекти для вибору кращого з них. Ця порівняльна процедура і є тим самим єдиним універсальним критерієм, згідно з яким здійснюватиметься оптимізація. Наприклад, для економічної оцінки ефективності проекту до теперішнього часу розроблено багато критеріїв ефективності: NPV, IRR, ECV, EVA, ROI, рентабельність тощо [22; 23]. Однак усім їм притаманні певні недоліки, тому при їх застосуванні для встановлення пріоритетів проектів необхідно знайти оптимальне співвідношення між ними.

Попередні дослідження переважно були спрямовані на покращення лише одного з критеріїв, за яким один проект був кращий від іншого. На жаль, в деяких випадках менеджер здійснював інтуїтивний відбір, прагнучи максимізувати/мінімізувати лише один критерій. За результатами багатьох досліджень встановлено, що на сьогодні не існує найкращого методу селекції проектів, тому рекомендується використовувати їхню комбінацію. Ситуація також ускладнюється тим, що іноді критерії, до яких необхідно прагнути, можуть суперечити один одному, наприклад, зниження ризику і збільшення прибутковості портфеля

одночасно. На вирішення подібних задач могли б претендувати методи багатокритеріальної оптимізації або multiple criteria decision making (MCDM) [20; 21], які поки що рідко використовуються для формування портфеля і відбору проектів [18; 19].

Розвитком моделі CAPM стали методи DEMATEL і ANP. Метод DEMATEL (аббревіатура від DEcision MAKing Trial and Evaluation Laboratory) – інструмент вирішення задач, пов'язаних з класифікацією. Хоча він розроблений в Battelle Memorial Institute (Женева) ще в 1972-1976 рр. [1-3], проте широкого застосування він набув лише протягом останніх двох десятиліть. Про це свідчать його численні застосування для розв'язання складних питань різної природи (економіка, будівництво, логістика, інформаційна безпека), у т.ч. і в комбінації з іншими методами [4].

В основу цього методу покладено теорію графів, що допомагає особам, які приймають проектні рішення, візуалізувати аналіз і процес вирішення проблем. Можна виокремити низку критеріїв у причинно-наслідкову групу, завдяки чому простежити причинно-наслідкові зв'язки набагато легше. Крім того, орієнтовані графи відображають спрямованість зв'язків між підсистемами, тобто являють собою комунікаційну мережу чи відносини домінування між суб'єктами та їхніми групами.

У свій час американський професор Т. Saaty розробив метод аналізу ієрархій (АНР), який зараз є одним з найпоширеніших математичних інструментів системного підходу до вирішення проблем ухвалення рішень [13]. Проте цей метод має обмеження через вимогу незалежності критеріїв. Тому Saaty, розширив метод АНР до мережевої версії ANP (Analytic Network Process), котрий ділить проблему на множину кластерів, кожен з яких містить декілька критеріїв.

Tzeng та співавтори [5; 12] дослідили модель CAPM на предмет інтеграції з новим гібридним методом MCDM [19], обґрунтували доцільність комбінації методів DEMATEL і ANP і показали ефективність такого підходу на прикладі моделі ціноутворення прибутковості акцій.

З урахуванням цього позитивного досвіду авторами даної статті для вибору критеріїв оцінки інвестиційних проектів портфеля запропоновано комбіновану модель на основі двох методів DEMATEL і ANP, які, доповнюючи один одного, можуть дати синергетичний ефект.

### Обґрунтування критеріїв оцінки проектів енергоефективності

Як зазначалося, надзвичайно важливим є вибір критерію для завдання селекції проектів, тим більше

за умови їх багаточисельності, коли для вирішення задачі оптимізації потрібен тільки один. Значну частину цих критеріїв важко сформулювати та ідентифікувати, крім того існує проблема їх кількісного вимірювання через недостатню інформацію.

У результаті проведеного попереднього аналізу критерії оцінки енергоефективності розділені на п'ять груп [6-11]: 1 – інвестиції, 2 – витрати, 3 – ефективність, 4 – екологічні критерії, 5 – якість трудового життя.

Першу групу утворюють чотири критерії (С1-С4), пов'язані з модернізацією, реконструкцією та технічним переоснащенням досліджуваних енергопідприємств [6; 7].

Обсяг інвестицій (С1) – це критерій, який впливає на ефективність інвестиційного забезпечення, інноваційного розвитку підприємств електроенергетики. Решта критеріїв (С2), (С3) і (С4) – це відповідно грошові інвестиції, вартість обладнання і вартість технологій, що формуються на основі фінансового і технічного аналізу стану підприємства, яке потребує впровадження інвестиційних проектів, та з огляду на стратегію модернізації підприємства.

Критерії першої групи у сукупності відображають загальну кількість інвестицій, необхідних для виконання плану щодо модернізації, реконструкції та технічного переоснащення з деталізацією їх за цільовим використанням і можуть бути проілюстровані на прикладі трьох проектів (табл. 1) де 1-й проект – проект модернізації, 2-й – реконструкції, 3-й – технічного переоснащення.

Таблиця 1 – Критерії першої групи

<b>1. Інвестиції:</b>	1-й проект	2-й проект	3-й проект
С1. Обсяг інвестицій, тис. грн	137 000	150 000	178 000
С2. Грошові інвестиції, тис. грн	41000	37 500	57000
С3. Вартість обладнання, тис. грн	56000	62 500	73000
С4. Вартість технологій, тис. грн	49000	51 000	64000

Друга група критеріїв формується на основі даних фінансових структур підприємства і висвітлює стан фінансових витрат, зокрема в табл. 2 продемонстровано значення критеріїв другої групи [7]: постійні витрати (С5), значення яких не змінюються при зміні обсягу продукції і які підприємство повинно сплачувати навіть за відсутності випуску продукції; змінні витрати (С6), значення яких змінюються залежно від зміни обсягу виробництва; змішані витрати (С7), значення

яких залежать від обсягу виробництва (але не прямо пропорційні йому); експлуатаційні витрати (С8), обумовлені безпосереднім виконанням технологічних операцій.

Таблиця 2 – Критерії другої групи

<b>2. Витрати:</b>	1-й проект	2-й проект	3-й проект
С5. Постійні витрати, тис. грн	1542	1 668	18000
С6. Змінні витрати, тис. грн	22	18	27
С7. Змішані витрати, тис. грн	4	6	11
С8. Експлуатаційні витрати, тис. грн	11	12	17

Критерії третьої групи формуються за принципом відбору коефіцієнтів, які визначають ефективність підприємства в різних сферах діяльності і поділяються на чотири складові [8; 9]. Коефіцієнт енергоекономічного рівня (С9) – це енергоекономічний рівень виробництва, для оцінки його динаміки і тенденцій згідно з формулою

$$EERB = D/W,$$

де D – результат господарської діяльності виробництва (в грош. од.); W – сумарне споживання енергоресурсів на технологічні цілі.

Коефіцієнт рентабельності (С10) визначається сукупними значенням рентабельності продажів, активів, власного капіталу, інвестицій, продукції, темпів приросту власного капіталу. Коефіцієнт корисної дії (С11) є важливою характеристикою машин і двигунів. Коефіцієнт інновацій (С12) характеризує рівень витрачання підприємством ресурсів на технологічні інновації та інформатизацію.

У табл. 3 проілюстровано значення критеріїв третьої групи.

Таблиця 3 – Критерії третьої групи

<b>3. Ефективність:</b>	1-й проект	2-й проект	3-й проект
С9. Коефіцієнт енергоекономічного рівня виробництва	3,22	4,85	4,9
С10. Коефіцієнт рентабельності доходу	0,23	0,21	0,22
С11. Коефіцієнт корисної дії	0,6	0,65	0,7
С12. Коефіцієнт інновацій	0,55	0,7	0,65

Критерії четвертої групи формуються за результатами управління підприємством своїми екологічними аспектами і можуть бути поділені на чотири складові.

По-перше, економічний ефект природоохоронних заходів має враховувати абсолютну економічну ефективність впровадження, екологічний ефект від впровадження та ефект від зміни структури витрат виробництва, що і є змістом критерію С13 [6].

По-друге, екологічна результативність полягає у зниженні негативного впливу на навколишнє середовище, покращення його стану, і проявляється в зниженні обсягів викиду забруднюючих речовин (критерії С14, С15, С16 відповідно) [10]. Критерії цієї групи проілюстровані в табл. 4.

Таблиця 4 – Критерії четвертої групи

<b>4. Екологічні критерії:</b>	1-й проект	2-й проект	3-й проект
С13. Приріст прибутку внаслідок зменшення плати за екологію (тис. грн)	3,1	3,22	4,3
С14. Зменшення рівня шкідливих впливів на навколишнє середовище (тис. грн)	5%	6%	8%
С15. Зменшення відходів при функціонуванні підприємства (тис. грн)	16%	12%	11%
С16. Зменшення коефіцієнта забруднення довкілля (тис. грн)	0,9 ГДВ	0,8 ГДВ	0,75 ГДВ

Критерії п'ятої групи формуються на основі якості трудового життя, яке визначається сукупним впливом комплексу факторів [11]. До них входять чотири складові (С17-С20). Зокрема, критерій С17 визначається шляхом коригування базового фонду заробітної плати на показники інфляції, зміни обсягів виробництва, продуктивність праці та кількості працівників. Критерій С20 – зменшення травматизму, визначає рівень захворюваності й травматизму, і є важливим індикатором економії від зменшення випадків травматизму. Критерій С21 – приріст робочих місць, що характеризується темпами створення нових робочих місць. Економічний зміст цього критерію полягає в тому, що він характеризує частку створених і ліквідованих робочих місць у поточному році в загальній їх кількості в попередньому році. Критерій С20 – показник автоматизації, що характеризує відношення кількості працівників (або відпрацьованого часу), які працюють на автоматичному устаткуванні, до загальної кількості працівників (або відпрацьованого часу). Критерії п'ятої групи можна проілюструвати в табл. 5.

Таблиця 5 – Критерії п'ятої групи

5. Якість трудового життя	1-й проєкт	2-й проєкт	3-й проєкт
C17. Приріст заробітної платні	16%	13%	12%
C18. Зменшення травматизму	20%	24%	26%
C19. Приріст робочих місць	8%	6%	5%
C20. Коефіцієнт автоматизації	30%	35%	37%

### Комбінована модель вибору критерію оцінки

Запропонована модель на основі двох методів DEMATEL і ANP реалізується у два етапи, описаних нижче.

#### Етап 1. Побудова карт взаємовпливу на основі методу DEMATEL

Деталізуємо метод DEMATEL, алгоритм якого охоплює чотири кроки [5].

**Крок 1.** Обчислення початкової усередненої матриці за реальними даними. Нехай задіяні  $K$  експертів для оцінювання проблеми, де виокремлено  $n$  чинників. За допомогою анкетування експертів просять вказати прямі впливи  $X_{ij}^k$  кожного  $i$ -го чинника на кожен інший  $j$ -й чинник, використовуючи таку цілочисельну шкалу оцінювання, між якими знаходяться проміжні значення 1, 3, 5, 7, 9:

0	Немає впливу
2	Незначний вплив
4	Середній вплив
6	Високий вплив
8	Дуже високий вплив
10	Екстремальний вплив

Тоді оцінки кожного експерта будуть матрицею  $X^k = [x_{ij}^k]_{n \times n}$ ,  $1 \leq k \leq K$ , по діагоналі якої знаходяться нульові елементи. З набору експертних матриць отримують усереднену матрицю  $A = [a_{ij}]_{n \times n}$ , де кожен елемент є середньою величиною тих же елементів у початкових матрицях різних експертів

$$a_{ij} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K x_{ij}^k \quad (1)$$

**Крок 2.** Обчислення нормалізованої матриці прямих впливів.

Початкову матрицю впливів  $D = [d_{ij}]_{n \times n}$ ,  $0 \leq d_{ij} \leq 1$ , отримують шляхом нормалізації усередненої матриці  $A$ , тобто за допомогою операції

$$D = s \times A, \quad (2)$$

$$\text{де } s = \min \left[ \frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n |a_{ij}|}, \frac{1}{\max_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^n |a_{ij}|} \right] \quad (3)$$

**Крок 3.** Знаходження загальної матриці впливів.

Загальну матрицю впливів  $T$  для прямих взаємовідношень між усіма елементами, можна отримати, використовуючи формулу:

$$T = \lim_{l \rightarrow \infty} (D + D^2 + \dots + D^l) = D(I - D)^{-1}, \quad (4)$$

де  $I$  – одинична матриця.

#### Крок 4. Побудова карти взаємовпливів

Визначимо суму рядків і суму стовпців окремо, записуючи відповідно як вектор  $r$  і  $c$  всередині матриці загального впливу  $T$  через (5) і (6), тобто

$$T = [t_{ij}], \quad i, j = 1, 2, \dots, n, \quad (5)$$

$$r = [r_{ij}]_{n \times 1} = \left[ \sum_{j=1}^n t_{ij} \right]_{n \times 1}, \quad c = [c_{ij}]_{n \times 1} = \left[ \sum_{i=1}^n t_{ij} \right]_{n \times 1}, \quad (6)$$

де знак ' означає транспонування.

Якщо через  $r_i$  позначити суму елементів  $i$ -го рядка матриці  $T$ , тоді  $r_i$  показує суму прямих і непрямих впливів фактора  $i$  на інші фактори/критерії. Аналогічно позначимо через  $c_i$  суму елементів  $j$ -го стовпця матриці  $T$ , то  $c_j$  показує суму прямих і непрямих ефектів, які фактор  $j$  отримав від інших чинників. У випадку агрегування сум по  $i$ -му рядку і стовпцю,  $(r_i + c_i)$  відповідає силі впливів, відданих і отриманих, тобто  $(r_i + c_i)$  показує яку роль відіграє фактор  $i$  у досліджуваній проблемі. Якщо величина  $(r_i - c_i)$  додатна, то фактор  $i$  впливає на інші чинники, а якщо ж величина  $(r_i - c_i)$  від'ємна, то на фактор  $i$  впливають інші чинники [5].

Тоді карту взаємовпливів можна представити як графік з горизонтальною віссю  $r_i + c_i$  і вертикальною віссю –  $r_i - c_i$ . На площині карти відкладають орієнтований граф, вершини котрого визначаються координатами  $(r_i + c_i, r_i - c_i)$ . Горизонтальна вісь розділяє елементи на дві групи – причинну і наслідкову. Верхня (причинна) група елементів, тобто в яких  $(r_i - c_i) > 0$ , впливає на елементи нижньої (наслідкової) групи з  $(r_i - c_i) < 0$ . Тому за розташуванням елемента на площині можна судити про його силу (горизонтальна координата) і напрямок впливу (вертикальна координата).

**Етап 2. Застосування методу ANP для обчислення ваги критеріїв, базованих на картах взаємовпливу**

Згідно з методом ANP на етапі поділу проблеми на множину кластерів інтегруємо кілька матриць, що відповідають окремим кластерам, у суперматрицю (оскільки можливість бачити внутрішню і зовнішню залежність кластерів є важливою перевагою такої суперматриці). При цьому утворюємо матрицю  $T_c = [t_{ij}]_{n \times n}$ , отриману по критеріях, і матрицю  $T_D = [t_{ij}^D]_{m \times m}$ , отриману з  $T_c$  по  $m$  вимірах (кластерах).

Далі обчислюємо незважену суперматрицю  $W$  шляхом нормалізації матриці загального впливу  $T_c$  по вимірах (кластерах) і, в результаті, отримаємо нову матрицю  $T_D^a$ . Коли нормалізована матриця загального впливу кластерів  $T_D^a$  заповнена, із незваженої суперматриці отримуємо зважену суперматрицю. Детальний опис цих перетворень можна знайти, наприклад, у [4].

Внаслідок цієї процедури ми отримаємо глобальні пріоритетні вектори, названі вагами ANP.

**Експериментальні дослідження**

У процесі анкетування були опитані експерти у сфері проектного менеджменту для визначення важливості взаємозв'язків серед критеріїв оцінки проектів. Внаслідок цього була сформована усереднена початкова матриця  $A$ , розміром  $20 \times 20$ , прямих взаємозв'язків між критеріями, отримана шляхом попарних порівнянь (табл. 6).

На основі величин  $r$  і  $c$  (табл. 7), визначених за формулою (6), сконструйована карта групових взаємовпливів критеріїв, а також у рамках кожної групи, як показано на рис. 1.

Як видно із рис. 1 і табл. 7, домінуючими групами критеріїв є D1 (Ефективність) і D3 (Інвестиції). Вони знаходяться над віссю  $r+c$ , а це свідчить про те, що вони впливають на інші три групи D2, D4, D5, які на карті взаємовпливу розміщені під віссю  $r+c$ . За величиною ефекту найпотужнішою є група D1, а найслабшою – D4 (Екологія).

Таким чином, результати експериментальних досліджень підтверджують, що пропонуванний метод оцінки проектів на практиці дає наглядну інформацію щодо вибору ефективних проектів серед альтернативних.

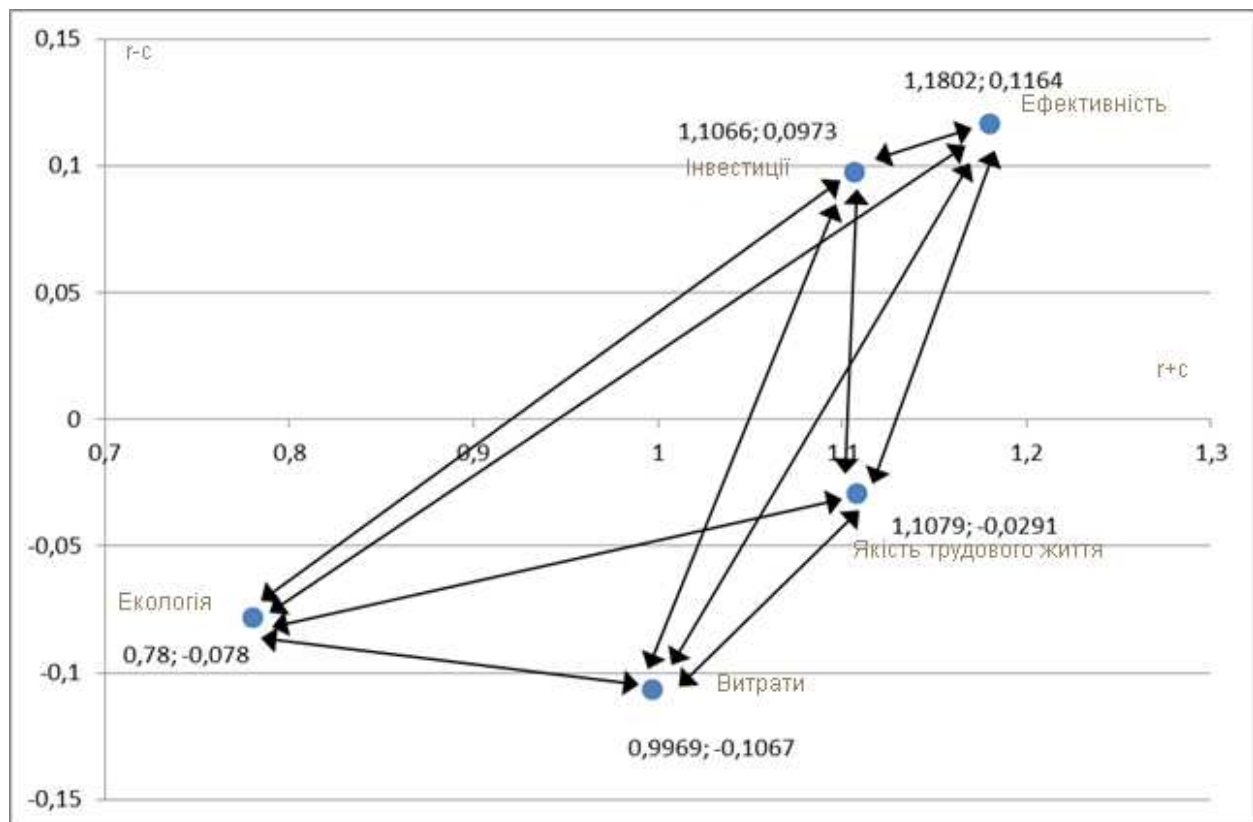


Рисунок 1 – Карта групового взаємовпливу критеріїв

Таблиця 6 – Початкова матриця впливів

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C13	C15	C16	C17	C18	C19	C20
C1	0	6,1	6,2	6,3	7,3	4,1	5,2	4,3	6,3	6,2	5,1	6,2	4,1	4,2	5,2	4,3	6,2	5,3	6,1	5,2
C2	2,1	0	3,2	3,1	6,3	4,2	4,3	2,1	4,5	5,6	4,8	3,4	3,4	3,2	2,3	2,6	5,6	4,1	4,3	3,2
C3	2,2	4,3	0	3,3	3,8	3,6	2,8	7,6	6,6	7,6	5,5	6,6	4,2	3,2	4,2	3,2	6,3	7,2	8,2	9,1
C4	2,3	3,6	3,6	0	5,5	3,4	4,6	7,2	6,3	7,3	6,3	6,2	4,3	3,3	4,1	3,3	7,1	9,3	7,3	9,2
C5	4,5	4,3	3,5	4,6	0	8,3	9,5	8,2	3,3	6,3	4,3	2,3	4,3	3,2	4,2	2,2	6,2	4,3	3,1	4,3
C6	2,6	5,2	2,2	3,6	1,2	0	5,5	5,6	2,1	3,2	2,1	2,1	3,2	2,1	3,3	2,1	4,5	3,6	2,2	2,2
C7	2,8	4,1	2,3	2,3	1,3	5,4	0	5,6	2,2	3,2	2,2	2,3	2,3	3,5	2,3	2,2	3,2	2,2	2,1	3,3
C8	4,5	4,3	4,2	4,6	1,5	5,3	5,6	0	3,3	4,3	4,1	3,3	4,5	5,4	4,2	4,3	4,3	5,1	4,1	6,3
C9	3,3	2,2	3,6	2,3	4,6	3,4	3,1	4,4	0	4,1	3,2	5,2	2,3	2,6	2,1	2,2	7,4	2,2	7,3	7,1
C10	6,6	6,3	7,6	7,2	7,4	7,8	7,6	8,2	5,6	0	4,3	7,1	4,2	2,3	2,2	2,6	7,6	2,3	7,3	7,2
C11	6,1	5,1	7,1	8,1	7,4	7,6	7,6	7,3	5,2	6,3	0	6,2	3,1	3,3	4,3	4,5	6,6	2,2	4,2	8,3
C12	5,6	4,5	7,2	8,3	6,6	6,4	6,1	8,1	4,2	2,2	3,1	0	3,1	7,2	7,1	7,4	6,2	6,2	7,2	8,2
C13	2,6	1,6	2,3	2,1	3,2	1,1	1,6	3,5	3,1	3,1	3,2	4,3	0	8,1	8,2	8,1	5,3	1,6	4,3	3,3
C14	2,7	2,5	2,5	2,2	2,1	2,2	2,2	3,5	4,2	2,3	2,3	4,2	1,2	0	4,1	5,3	1,2	1,3	1,5	2,2
C15	2,9	1,1	2,7	1,3	2,3	1,3	1,5	3,6	3,2	3,3	4,2	2,5	1,3	5,2	0	4,2	1,2	2,2	1,6	4,3
C16	3,6	1,8	2,5	2,4	3,6	2,5	2,1	4,2	1,3	2,2	3,3	5,6	1,3	5,3	5,2	0	1,1	1,3	1,6	3,2
C17	6,6	3,3	4,6	5,5	5,4	4,4	4,6	2,1	4,3	7,5	4,1	4,3	2,1	2,3	2,3	2,2	0	7,4	6,3	5,2
C18	3,3	2,5	5,4	5,5	3,6	2,6	2,5	5,2	2,2	2,6	2,5	3,2	1,5	1,2	2,1	1,4	2,2	0	1,2	1,1
C19	6,4	2,3	5,6	5,6	3,1	2,4	2,8	2,3	4,1	6,9	5,1	6,2	2,6	1,1	1,2	2,5	6,5	5,2	0	4,2
C20	7,5	2,5	7,6	8,4	4,3	5,5	6,6	8,2	6,3	7,4	9,3	7,1	1,1	6,5	7,1	7,3	6,3	7,6	6,2	0

Таблиця 7 – Загальний взаємовплив критеріїв оцінки проектів

Критерії	$r_i+c_i$	$r_i-c_i$	Ваги	Рейтинг	
				глобальний	у групі
Група D1 – Інвестиції	1,1066	0,0973	0,1956	4	
C1 – Обсяг інвестицій	4,6129	0,6155	0,0488	12	3
C2 – Грошові інвестиції	3,5541	0,1061	0,0419	19	4
C3 – Вартість обладнання	4,6793	0,4071	0,0516	9	2
C4 – Вартість технологій	4,8586	0,4288	0,0533	6	1
Група D2 – Витрати	0,9969	-0,1067	0,2126	2	
C5 – Постійні витрати	4,256	0,2213	0,0484	14	4
C6 – Змінні витрати	3,528	-0,6318	0,0501	10	3
C7 – Змішані витрати	3,5564	-0,8137	0,0524	7	2
C8 – Експлуатаційні витрати	4,6094	-0,4826	0,0617	1	1
Група D3 – Ефективність	1,1802	0,1164	0,2061	3	
C9 – Коефіцієнт енергоекономічного рівня	3,8765	-0,0824	0,0477	15	4
C10 – Коефіцієнт рентабельності доходу	5,1592	0,5329	0,056	4	1
C11 – Коефіцієнт корисної дії	4,8202	0,8153	0,0487	13	3
C12 – Коефіцієнт інновації	5,028	0,5968	0,0537	5	2
Група D4 – Екологія	0,78	-0,078	0,1674	5	
C13 – Приріст прибутку внаслідок зменшення плати за екологію	3,0888	0,3321	0,0339	20	4
C14 – Зменшення рівня шкідливих впливів на довкілля	3,0655	-0,5702	0,0444	17	2
C15 – Зменшення відходів при функціонуванні підприємства	3,1585	-0,5985	0,0456	16	1
C16 – Зменшення коефіцієнту забруднення довкілля	3,1668	-0,4107	0,0435	18	3
Група D5 – Якість трудового життя	1,1079	-0,0291	0,2182	1	
C17 – Приріст заробітної платні	4,5652	-0,2089	0,0572	3	2
C18 – Зменшення травматизму	3,4271	-0,7209	0,0498	11	4
C19 – Приріст робочих місць	4,2133	-0,1547	0,0521	8	3
C20 – Коефіцієнт автоматизації	5,5214	0,6185	0,0591	2	1

## Висновки

Для вибору критеріїв оцінки інвестиційних проектів запропоновано комбіновану модель на основі двох методів DEMATEL і ANP. При цьому метод DEMATEL використано для побудови карти взаємовпливів, котра за розташуванням елемента на площині дає інформацію про його силу і напрямок впливу. Метод ANP використано для отримання глобальних пріоритетних векторів, що називаються

вагами ANP. На основі значень векторів впливу сконструйовано карту групових взаємовпливів критеріїв.

Отриманий рейтинг критеріїв дає змогу оцінювати проекти в рамках портфеля і здійснювати оптимальний вибір серед них. Оптимізацію планується виконати за допомогою таких методів, як VIKOR, TOPSIS і т.д. [12], що є предметом окремого дослідження.

## Список літератури

1. Gabus A. *World Problems and Invitation to Further Thought within the Framework of DEMATEL* / A. Gabus, E. Fontela // – Geneva: Battelle Geneva Research Centre, Женева, Швейцарія. – 1972.
2. Fontela E. *The DEMATEL Observer. DEMATEL 1976 Report* / E. Fontela, A. Gabus // – Geneva: Battelle Institute, Geneva Research Center, Женева, Швейцарія. – 1976.
3. Warfield J. N. *Societal Systems, Planning, Policy and Complexity* // New York: John Wiley & Sons, Нью Йорк, США. 1976. – 490 с.
4. Tamura M. *Extraction and systems analysis of factors that prevent safety and security by structural models* / M. Tamura, H. Nagata, and K. Akazawa // *Proceedings of the IEEE 41st SICE Annual Conference, SICE 2002. 5-7 Aug. 2002.* – Vol. 3. – С. 1752-1759.
5. Jerry Ho W.-R. *Combined DEMATEL technique with a novel MCDM model for exploring portfolio selection based on CAPM* / Wen-Rong Jerry Ho, Chih-Lung Tsai, Gwo-Hshiung Tzeng, Sheng-Kai Fang // *Expert Systems with Application.* – 38. – 2011. – С. 16-25.
6. Охріменко О. О. *Ефективність інвестиційного механізму підприємств електроенергетики : діалектика якісних та кількісних перетворень [Текст] / О. О. Охріменко, І. М. Манаєнко // Проблеми економіки. Міжнародний науковий рецензований журнал із відкритим доступом. – № 4. – 2013. – С. 40-47.*
7. Саченко О.А. *Управління портфелем інноваційних проектів щодо модернізації обладнання / О.А. Саченко // Управління проектами та розвиток виробництва: Зб. наук. пр. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2013. – №1(48). – С. 129-136.*
8. Подтынников А. В. *Концептуальная модель управления энергетической системы организационной структуры [Текст] / А. В. Подтынников // Східно-Європейський журнал передових технологій. Науково-виробничий журнал. – Том 1. – № 3 (43). – 2010. – С. 55-57.*
9. *Основные показатели эффективности использования энергии и энергосбережения [Электронный ресурс] <http://msd.com.ua/osnovny-energoberezeniya/osnovnye-pokazateli-effektivnosti-ispolzovaniya-energii-i-energoberezeniya/>*
10. Джигирей В.С. *Екологія та охорона навколишнього природного середовища / Навчальний посібник // К.: Знання, 2006. – 319 с.*
11. Грішнова О. А. *Економіка праці та соціально-трудова відносина: підручник / О. А. Грішнова – 4-те вид., оновлене // К.: Знання, 2009. – 390с.*
12. Tzeng G. H. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications* / Gwo-Hshiung Tzeng, Jih-Jeng Huang // Boca Raton, FL: CRC Press, Флорида, США. – 2011. – 335 с.
13. Saaty T. L. *Decision making with dependence and feedback: The analytic network process* // Pittsburgh, PA: RWS Publications, Пенсільванія, США. – 1996.
14. Markowitz H. M. *Portfolio selection* // *Journal of Finance.* – 7(1). – 1952. – С. 77–91.
15. Sharpe W. F. *Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk* // *Journal of Finance.* – 19 (3). – 1964. – С. 425–442.
16. Lintner J. *The valuation of risk assets and the selection of risky investments in stock portfolios and capital budgets* // *Review of Economics and Statistics.* – 47 (1). – 1965. – С. 13–37.
17. Mossin J. *Equilibrium in a capital asset market* // *Econometrica.* – 34 (4). – 1966. – С. 768–783.
18. Ehrgott M. *An MCDM approach to portfolio optimization* / M. Ehrgott, K. Klamroth, C. Schwehm // *European Journal of Operational Research.* – 155 (3). – 2004. – С. 752–770.
19. Lee W. S. *Combined MCDM techniques for exploring stock selection based on Gordon model* / W. S. Lee, G. H. Tzeng, J. L. Guan, K. T. Chien, J. M. Huang // *Expert Systems with Applications.* – 36 (3). – 2009. – С. 6421–6430.
20. Triantaphyllou E. *Multi-Criteria Decision Making: A Comparative Study* // Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, Дордрехт, Нідерланди. – 2000. – 320 с.
21. *Управление проектами: фундаментальный курс [Текст] : учебник / А. В. Алешин, В. М. Аньшин, К. А. Багратиони и др. ; под ред. В. М. Аньшина, О. Н. Ильиной // Нац. исслед.ун-т «Высшая школа экономики». – М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2013. – 620 с.*
22. Беренс В. *Руководство по подготовке промышленных технико-экономических исследований* / В. Беренс, П. М. Хавранек; пер. с англ. перераб. и дополн. изд. // М. : АОЗТ «Интерэксперт», 1995. – 343 с.

23. Виленский П. Л. Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика // П. Л. Виленский, В. Н. Лившиц, С. А. Смоляк // – М. : Дело, 2008. – 1104 с. – ISBN 978-5-7749-0518-8.

24. Сухонос М. К. Анализ инструментария управления портфелем энергосберегающих проектов // Науч.-техн. сб. «Коммунальное хозяйство городов». – Вып. 95. – К. : «Техника». – 2010. – С. 283-286.

25. Тянь Р. Б. Проблемы управления энергопотреблением и энергосбережением на предприятиях: Монография / Р. Б. Тянь, М. К. Сухонос // ХНАМГ. – Х. : Изд-во «Форт», 2010. – 296 с.

Стаття надійшла до редколегії 24.03.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.Д. Бушуєв, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

#### Саченко Олег Анатольевич

Преподаватель кафедры информационно-вычислительных систем и управления  
Тернопольский национальный экономический университет, Тернополь

#### Гладий Григорий Михайлович

Кандидат экономических наук, доцент кафедры информационно-вычислительных систем и управления  
Тернопольский национальный экономический университет, Тернополь

### КОМБИНИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ВЫБОРА КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ В СФЕРЕ ЭНЕРГЕТИКИ

**Аннотация.** На основе анализа методов формирования портфельных инвестиций предложен метод эффективного выбора критериев оценки инвестиционных проектов в сфере энергетики. Селекцию проектов в портфель целесообразно осуществлять на базе комбинированной модели методов DEMATEL и ANP. По результатам моделирования сконструирована карта взаимовлияния указанных критериев. Полученный рейтинг критериев позволяет оценить проекты в пределах портфеля и осуществить оптимальный выбор среди них.

**Ключевые слова:** инвестиционный проект; энергоэффективность; селекция проектов; модель, критерии оценки проектов; DEMATEL; ANP

#### Sachenko Oleg

Lecturer at Department of Information-Computing Systems and Control  
Ternopil National Economic University, Ternopil

#### Hladiy Hrygoriy

PhD (Economic), Associate Professor at Department of Information-Computing Systems and Control  
Ternopil National Economic University, Ternopil

### COMBINED MODEL FOR SELECTION OF CRITERIA EVALUATION OF INVESTMENT PROJECTS IN ENERGY

**Abstract.** Based on the analysis of methods of formation of portfolio investments it is proposed a method for effective selection criteria for evaluating investment projects in the power industry which is based on the analysis of methods of formation the portfolio investments. Selection of projects in the portfolio is advantageously carried out on the basis of a combined model methods DEMATEL and ANP. According to the modeling results was designed the card of interference of these criteria. The rating of criteria affords to evaluate projects within the portfolio and select the best among them.

**Keywords:** investment project; energy efficiency; selection of projects; model, project evaluation criteria; DEMATEL; ANP

#### References

1. Gabus, A. & Fontela, E. (1972). *World Problems and Invitation to Further Thought within the Framework of DEMATEL*. Geneva: Battelle Geneva Research Centre.
2. Fontela, E. & Gabus, A. (1976). *The DEMATEL Observer. DEMATEL 1976 Report*. Geneva: Battelle Institute, Geneva Research Center.
3. Warfield, J. N. (1976). *Societal Systems, Planning, Policy and Complexity*. New York: John Wiley & Sons, 490.
4. Tamura M. (2002). Extraction and systems analysis of factors that prevent safety and security by structural models/ M. Tamura, H. Nagata, K. Akazawa // *Proceedings of the IEEE 41st SICE Annual Conference, SICE 2002*. 5-7 Aug. 2002. (3) 1752-1759.
5. Jerry, Ho W.-R. (2011). Combined DEMATEL technique with a novel MCDM model for exploring portfolio selection based on CAPM / Jerry, Ho W.-R., Tsai, C.-L., Tzeng, G.-H., Fang, S.-K. // *Expert Systems with Application*, (38) 16-25.
6. Ohrimenko, O. O. (2013). The effectiveness of the investment mechanism power industry: the dialectic of qualitative and quantitative changes/ O. O. Ohrimenko., I. M. Manayenko // *Problems of economy. International scientific peer-reviewed journal with public access*, (4) 40-47 [in Ukrainian].



7. Sachenko, O.A. (2013). *Portfolio Management of innovative projects to modernize equipment. Project management and development of production*. 1(48), 129-136 [in Ukrainian].
8. Podtynnikov, A. V. (2010). *Conceptual model of power system management organizational structure. East European Journal of advanced technologies. Scientific and Production Journal*. Vol. 1, 3 (43), 55-57 [in Russian].
9. *The main indicators of energy efficiency and energy saving* [electronic resource] <http://msd.com.ua/osnovny-energoberezhniya/osnovnye-pokazateli-effektivnosti-ispolzovaniya-energii-i-energoberezhniya/> [in Russian].
10. Dzigirey, V.S. (2006). *Ecology and Environmental Protection*. Kiev: Znannya, 319 [in Ukrainian].
11. Grishnova, O. A. (2009). *Labor Economics and Labor Relations*. 4th edition. Kiev: Znannya, 390 [in Ukrainian].
12. Tzeng, G. H. & Huang, J.-J. (2011). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Boca Raton, FL: CRC Press, 335.
13. Saaty, T. L. (1996). *Decision making with dependence and feedback: The analytic network process*. Pittsburgh, PA: RWS Publications.
14. Markowitz, H. M. (1952). *Portfolio selection*. *Journal of Finance*: 7 (1), 77–91.
15. Sharpe, W. F. (1964). *Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk*. *Journal of Finance*, 19 (3), 425–442.
16. Lintner, J. (1965). *The valuation of risk assets and the selection of risky investments in stock portfolios and capital budgets*. *Review of Economics and Statistics*, 47 (1), 13–37.
17. Mossin, J. (1966). *Equilibrium in a capital asset market*. *Econometrica*. 34 (4), 768–783.
18. Ehrgott, M. (2004). *An MCDM approach to portfolio optimization* / M. Ehrgott, K. Klamroth, C. Schwehm // *European Journal of Operational Research*, 155 (3), 752–770.
19. Lee, W. S. (2009). *Combined MCDM techniques for exploring stock selection based on Gordon model* / Lee W. S., Tzeng G. H., Guan J. L., Chien K. T., Huang J. M. // *Expert Systems with Applications*, 36 (3), 6421–6430.
20. Triantaphyllou, E. (2000). *Multi-Criteria Decision Making: A Comparative Study*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 320.
21. *Project management: a fundamental course*. (2013). A. V. Aleshin, V. M. Anshin, K. A. Bagrationi et al., edited by V. M. Anshin, O. N. Illina. National Research University "Higher School of Economy". Moscow: Publishing House of Higher School of Economy Изд. дом Высшей школы экономики, 620 [in Russian].
22. Berens V. & Havranek P. M. (1995). *Guidelines for the preparation of industrial feasibility studies*. Translated from English. Moscow "Interexpert", 343 [in Russian].
23. Vilenski P. L., Livshits V.N., Smoliak S. A. (2008). *Evaluating the effectiveness of investment projects. Theory and practice*. Moscow: Delo, 1104. – ISBN 978-5-7749-0518-8 [in Russian].
24. Sukhonos M. K. (2010). *Analysis tools portfolio management of energy saving projects*. *Transactions "Cities Utilities"*, 283-286 [in Russian].
25. Tyan R. B. & Sukhonos M. K. (2010). *Problems of power management and energy efficiency in enterprises*. KhNAMG. Kharkiv, Publishing house "Fort", 296 [in Russian].

#### Посилання на публікацію

- APA Sachenko, O., & Hladiy, H. (2015). *Combined model for selection of criteria evaluation of investment projects in energy*. *Management of Development of Complex Systems*, 22 (1), 165 – 173. [dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.2499.7844](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2499.7844)
- ДСТУ Саченко, О.А. Комбінована модель вибору критеріїв оцінки інвестиційних проектів у сфері енергетики [Текст] / О.А. Саченко, Г.М. Гладій // *Управління розвитком складних систем*. – 2015. - № 22 (1). – С. 165 – 173. [dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.2499.7844](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2499.7844)