

## 4. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ



Науковий вісник НЛТУ України  
Scientific Bulletin of UNFU

<https://nv.nltu.edu.ua>

<https://doi.org/10.15421/40290228>

Article received 27.02.2019 p.

Article accepted 28.03.2019 p.

УДК 621.311



ISSN 1994-7836 (print)  
ISSN 2519-2477 (online)

@ Correspondence author

D. M. Karpa

dmytrokarpa@gmail.com

*Д. М. Карпа, І. Г. Цмоць, В. М. Теслюк*

*Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна*

### ЗАСОБИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПРІОРИТЕТНОСТІ ВИКОНАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ПРОЕКТІВ

Розроблено структуру засобів підтримки прийняття рішень під час визначення пріоритетності виконання енергозберігаючих проектів. Визначено, що для ефективної роботи системи підтримки прийняття рішень під час визначення пріоритетності виконання енергозберігаючих проектів у склад системи повинні входи такі засоби: збирання та зберігання інформації про енергоефективність підприємства; числового оцінювання критеріїв вибору; модель і програмні засоби визначення пріоритетності виконання енергозберігаючих проектів; прогнозування енергоефективності підприємства з врахуванням реалізації енергозберігаючого проекту; візуалізації результатів моделювання. Розроблено модель визначення пріоритетності виконання енергозберігаючих проектів, яка ґрунтується на методі аналізу ієрархій і враховує взаємодію та взаємозалежність критеріїв вибору проекту. Сформовано перелік економічних, технічних, виробничих, екологічних і організаційних критеріїв для вибору інвестиційних енергозберігаючих проектів. Показано, що розроблення моделі визначення пріоритетності виконання інвестиційних енергозберігаючих проектів виконується за п'ять етапів: на першому етапі здійснюється відображення задачі визначення пріоритетності виконання інвестиційних енергозберігаючих проектів у вигляді трирівневого дерева ієрархій; на другому етапі проводиться експертне числове оцінювання економічних, технічних, виробничих, екологічних і організаційних критеріїв вибору; на третьому етапі формується матриця попарних порівнянь та обчислюються власний вектор і вектор пріоритетів для другого рівня ієрархії; на четвертому етапі формується матриця попарних порівнянь і обчислюються вектор пріоритетів для кожного енергозберігаючого проекту; на п'ятому етапі обчислюється вектор глобальних пріоритетів. Розроблено програмні засоби для автоматизації процесу обчислення вектора глобальних пріоритетів. Розроблено з використанням Sankey діаграм, засоби візуалізації вектора глобальних пріоритетів і вектора пріоритетів проектів. Запропоновано для визначення впливу результатів виконання інвестиційного енергозберігаючого проекту на енергоефективність підприємства використовувати нейромережеве прогнозування.

**Ключові слова:** засоби підтримки прийняття рішень; модель; енергоефективність; метод аналізу ієрархій; прогнозування; Sankey діаграма; візуалізація результатів; енергозберігаючий проект.

**Вступ.** Задача підтримки прийняття рішень під час визначення пріоритетності виконання енергозберігаючих проектів у багаторівневій системі управління енергоефективністю регіону характеризується таким: неповторність ситуації вибору; складний для оцінки характер розглядуваних альтернатив; невизначеність післядій; множина різноманітних чинників, які необхідно врахувати під час прийняття рішень; наявність особи або групи осіб, які відповідають за прийняття рішень. Проблеми підтримки прийняття рішень, які виникають під час визначення пріоритетності виконання енергозберігаючих проектів у багаторівневій системі управління енергоефективністю регіону характеризується трьома типами ситуацій: перший – добре структуровані, формалізовані та кількісно сформульовані проблеми; другий – неструктуровані, неформалізовані та якісно

виражені проблеми; третій – слабо структуровані та змішані проблеми, що мають як кількісні, так і якісні елементи. У багаторівневій системі управління енергоефективністю регіону засоби прийняття рішень виконують такі функції: допомагають менеджеру оцінити ситуацію з енергоефективністю; вибрати шляхи зменшення споживання паливно-енергетичних ресурсів; оцінити показники енергоефективності; генерують можливі рішення та сценарії використання нових технологій і обладнання; оцінюють можливі сценарії роботи багаторівневої системи управління енергоефективністю регіону; моделюють та аналізують наслідки прийняття тих чи інших управлінських рішень; оцінюють прийняті управлінські рішення; формують наступні управлінські рішення з урахуванням результатів прийнятих управлінських рішень.

#### Інформація про авторів:

**Карпа Дмитро Михайлович**, аспірант, кафедра автоматизованих систем управління. Email: dmytrokarpa@gmail.com

**Цмоць Іван Григорович**, д-р техн. наук, доцент, кафедра автоматизованих систем управління. Email: ivan.tsmots@gmail.com

**Теслюк Василь Миколайович**, д-р техн. наук, професор, кафедра системи автоматизованого проектування.

Email: vasyt.teslyuk@gmail.com

**Цитування за ДСТУ:** Карпа Д. М., Цмоць І. Г., Теслюк В. М. Засоби підтримки прийняття рішень для визначення пріоритетності виконання енергозберігаючих проектів. Науковий вісник НЛТУ України. 2019, т. 29, № 2. С. 135–140.

**Citation APA:** Karpa, D. M., Tsmots, I. H., & Teslyuk, V. M. (2019). Support decisions tools for determining the priority of energy saving projects. *Scientific Bulletin of UNFU*, 29(2), 135–140. <https://doi.org/10.15421/40290228>

Задачу прийняття управлінських рішень під час визначення пріоритетності виконання енергозберігаючих проектів можна сформулювати як задачу пошуку найкращого рішення з множини допустимих. Формування управлінських рішень з визначення пріоритетності виконання енергозберігаючих проектів ґрунтується на використанні інтелектуальних інформаційних технологій, які забезпечують моделювання, прогнозування та аналіз впливу реалізації енергозберігаючих проектів на енергоефективність економіки регіону. Основою інформаційної підтримки автоматизації процесів прийняття управлінських рішень під час визначення пріоритетності виконання енергозберігаючих проектів є імітаційні моделі, які забезпечують менеджерів вищого, середнього і нижчого рівнів управління необхідною інформацією.

Тому особливої актуальності набуває проблема розроблення засобів системи підтримки прийняття рішень для визначення пріоритетності виконання енергозберігаючих проектів.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Оцінювання якості даних є однією з найбільших проблем, з якими стикаються під час розроблення моделей визначення пріоритетності виконання енергозберігаючих проектів. Усі оцінки повинні мати кількісне подання, що потребує перетворення якісних експертних оцінок у числові значення. Визнаним методом таких перетворень є нечітка логіка, яку запропонував Л. Заде (Amosha & Kolbushkin, 2009).

Згідно з методом Л. Заде, коли істинність або хибність твердження визначені не досить добре, може виявитися доцільним трактувати істинність як лінгвістичну змінну, для якої істинно і хибно – лише два первинних терма в терм-множині цієї змінної, а не пара крайніх точок у множині значень істинності. Таку змінну називають лінгвістичною змінною істинності, а її значення – лінгвістичними значеннями істинності. Трактуювання істинності як лінгвістичної змінної призводить до нечіткої лінгвістичної логіки або просто нечіткої логіки, яка абсолютно відмінна від звичайної двозначної або навіть багатозначної логіки. Ця нечітка логіка є основою того, що можна було б назвати наближеними судженнями, тобто видом міркувань, в яких значення істинності та правила виводу є нечіткими, тобто не точними. Нечітка підмножина  $A$  універсальної множини  $U$  характеризується функцією належності  $\mu_A: U \rightarrow [0,1]$ , яка ставить у відповідність кожному елементу  $u \in U$  число  $\mu_A(u)$  з інтервалу  $[0, 1]$ , що характеризує ступінь приналежності елемента  $u$  підмножині  $A^2$ .

Застосовуючи цей метод під час переходу від якісних до числових даних та навпаки, використовують функцію належності, що не завжди добре, адже потребує додаткових дій і даних, яких немає у проекті (Sergeev, 2013; Pabat, 2009). Для кількісного оцінювання критеріїв, за якими здійснюється визначення пріоритетності виконання енергозберігаючих проектів, часто застосовують такі методи (Amosha & Kolbushkin, 2009):

- еталонних бальних оцінок;
- надання переваг;
- узгодження ранжувань;
- багатовимірного ранжування об'єктів;
- аналізу ієрархій;
- попарних зіставлень;
- перевірки узгодженості думок експертів на основі коефіцієнта конкордації;

- перевірки узгодженості думок експертів на основі розрахунку коефіцієнтів рангової кореляції Спірмена та Кендала;
- графічної інтерпретації результатів експертизи за допомогою функцій належності.

У працях (Amosha & Kolbushkin, 2009; Dzhedzhula, 2014; Saati & Kerns, 1991; Medykovskyi, Tsmots & Tsymbal, 2016; Tarasov, et al., 2007; Tsmots, Tesliuk & Tesliuk, 2017; Karpa, Tsmots & Opotiak, 2018; Karpa, et al., 2018) значну увагу приділено питанням щодо дослідження енергоменеджменту як ефективного засобу підвищення енергоефективності підприємств та економіки області. Однак засоби підтримки прийняття рішень під час визначення пріоритетності виконання енергозберігаючих проектів, що ґрунтуються на результатах моделювання, не повною мірою розроблено.

З аналізу публікацій (Tsmots, Teslyuk & Opotyak, 2018; Adams, 2017; Pukach, et al., 2011; Shankar, 2016; Dziadykevych, Buriak & Rozum, 2011; Teslyuk, 2017; Sergeev, 2013; Saati & Kerns, 1991) випливає, що для формування ефективних управлінських рішень під час визначення пріоритетності виконання енергозберігаючих проектів необхідно розробити такі засоби: кількісного оцінювання критеріїв вибору, обчислення вектора глобальних пріоритетів, прогнозування енергоефективності та візуалізації.

**Мета та завдання дослідження.** Мета роботи – розроблення засобів підтримки прийняття рішень під час визначення пріоритетності виконання енергозберігаючих проектів. Для досягнення мета необхідно вирішити такі завдання:

- розробити структуру засобів підтримки прийняття рішень під час визначення пріоритетності виконання енергозберігаючих проектів;
- розробити модель і програмні засоби визначення пріоритетності виконання енергозберігаючих проектів;
- розробити засоби візуалізації для вибору енергозберігаючих проектів.

**Основні результати дослідження.** Ефективний розвиток економіки регіону потребує збалансованого й ощадливого споживання енергетичних ресурсів. Ефективне використання паливно-енергетичних ресурсів підвищує показники соціально-економічного розвитку регіону, підприємств і організацій. Енергоефективність підприємств і організацій характеризується витратами паливно-енергетичних ресурсів на одиницю виробленого продукту. Для ефективного управління енергоефективністю підприємств і організацій використовуються інформаційно-аналітичні системи, які забезпечать оптимізацію інформаційної взаємодії територіальних служб і органів влади з підприємствами та організаціями на основі управлінських рішень, які формуються засобами підтримки прийняття рішень. Формування ефективних управлінських рішень повинно ґрунтуватися на такій інформації:

- показниках енергоефективності;
- оцінці стану енергоефективності діяльності організацій та установ;
- результатах проведеного енергетичного обстеження підприємства;
- пропозиціях про реалізацію інвестиційних енергозберігаючих проектів;
- коротко- та довготерміновому прогнозуванні стану енергоефективності організацій та установ.

Одним із основних шляхів підвищення енергоефективності підприємств і організацій є реалізація інвести-

ційних енергозберігаючих проектів, які спрямовуються на досягнення таких цілей:

- оптимізацію структури споживання паливно-енергетичних ресурсів у напрямі зменшення частки споживання природного газу;
- зменшення енергоємності виробництва одиниці продукції та виконаних робіт;
- наданих послуг шляхом впровадження сучасних енерго-ефективних технологій;
- скорочення рівня невиробничих втрат паливно-енергетичних ресурсів;
- впровадження та використання альтернативних та відновлювальних джерел енергії.

Для визначення пріоритетності виконання енергозберігаючих проектів переважно використовують моделі, які враховують взаємодію та взаємозалежність критеріїв оцінювання проекту та їхній вплив на енергоефективність підприємств і організацій. Під час розроблення таких моделей необхідно визначити перелік критеріїв оцінювання та їх числове значення. Розроблені моделі оцінювання енергозберігаючих проектів можуть мати різну складність, яка залежить від методів побудови та складності проектів. Моделі оцінювання та визначення пріоритетності виконання енергозберігаючих проектів можна класифікувати так:

- динамічні або статичні;
- стохастичні або детерміновані;
- неперервні або дискретні;
- лінійні або нелінійні;
- статистичні, експертні, побудовані на методах Data Mining;
- прогнозуючі, класифікаційні й описуючі.

Для ефективного функціонування системи підтримки прийняття рішень під час визначення пріоритетності виконання енергозберігаючих проектів пропонуємо структуру засобів, яку наведено на рис. 1.

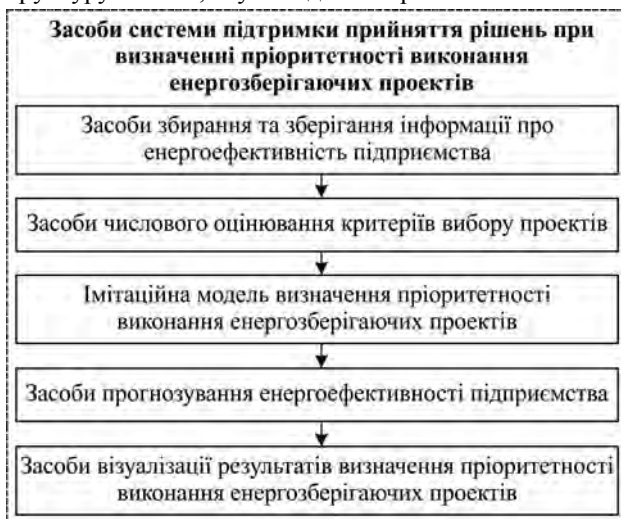


Рис. 1. Структура засобів підтримки прийняття рішень під час визначення пріоритетності виконання енергозберігаючих проектів

Основними компонентами системи підтримки прийняття рішень під час визначення пріоритетності виконання енергозберігаючих проектів є такі засоби:

- збирання та зберігання інформації про енергоефективність підприємства, яку використовують для формування критеріїв вибору та їх числового оцінювання;
- числового оцінювання критеріїв для визначення пріоритетності виконання енергозберігаючих проектів;
- модель і програмні засоби визначення пріоритетності виконання енергозберігаючих проектів, яка враховує взаємодію

та взаємозалежність критеріїв вибору та їхній вплив на енергоефективність;

- прогнозування енергоефективності підприємства з врахуванням реалізації енергозберігаючого проекту;
- візуалізації результатів моделювання визначення пріоритетності виконання енергозберігаючих проектів.

Перелік критеріїв вибору інвестиційних енергозберігаючих проектів формується за економічними, технічними, виробничими, екологічними й організаційними групами впливу. Критерії вибору можуть бути як у кількісному, так і в якісному виді. Для роботи імітаційної моделі визначення пріоритетності виконання енергозберігаючих проектів необхідно, щоб критерії вибору були наведені до єдиного числового виду з використанням експертного оцінювання. Під час експертного оцінювання ваг критеріїв вибору інвестиційних енергозберігаючих проектів необхідно використовувати результати енергетичного обстеження підприємств, інформацію про рівень витрат паливно-енергетичних ресурсів, стан технології та існуючого обладнання. Для формування числового значення критеріїв вибору інвестиційних енергозберігаючих проектів використаємо модифіковану шкалу (таблиця).

Таблиця. Модифікована шкала числових значень критеріїв вибору

Значення критерію	Визначення	Пояснення
1	однакова важливість	однаковий вплив двох критеріїв вибору на енергоефективність
3	помірна перевага одного критерію над іншим	аналіз інформації показує легку перевагу одного критерію вибору над іншим
5	істотна або сильна перевага одного критерію над іншим	аналіз інформації показує істотну перевагу одного критерію вибору над іншим
7	значна перевага	одному критерію вибору надається велика перевага, тому він стає практично значним
9	дуже велика перевага	очевидна перевага одного критерію вибору над іншими
2, 4, 6, 8	проміжні значення між сусідніми рівнями	застосовуються у компромісних випадках

Модель визначення пріоритетності виконання енергозберігаючих проектів повинна враховувати взаємодію та взаємозалежність критеріїв вибору проекту. Для розробки такої моделі використаємо метод аналізу ієрархій (MAI). Розроблення моделі визначення пріоритетності виконання інвестиційних енергозберігаючих проектів на основі методу MAI здійснюється за п'ять етапів.

На першому етапі відбувається відображення задачі визначення пріоритетності виконання інвестиційних енергозберігаючих проектів у вигляді дерева ієрархій (рис. 2).

Результатом першого етапу є розроблення моделі – дерева ієрархій, яке має три рівні та структурує задачу визначення пріоритетності виконання інвестиційних енергозберігаючих проектів і формує групи та критерії вибору.

На другому етапі розроблення моделі визначення пріоритетності виконання інвестиційних енергозберігаючих проектів проводиться експертне оцінювання економічних ( $e_1, e_2, e_3, e_4, e_5$ ), технічних ( $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5$ ), виробничих ( $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$ ), екологічних ( $p_1, p_2, p_3, p_4, p_5$ ) та організаційних ( $r_1, r_2, r_3, r_4, r_5$ ) критеріїв вибору. За результати експертного оцінювання кожного критерію

рію вибору визначається числове значення його важливості, яке записуємо так:  $w_{e1} = w_1, w_{e2} = w_2, w_{e3} = w_3, w_{e4} = w_4, w_{e5} = w_5, w_{t1} = w_6, w_{t2} = w_7, w_{t3} = w_8, w_{t4} = w_9, w_{t5} = w_{10}, w_{b1} = w_{11}, w_{b2} = w_{12}, w_{b3} = w_{13}, w_{b4} = w_{14}, w_{b5} = w_{15}, w_{p1} = w_{16}, w_{p2} = w_{17}, w_{p3} = w_{18}, w_{p4} = w_{19}, w_{p5} = w_{20}, w_{r1} = w_{21}, w_{r2} = w_{22}, w_{r3} = w_{23}, w_{r4} = w_{24}, w_{r5} = w_{25}$ .

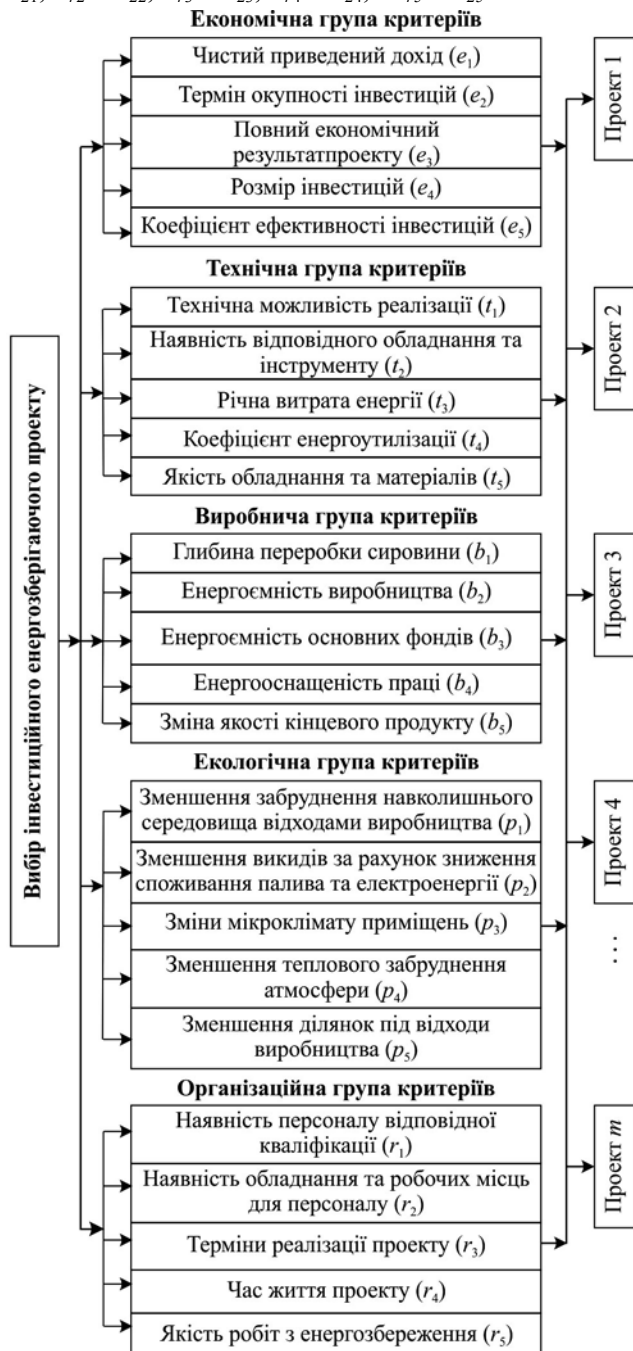


Рис. 2. Дерево ієрархій для визначення пріоритетності виконання інвестиційних енергозберігаючих проектів

На третьому етапі розроблення моделі визначення пріоритетності виконання інвестиційних енергозберігаючих проектів для другого рівня ієрархії формується матриця попарних порівнянь  $A$  та обчислюються власний вектор  $A_e$  і вектор пріоритетів  $A_p$ . Під час формування матриці попарних порівнянь  $A$  використовуються критерії вибору, які є бажаними для підприємства.

Формування матриці попарних порівнянь  $A_j$  здійснюється способом попарного порівняння ваги кожного критерію з вагами інших критеріїв відповідно до виразу:

$$\bar{A} = \{ \bar{A}_i = \{ a_{ij} = w_i / w_j, j = \overline{1, n}, i = \overline{1, n} \} \}. \quad (1)$$

Внаслідок такого порівняння отримуємо матрицю попарних порівнянь  $A_j$  розміром  $n \times n$ . Наступним кроком є обчислення власного вектора  $A_e$  та вектора пріоритетів  $A_p$  відповідно до такого виразу:

$$\bar{A} \Rightarrow \bar{A}^e \Rightarrow \bar{A}^p. \quad (2)$$

Обчислення елементів  $a_i^e$  ( $i = \overline{1, n}$ , де  $n$  – кількість критеріїв вибору) власного вектора  $\bar{A}^e$  виконуємо за такою формулою:

$$\bar{A}^e = \left\{ a_i^e = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}, i = \overline{1, n} \right\}. \quad (3)$$

Маючи значення елементів  $a_{ie}$  власного вектора  $A_e$ , можемо обчислити значення елементів  $a_{ip}$  вектора пріоритетів  $A_p$  за наступною формулою:

$$\bar{A}^p = \left\{ a_i^p = a_i^e / \sum_{j=1}^n a_j^e, i = \overline{1, n} \right\}. \quad (4)$$

Після виконання третього етапу отримуємо вектори пріоритетів  $A^p$  для другого рівня ієрархії.

На четвертому етапі розроблення моделі для кожного  $j$ -го енергозберігаючого проекту ( $j = \overline{1, m}$ , де  $m$  – кількість проектів), що утворюють третій рівень дерева ієрархій, формуємо матрицю попарних порівнянь  $A_j$  і обчислюємо вектор пріоритетів  $\bar{A}^p$ . Під час формування матриці попарних порівнянь  $A_j$  використовуються критерії, які отримаємо внаслідок виконання  $j$ -го проекту. Результатом виконання четвертого етапу є  $m$  векторів пріоритетів  $\bar{A}^p$ .

На п'ятому етапі розроблення моделі визначення пріоритетності виконання інвестиційних енергозберігаючих проектів обчислюється вектор глобальних пріоритетів  $\bar{G}$  та з його використанням визначаємо пріоритетність виконання інвестиційних енергозберігаючих проектів.

Для обчислення вектора глобальних пріоритетів  $\bar{G}$  необхідно сформувати матрицю пріоритетів проектів розміром  $m \times n$

$$\bar{A}^p = \{ \bar{A}_i^p = \{ a_{ij}^p, j = \overline{1, n}, i = \overline{1, m} \} \}, \quad (5)$$

де:  $m$  – кількість проектів,  $n$  – кількість чинників впливу. Матриця пріоритетів проектів  $\bar{A}^p$  формується з  $m$  обчислених векторів пріоритетів  $\bar{A}_{jp}$  для кожного проекту. Обчислення вектора глобальних пріоритетів  $\bar{G}$  виконується способом множення матриці пріоритетів проектів  $\bar{A}^p$  на вектор пріоритетів  $\bar{A}^p$  другого рівня ієрархії відповідно до наступної формули:

$$\bar{G} = \left\{ q_i = \sum_{k=1}^n a_{ik}^p \cdot a_k^p, i = \overline{1, m} \right\}. \quad (6)$$

Визначення пріоритетності виконання інвестиційних енергозберігаючих проектів здійснюється способом аналізу значень елементів вектора глобальних пріоритетів  $\bar{G}$ , кожний елемент якого відповідає певному проекту. До реалізації передусім рекомендується проект, номер якого збігається з номером елемента вектора глобальних пріоритетів  $\bar{G}$ , що має максимальне значення.

Для автоматизації процесу обчислення вектора глобальних пріоритетів  $\bar{G}$  розробляємо програмні засоби, які реалізують обчислення відповідно до виразів (1)–(5). Вхідними даними для таких обчислень є інформація з

бази даних, де зберігаються результати експертного оцінювання економічних ( $e_1, e_2, e_3, e_4, e_5$ ), технічних ( $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5$ ), виробничих ( $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$ ), екологічних ( $p_1, p_2, p_3, p_4, p_5$ ) та організаційних ( $r_1, r_2, r_3, r_4, r_5$ ) критеріїв вибору, які є бажані для підприємства і які отри-

муємо після виконання кожного  $j$ -го інвестиційно енергозберігаючого проекту.

Програмні засоби визначення пріоритетності виконання інвестиційних енергозберігаючих проектів розроблено з використанням MATLAB. Головне вікно користувальницького інтерфейсу наведено на рис. 3.

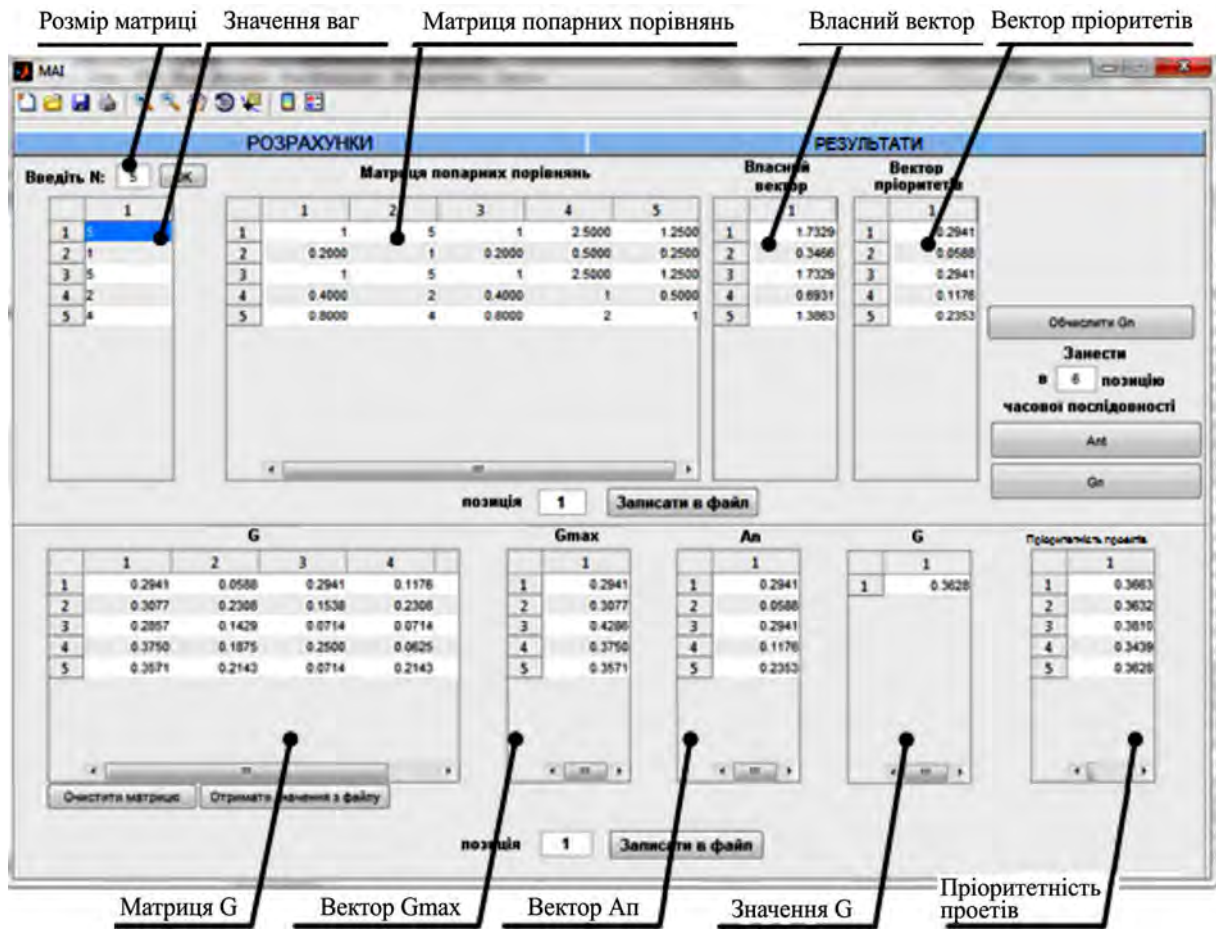


Рис. 3. Головне вікно користувальницького інтерфейсу

Процес обчислення вектора глобальних пріоритетів  $G$  починається з формування матриці попарних порівнянь  $A$ , обчислення власного вектора  $A_e$  та вектора пріоритетів  $A_p$  як для підприємства, так і для кожного  $j$ -го проекту відповідно до формул (1)-(4). Формування матриці попарних порівнянь починається із введення розмірів матриці в полі  $n$ . Формування матриці попарних порівнянь  $A$  здійснюється способом порівняння значень критеріїв вибору зі значеннями інших критеріїв вибору. Результати такого попарного порівняння вводяться послідовно – стовпець за стовпцем. З використанням матриці попарного порівняння  $A$  обчислюємо власний вектор  $A_e$  і вектор пріоритетів  $A_p$ , які записуються у відповідні поля. З використанням отриманих векторів пріоритетів  $A_p$  обчислюємо вектор глобальних пріоритетів  $G$  за формулою (5).

Для визначення пріоритетності виконання інвестиційних енергозберігаючих проектів розроблено засоби візуалізації як вектора глобальних пріоритетів  $G$ , такі вектора пріоритетів  $A_p$  кожного  $j$ -го проекту. Засоби візуалізації розроблено з використанням Sankey діаграм, де ширина потоку відповідає як значення елементів глобального вектора  $G$ , так і значення елементів векторів пріоритетів  $A_p$ . Приклад візуалізації елементів глобального вектора  $G$  зображено на рис. 4. Ширина потоків визначає пріоритетність виконання проектів. Для

деталізації вибраного  $j$ -го проекту можна розробити Sankey діаграму векторів пріоритетів  $A_{jp}$ .

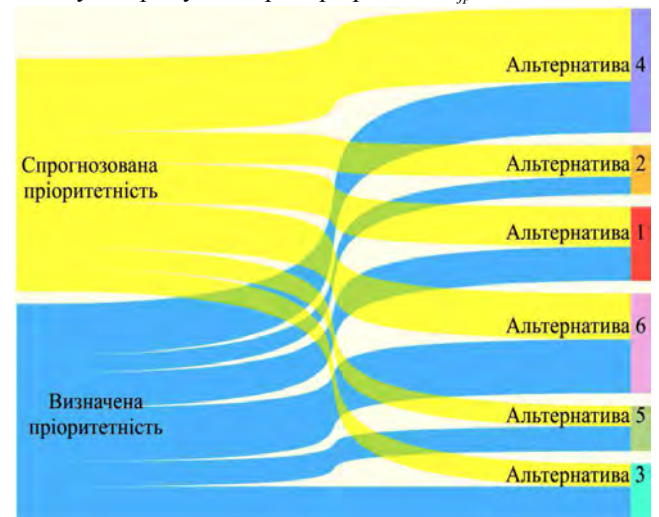


Рис. 4. Візуалізація елементів глобального вектора  $G$

Для визначення впливу результатів виконання інвестиційного енергозберігаючого проекту на енергоефективність підприємства здійснюється неймережеве прогнозування. За результатами неймережевого прогнозування приймають управлінське рішення.

## Висновки:

1. Розроблено модель визначення пріоритетності виконання інвестиційних енергозберігаючих проектів на підприємстві, яка завдяки використанню та врахуванню взаємодії економічних, технічних, виробничих, екологічних і організаційних груп критеріїв вибору забезпечує точніше формування вектору глобальних пріоритетів.
2. Вдосконалено шкалу числового оцінювання економічних, технічних, виробничих, екологічних та організаційних критеріїв вибору, яка за рахунок врахування результатів економіко-енергетичного обстеження підприємства забезпечує підвищення точності їх числового оцінювання.
3. Розроблено метод візуалізації вектора глобальних пріоритетів і векторів пріоритетів проектів, який завдяки використанню Sankey діаграм забезпечує підвищення ефективності прийняття управлінських рішень.

## Перелік використаних джерел

- Adams, T. (2017). *Training an artificial neural network*. Retrieved from: [http://nltu.edu.ua/nv/Archive/2018/28\\_2/28.pdf](http://nltu.edu.ua/nv/Archive/2018/28_2/28.pdf).
- Amosha, A. I., & Kolbushkin, Iu. P. (2009). Metodologicheskie podkhody k otsenke energosberegaiushchikh protsessov. *Ekonomika promislivosti*, 2, 128–132. [In Russian].
- Dragan, Ya. P., & Hrytsiuk, Yu. I., & Palyanitsya, Yu. B. (2016). System analysis of statistical estimation of states of stochastic vibration system and shunt principle. *Scientific Bulletin of UNFU*, 26(1), 395–402. <https://doi.org/10.15421/40260161>
- Dzhedzhula, V. V. (2014). *Enerhozberezhennia promyslovykh pidpriemstv: metodolohiia formuvannia, mekhanizm upravlinnia*. Vinnytsia: VNTU, 346 p. [In Ukrainian].
- Ziadykevych, Yu. V., Buriak, M. V., & Rozum, R. I. (2011). Metody otsinky efektyvnosti investytsii v enerhozberezhennia. *Imovatsiina ekonomika*, 2, 119–122. [In Ukrainian].
- Karpa, D. M., Tsmots, I. H., & Opotiak, Yu. V. (2018). Neiromerzhevi zasoby prohnozuvannia spozhyvannia enerhoresursiv. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(5), 140–146. [In Ukrainian].
- Karpa, D., Zelinsky, A., Teslyuk, V., & Tsmots, I. (2018). Model of the Regional Energy Efficiency Analysis Based on the Artificial Neural Networks. *Proceedings of XIVth International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design*. (pp. 259–263). Memstech.
- Medykovskyi, M. O., Tsmots, I. H., & Tsymbal, Yu. V. (2016). Informatsiino-analitychna systema dlia upravlinnia enerhoefektyvnosti pidpriemstv Lvova. *Aktualni problemy ekonomiky*, 1(175), 2014, 379–384. [In Ukrainian].
- Pabat, A. A. (2009). Ekonomichni chynnyky konkurentospromozhnosti natsionalnykh enerhetychnykh tekhnolohii. *Derzhava ta rehiony*, 2, 144–148. [In Ukrainian].
- Pukach, A. I., Teslyuk, V. M., Tkachenko, R. O., & Ivantsiv, R.-A. D. (2011). Implementation of neural networks for fuzzy and semistructured data. *Proceedings of 11-th International Conference on The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM*. (pp. 350–352). Lviv – Polyana.
- Saati, T., & Kerns, K. (1991). *Analiticheskoe planirovanie. Organizatsiia sistem*. Moscow: Radio i sviaz, 224 p. [In Russian].
- Saati, T., & Kerns, K. (1991). *Analiticheskoe planirovanie. Organizatsiia sistem*. Moscow: Radio i sviaz, 224 p. [In Russian].
- Sergeev, N. N. (2013). Otsenka faktorov, vliiaushchikh na energeticheskuiu effektivnost promyshlennykh predpriatii. *Ekonomika i pravo*, 2, 94–97. [In Russian].
- Shankar, R. (2016). *Neural Networks*. MA: MIT Press, pp. 124–132.
- Tarasov, V. A., Gerasimov, B. M., Levin, I. A., & Korneichuk, V. A. (2007). *Intellektualnye sistemy podderzhki priniatiia reshenii: Teoriia, sintez, effektivnost*. Kyiv: MAKNS, 336 p. [In Russian].
- Teslyuk, V. (2017). *Priority Selection Model for Energy Saving Investment Projects at an Enterprise*. Retrieved from: <https://www.researchgate.net/publication/328998741>.
- Tsmots, I. H., Tesliuk, V. M., & Tesliuk, T. V. (2017). Model vyznachenhennia priorytetnosti vykonannia investytsiinykh enerhozberihaiuchykh proektiv na pidpriemstvi. *Aktualni problemy ekonomiky*, 1(187), 398–408. [In Ukrainian].
- Tsmots, I., Teslyuk, T., & Opotyak, Y. (2018). Selection of Hardware Features and Synthesis of Multilevel Control System Components of Energy Efficiency of Production Processes. *Proceedings of XIVth International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design*. (pp. 186–190). Memstech.

**D. M. Karpa, I. H. Tsmots, V. M. Teslyk**

*Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine*

## SUPPORT DECISIONS TOOLS FOR DETERMINING THE PRIORITY OF ENERGY SAVING PROJECTS

The authors in the article present the idea of creating the architecture and its implementation of the component of the energy efficiency management system as the efficient development of the regional economy requires balanced and economical consumption of energy resources. One of the main ways to increase energy efficiency of enterprises and organizations is the implementation of investment energy saving projects. Efficient use of fuel and energy resources increases the indicators of socio-economic development of the region, enterprises and organizations. The task of making decisions in determining the priority of implementing energy-saving projects can be formulated as a task of finding the best solution from the set of permissible ones. The main goal is to create an algorithm that will help to identify the project with the best performance and the smallest investment of money requirement. The system operates on the basis of the hierarchy analysis method supported by the submodule of data visualization. Algorithm results depend on a list of economic, technical, production, environmental and organizational criteria. Visualization module operates with Sankey type of diagram. In order to maintain the reliability of the results, system use the prognostication of neural networks. The main components of the developed system are: component of collection and storage of energy efficiency information of the enterprise which is used to formulate selection criteria and their numerical evaluation; component of the numerical evaluation of the criteria to determine the priority; model and software tools of prioritization which takes into account the interdependence of the selection criteria and their impact on energy efficiency; component of enterprise energy efficiency forecasting taking into account the implementation of the energy saving project; component of simulation results visualization. As a result, a model for determining the priority of investment energy saving projects implementation at the enterprise was developed, which, by using the interaction of economic, technical, industrial, environmental and organizational groups of selection criteria, provides more accurate results of the vector of global priorities.

**Keywords:** Sankey diagrams; visualization; forecasting; optimization; energy saving projects.