

УДК 330.620.9

**Чухрай Н.І.***доктор економічних наук, професор  
Національного університету «Львівська політехніка»***Новаківський І.І.***доктор економічних наук, доцент  
Національного університету «Львівська політехніка»***Бохонко І.В.***аспірант  
Національного університету «Львівська політехніка»*

## МОДЕЛЮВАННЯ ВИБОРУ КРАЩОГО ПРОЕКТУ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ТА УНИКНЕННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ЕНЕРГОПОСТАЧАЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

### MODELLING OF CHOICE OF THE BEST PROJECT FOR DETECTION AND AVOIDANCE OF ELECTRICITY LOSSES AT POWER SUPPLY ENTERPRISES

#### АНОТАЦІЯ

У статті приведено методи визначення оптимальних проектів для удосконалення діяльності енергопостачального підприємства. На основі аналізу поточного стану мереж запропоновано сукупність проектів, які дадуть змогу зменшити втрати під час передавання електроенергії. Сформовано і обґрунтовано перелік критеріїв оцінювання проектів та адаптовано метод аналізу ієрархій для ефективного вибору оптимального з них.

**Ключові слова:** метод аналізу ієрархій, мережі, втрати, електроенергія, будівництво, технічне переоснащення, реконструкція.

#### АННОТАЦИЯ

В статье приведены методы определения оптимальных проектов для усовершенствования деятельности энергоснабженческого предприятия. На основе анализа текущего состояния сетей предложена совокупность проектов, которые дадут возможность уменьшить потери при передаче электроэнергии. Сформирован и обоснован перечень критериев оценивания проектов и адаптирован метод анализа иерархий для эффективного выбора оптимального из них.

**Ключевые слова:** метод анализа иерархий, сети, потери, электроэнергия, строительство, техническая переоснастка, реконструкция.

#### ANNOTATION

In the article methods over of determination of optimal projects are brought for the improvement of activity of energyprocurement enterprise. On the basis of analysis of current status of networks the aggregate of projects which will give an opportunity to decrease losses at passed to electric power is offered. The list of criteria of evaluation of projects is formed and reasonable and the method of analysis of hierarchies is adapted for an effective choice optimal from them.

**Keywords:** method of analysis of hierarchies, network, loss, electroenergia, building, technical retooling, reconstruction.

**Постановка проблеми.** Енергетика є одним із найважливіших і невід'ємних складників економічного комплексу України, який відіграє важливу роль у конкурентоспроможності продукції вітчизняного виробництва. Ефективність функціонування галузі пов'язана з рівнем розвитку та станом основних фондів підприємств електроенергетики загалом, а також станом електромереж зокрема.

Сьогодні енергопостачальним підприємствам вже недостатньо стабільно виробляти та передавати електроенергію, а потрібно грамотно реорганізувати систему енергомереж, щоб вийти на стандарти розвинутих країн. В умовах дефіциту власних ресурсів, обмеженої державної підтримки енергопостачальні підприємства повинні підтримувати найбільш вагомими напрями діяльності шляхом вибору окремих проектів із широкого списку потрібних. Енергопостачальним підприємствам потрібно вирішувати стратегічні завдання розвитку та ефективно розподіляти власні та залучені ресурси між проектами, для чого необхідно правильно оцінити пріоритетність вибраного проекту з урахуванням широкого спектру внутрішніх і зовнішніх чинників.

Все вище наведене актуалізує розроблення та обґрунтування методів вибору найкращих за соціально-економічними і технологічними характеристиками проектів енергопостачального підприємства з метою зменшення втрат електроенергії.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблематикою зменшення операційних втрат під час транспортування електроенергії займалися такі вчені, як І.А. Будзко, М.Й. Бурбело, О.О. Бірюков, Ю.С. Железко, Т.Б. Лещинська, В.І. Сукманов та Л.М. Мельничук [1-3]. Більшість науковців акцентували увагу на вивченні сутності втрат електроенергії. При цьому залишається невирішеним питання вибору кращого рішення із множини альтернатив щодо зменшення втрат електроенергії.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Доцільність дослідження зумовлена необхідністю розроблення формалізованого підходу до вибору кращого проекту для мінімізації втрат в електромережах енергопостачального підприємства в умовах багатокритеріального оцінювання запропонованих заходів

та обмеженості необхідних ресурсів. Розроблені методи вибору проектів оптимального розвитку енергопостачального підприємства повинні мати не лише теоретико-методичний характер, а й прикладне застосування. Ці методи повинні допомогти керівникам ухвалювати ефективні управлінські рішення, щоб мінімізувати втрати електроенергії.

**Метою статті** є розроблення методів моделювання вибору проектів для ефективного стратегічного розвитку, на основі яких відбудеться зменшення втрат електроенергії в електромережах. Завданням є вибір і обґрунтування критеріїв, за якими оцінюють ефективність проекту удосконалення діяльності енергопостачального підприємства.

**Виклад основного матеріалу** дослідження. У сучасних умовах господарювання рівень енергоспоживання, ощадливе використання електроенергії є визначальними факторами економіки будь-якої країни, особливо за умов дефіциту енергоносіїв. Невирішені проблеми відтворення основних фондів електроенергетичних підприємств істотно мірою зумовили виникнення низки соціально-економічних і технологічних проблем вітчизняних енергопостачальних підприємств. Ситуацію загострюють такі зовнішні чинники, як перманентний процес збільшення електричних навантажень, зростання одиничних потужностей агрегатів промислових підприємств, розширення і поглиблення електрифікації технологічних процесів, автоматизація та інформатизація систем взаємодії з партнерами і споживачами. У результаті підвищуються вимоги до надійності електропостачання і якості електроенергії, способів регулювання ціноутворення, а також характеристик екологічності і безпеки обслуговування діяльності енергопостачальних підприємств.

Очевидно, що нагальним завданням є розроблення формалізованих методів вибору шляхів модернізації енергопостачальних підприємств з урахуванням чисельних зовнішніх та внутрішніх чинників. Одним із найефективніших інструментів для аналізу та прогнозування діяльності енергопостачальних підприємств є економіко-математичні методи і моделі.

На нашу думку, найбільш придатним методом, який підходить для вибору кращого управлінського рішення із системи альтернативних рішень енергопостачальних підприємств, є метод аналізу ієрархій Т. Сааті. Цей метод має якісні переваги порівняно з усіма іншими, оскільки він дає змогу повноцінно враховувати численні критерії, які представлені для вибору найбільш доцільного проекту. Цей метод полягає у декомпозиції проблеми на більш прості складові елементи і подальшій їх обробці особою, що приймає рішення, шляхом застосування методу попарних порівнянь. Таким чином, комплексне завдання вибору проекту за багатьма критеріями можна представити складною багатовекторною задачею, вирішення якої зводиться до послідов-

них попарних порівнянь її окремих компонентів [4]. Метод аналізу ієрархій (МАІ) передбачає процедури синтезу множинних суджень, отримання пріоритетів критеріїв і знаходження альтернативних варіантів рішень. Він є систематичною процедурою для ієрархічного представлення елементів, які визначають сутність комплексної проблеми вибору проекту [4; 5].

Адаптований метод МАІ для енергопостачального підприємства, як і класичний, проводиться за декілька етапів. Спершу розглядаємо скінченну множину альтернативних проектів для енергопостачального підприємства  $X = \{x^1, \dots, x^m\}$ , а далі проводимо збирання даних (технічних, технологічних, соціальних, економічних та ін.) щодо них. Якщо порівнювати два довільні альтернативні проекти (елементи)  $x^i$  та  $x^j$  вказаної множини, то перед нами ставиться запитання, у скільки разів один проект більш привабливий, ніж інший.

Було вирішено розглядати три типові проекти, які характерні для більшості енергопостачальних підприємств, такі як:

- будівництво нових ліній електромереж чи встановлення обладнання;
- реконструкція;
- технічне переоснащення.

Для проведення комплексного оцінювання множини альтернативних проектів насамперед необхідно вибрати, а потім формалізувати процес встановлення значень кількісних і якісних критеріїв. Спершу, щоб обґрунтувати вибір проекту мінімізації втрат електроенергії, пропонуємо використати низку галузевих критеріїв, які обґрунтовують прийняття управлінського рішення. Далі необхідно розробити ієрархічну структуру критеріїв, яка передбачає їх ранжування з урахуванням специфіки діяльності енергопостачального підприємства. За потреби окремі критерії можуть бути складеними, тобто складатися з ієрархічно впорядкованої сукупності показників.

Для оцінювання кожного із проектів мінімізації втрат електроенергії в енергопостачальному підприємстві доцільно застосувати такі критерії, як:

1) теперішня вартість проекту – сума стартового капіталу, яку необхідно вкласти в проект, вимірюється у грн. на основі даних фінансового відділу;

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{St}{(1+k)^t} - A_0, \quad (1)$$

де NPV – теперішня вартість проекту, грн.;  $S_t$  – грошовий потік у період  $t$ , грн.;  $k$  – необхідна ставка прибутковості інвестицій, %;  $t$  – період часу;  $n$  – тривалість проекту, роки;  $A_0$  – теперішня вартість первинних інвестицій у проект, грн.;

2) термін окупності – час, протягом якого окупляться вкладені кошти в реалізацію проектів, вимірюється у роках на основі розрахунків фінансового відділу;

$$T = \frac{A_0}{P}, \quad (2)$$

де  $T$  – термін окупності проектів, роки;  $A_0$  – інвестиції, вкладені в проект, грн.;  $P$  – очікуваний щорічний прибуток від впровадження проекту, грн;

3) надійність енергопостачання – це безперервне забезпечення споживачів електроенергією заданої якості відповідно до договірних зобов'язань. У сучасних ринкових умовах надійність електропостачання нерозривно пов'язана з економічними показниками й енергетичною безпекою підприємств. Більше того, надійність електропостачання є товаром, що має свою ціну й реалізується через ринкові послуги, забезпечується усіма суб'єктами ринку в зонах відповідальності за надійність під час їх технологічної та економічної взаємодії. Щодо надійності електропостачання споживачі електричної енергії діляться на три категорії, такі як 1) електроспоживачі I категорії, перерва в електропостачанні яких може привести до небезпеки для життя людей, значних матеріальних втрат, пошкодження дорогого вартісного обладнання, масового браку продукції, збою складного технологічного процесу, порушення функціонування особливо важливих елементів комунального господарства. Зі складу I категорії виокремлюють особливу групу споживачів, безперербійна робота яких необхідна для попередження загрози для життя людей, вибухів та пожеж, пошкодження дорогого обладнання; 2) електроспоживачі II категорії, перерва в електропостачанні яких приводить до масового недовідпуску продукції, масового простою робочими, механізмів та промислового транспорту, порушення життєдіяльності значної кількості міських та сільських жителів; 3) електроспоживачі III категорії – всі інші споживачі електроенергії, які не підпадають під визначення I та II категорій. Електропостачання приймачів III категорії надійності електропостачання може здійснюватись від одного джерела живлення за умови, що перерва в електропостачанні, яка необхідна для ремонту і заміни пошкодженого елемента системи електропостачання, не перевищує однієї доби. Завдання забезпечення надійності систем електропостачання містить у собі цілий комплекс технічних, економічних і організаційних заходів, спрямованих на зниження збитку від порушення нормального режиму роботи споживачів електроенергії, а саме:

- вибір критеріїв і кількісних характеристик надійності;
- випробування на надійність і прогнозування надійності устаткування;
- вибір оптимальної структури проектованих (реконструйованих) систем електропостачання за критерієм надійності;
- забезпечення заданих технічних і експлуатаційних характеристик роботи споживачів;

– розроблення найбільш раціональної, з погляду забезпечення надійності, програми експлуатації системи (обґрунтування режимів профілактичних робіт, норм запасних елементів і методів пошуку несправностей).

Цей якісний показник вимірюється у відносних одиницях (відсотках) та розраховується уповноваженими працівниками підприємства.

$$He = \frac{N_c}{N} \times 100\%, \quad (3)$$

де  $N$  – загальна кількість споживачів, що обслуговується;  $N_c$  – кількість споживачів, що подали скаргу;

4) енергоефективність – це корисна ефективна витрата енергії, ефективне використання енергетичних ресурсів, використання меншої кількості енергії для забезпечення того ж рівня енергетичного забезпечення будівель або технологічних процесів на виробництві. Для оцінки енергоефективності продукції або технологічного процесу використовується «показник енергетичної ефективності», який оцінює споживання або втрати енергетичних ресурсів. Цей показник розраховується спеціалістами планового відділу та служби головного інженера у відносних одиницях (відсотках):

$$E = 1 - \frac{\Delta P}{P} \times 100, \quad (4)$$

де  $E$  – енергоефективність;  $\Delta P$  – втрати електричної енергії, кВт\*год;  $P$  – активна потужність, кВт\*год.;

5) рентабельність операційної діяльності – цей показник характеризує окупність витрат операційної діяльності і вимірюється у відносних одиницях. Він відображає результати роботи підприємства, оскільки під час його розрахунку враховуються не лише реалізаційні, а й позареалізаційні результати, що належать до основної діяльності.

$$P = \frac{P_{o.d.}}{OB} \times 100, \quad (5)$$

де  $P_{o.d.}$  – прибуток операційної діяльності, грн.;  $OB$  – операційні витрати, грн.;

6) екологічність – мінімізації впливу на навколишнє природне середовище завдяки використанню ресурсозберігаючих технологій, забезпеченню екологічної і промислової безпеки. Цей якісний показник вимірюється у грошовому виразі:

$$E_k = E_3 - (V_{пз} - VT - V_{пр}), \quad (6)$$

де  $E_k$  – екологічність, грн.;  $E_3$  – загальноекономічний ефект суб'єкта господарювання, грн.;  $V_{пз}$  – вартість природоохоронних заходів, грн.;  $VT$  – втрати від забруднення природного середовища, грн.;  $V_{пр}$  – вартість природних ресурсів, грн.

Для ПАТ «Львівобленерго» було проведено обстеження. Для визначення первинних показників реалізації проектів мінімізації втрат електроенергії було залучено експертів із Національного університету «Львівська політехніка» та фахівців ПАТ «Львівобленерго». Отримані дані будемо

застосовувати під час вибору найкращого проекту із наявних альтернатив на підприємстві.

Таблиця 1  
Первинні дані альтернативних проектів мінімізації втрат електроенергії ПАТ «Львівобленерго» за методом аналізу ієрархій

Проекти \ Критерії	Нове будівництво	Реконструкція	Технічне переоснащення
Вартість проекту, млн. грн.	567	157,12	404,78
Термін окупності, роки	15	10	8
Надійність енергопостачання, %	95	65	79
Енергоефективність, %	90	70	72
Рентабельність операційної діяльності, %	40	30	35
Екологічність, тис. грн.	900	700	600

Примітка: розраховано авторами на основі даних досліджуваних підприємств

З урахуванням [4] наведемо основні етапи модифікованого методу аналізу ієрархій для вибору найкращого проекту мінімізації втрат електроенергії для ПАТ «Львівобленерго».

(ЕТАП I) На рис. 1 представлено ієрархічну структуру прийняття рішення щодо вибору кращого із множини альтернативних проектів для ПАТ «Львівобленерго».

У цьому разі розглядаємо домінуючі ієрархії, що будуються з вершини через проміжні рівні до найнижчого рівня, який у нас є переліком альтернатив для енергопостачального підприємства.

Для чисельного визначення результатів порівняння важливості приведених у табл. 1 проектів

для мінімізації втрат електроенергії окремих об'єктів у кількісному виразі згідно з Т. Саати пропонуємо використовувати шкалу парних порівнянь. Ранжування критеріїв за відносною вагомістю під час прийняття управлінських рішень на енергопостачальному підприємстві провели задіяні експерти, які таким чином розставили їх вагомість від найвагомішого до найменш вагомого проекту:

- 1) енергоефективність;
- 2) надійність енергопостачання;
- 3) вартість проекту;
- 4) термін окупності;
- 5) рентабельність операційної діяльності;
- 6) екологічність.

(ЕТАП II)

За результатами проведених досліджень складемо матрицю попарних порівнянь  $A = \|a_{ij}\|_{(m \times m)}$ , яка містить елементи попарного порівняння  $i$ -го критерія порівняно з  $j$ -им критерієм з урахуванням їх важливості. Для цього було застосовано шкалу відносною важливості критеріїв оцінювання проектів мінімізації втрат електроенергії згідно з Т. Саати, приведену на етапі 1.

У процесі порівняння використаємо процедуру узгодження. Процедура узгодження означає, що  $a_{ij} = \alpha$ ;  $a_{ji} = 1/\alpha$ , для всіх  $i, j = \overline{1, m}$ , тобто якщо об'єкт  $x^i$  вагомий за  $x_j$  у  $\alpha > 1$  разів, тоді цінність об'єкта  $x_j$  становить  $1/\alpha$  цінності об'єкта  $x^i$ . Якщо відповідні об'єкти порівняння цілком узгоджені між собою (рівноправні), то варто прийняти  $a_{ij} = w_i/w_j$  для всіх  $i, j = \overline{1, m}$ .

У разі, коли узгодженість повна, матимемо, що  $A = \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_m \end{pmatrix} = m \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_m \end{pmatrix}$ . Це означає, що вектор відносних цінностей  $(w_1, \dots, w_m)^T$  є власним вектором матриці та відповідає власному числу  $\lambda = m$  цієї матриці [73]. Такий підхід застосовуються лише тоді, коли відповіді осіб, що приймають рішення, містять похибки.

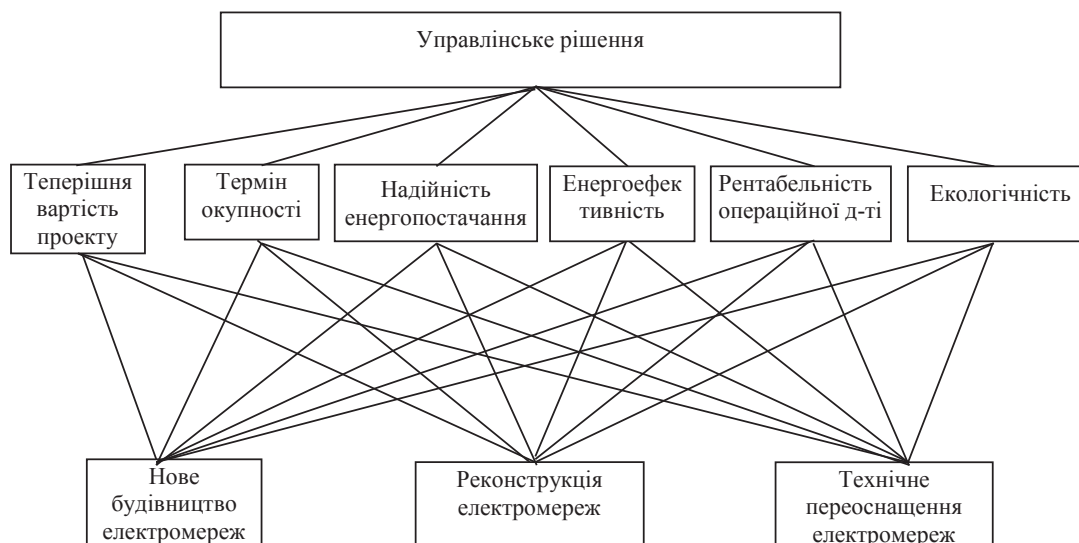


Рис. 1. Трирівнева ієрархічна структура вибору найкращого проекту щодо мінімізації втрат операційної діяльності енергетичних підприємств

Примітка: [побудовано авторами]

З огляду на вищесказане матриця попарних порівнянь критеріїв оцінювання проектів прийме вигляд, наведений у табл. 2.

Таблиця 2  
Порівняння показників ефективності критеріїв

Альтернативи	Теперішня вартість проекту	Термін окупності	Надійність енергопостачання	Енергоефективність	Рентабельність операційної діяльності	Екологічність
Теперішня вартість проекту	1	3	1/3	1/4	5	5
Термін окупності	1/3	1	1/5	1/5	3	3
Надійність енергопостачання	3	5	1	1/3	5	7
Енергоефективність	4	5	3	1	7	9
Рентабельність операційної діяльності	1/5	1/3	1/5	1/7	1	2
Екологічність	1/5	1/3	1/7	1/9	1/2	1

Примітка: пороховано авторами

(ЕТАП 3) На цьому етапі застосовують метод середнього геометричного та обчислюють вектор відносних цінностей. Ці показники розраховуються для задіяних об'єктів (критеріїв та самих проектів). Обчислення показників відносної цінності об'єктів проводиться за допомогою середнього геометричного кожного рядка матриці.

(ЕТАП 4) Розрахована величина значення власного числа, якому відповідає обчислений вектор відносних цінностей, представляє коефіцієнти вагомості отриманих проектів.

(ЕТАП 5) Узагальнюючі оцінки пріоритетів розраховано як суму добутків по рядках для кожного проекту щодо кожного критерію, отриманого з матриць. У результаті отримано узагальнюючі оцінки пріоритетів доцільності прийняття проектів.

Таблиця 3  
Глобальні пріоритети для запропонованих проектів

Альтернативні проекти	Глобальні пріоритети альтернатив
Нове будівництво	0,6526
Реконструкція	0,1114
Технічне переоснащення	0,2361

Із проведених розрахунків видно, що найпривабливішим з позиції обраних критеріїв є перший проект – нове будівництво мереж. Другий і третій проекти мають меншу пріоритетність порівняно з першим.

(ЕТАП 6) На останньому етапі передбачається оцінювання значення  $\lambda_{\max}$ , шляхом покомпонентного ділення складників добутку  $A \times w$  на складники вектору відносних цінностей  $w$ . Одержимо вектор, після чого за наближене значення  $\lambda_{\max}$  виберемо середнє арифметичне компонент цього вектора. Порівняння обчисленого значення індексу узгодженості  $J = \frac{\lambda_{\max} - m}{m - 1}$

з еталонною величиною підтвердило коректність прийнятого рішення про ефективність проектів, наведеного в табл. 3.

**Висновки.** Можна стверджувати, що в сучасних умовах проблема зниження операційних втрат передавання електроенергії не втратила своєї актуальності і стала одним із основних завдань забезпечення фінансової стабільності енергопостачальних підприємств. У цьому контексті адаптований метод МАІ для вибору найбільш доцільних проектів мінімізації втрат електроенергії має велике практичне значення. Це підтверджено прикладом застосування методу Т. Саати для вибору кращого проекту для енергопостачального підприємства ПАТ «Львівобленерго». Він дав змогу стратегічно спланувати майбутнє підприємства завдяки врахуванню та узгодженню низки критеріїв. Все це переконує, що саме цей метод є економічно обґрунтованим в умовах множинності поглядів на модернізацію підприємств у сучасних умовах.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Железко Ю.С. Недоучет электроэнергии, допустимые небалансы и их отражение в нормативах потерь // Электрические станции. – 2003. – № 11. – С. 18-22.
2. Будзко И.А. Электроснабжение сельского хозяйства / И.А. Будзко, Т.Б. Лещинская, В.И. Сукманов // – М.: Колос, 2000. – 536 с.
3. Бурбело М.И. Маркетинг енергії. Навчальний посібник / М.И. Бурбело, О.О. Бірюков, Л.М. Мельничук. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 119 с.
4. Саати Т.Д. Принятие решений: метод анализа иерархий; [пер. с англ.] / Т.Д. Саати. – М.: «Радио и связь», 1993. – 278 с.
5. Мехович С.А. Вплив сучасних тенденції на реформування ринку електроенергії України [Електронний ресурс] / С.А. Мехович, А.С. Колесніченко // Маркетинг і менеджмент інновацій. – 2012. – № 2. – С. 208-213. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Mimi\\_2012\\_2\\_25.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Mimi_2012_2_25.pdf)