

ІВАНЬКО Д.О., аспірант,
НАХОДОВ В.Ф., канд. техн. наук, доцент,
БОРИЧЕНКО О.В., канд. техн. наук,
ЄГОРОВА І.О., студент

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ЧИННИКІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ВЕЛИЧИНУ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Дана стаття присвячена питанням вдосконалення підходів визначення чинників, які суттєво впливають на величину витрати енергії при здійсненні відповідних технологічних процесів. Зокрема, проаналізовано необхідність визначення чинників, від яких залежить величина споживання палива та енергії на будь-якому виробничому об'єкті. Розглянуто методи математичного моделювання, які можуть бути застосовані для встановлення «Стандарту» енергоспоживання в системах оперативного контролю енергоефективності. Виконано порівняння наведених методів визначення чинників, які впливають на величину витрати енергії при здійсненні відповідних технологічних процесів.

Ключові слова: «стандарт» енергоспоживання, математична модель, системи оперативного контролю енергоефективності.

Вступ

Одним із пріоритетних напрямів підвищення рівня ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) на виробничих об'єктах України є побудова систем енергетичного менеджменту. Застосування таких систем дозволяє здійснювати безперервне управління енергоспоживанням з метою раціоналізації використання ПЕР та зменшення їх споживання при незмінних обсягах випущеної продукції [1].

Однією із складових частин систем енергетичного менеджменту є підсистема оперативного управління ефективністю використання ПЕР, яка являє собою сукупність систем контролю і планування енергоспоживання (систем КіП). В таких системах оцінка рівня ефективності споживання ПЕР на будь-якому виробничому об'єкті здійснюється шляхом порівняння фактичних показників споживання енергетичних ресурсів з так званими цільовими змінними, які часто називають також «стандартами» енергоспоживання [2].

Постановка проблеми

«Стандарт» енергоспоживання являє собою певну математичну модель споживання палива або енергії, побудовану для окремого виробничого об'єкту, в залежності від чинників, які суттєво впливають на величину витрати енергії при здійсненні відповідних технологічних процесів [3]. Відомо, що величина споживання палива та енергії на будь-якому виробничому об'єкті залежить від великої кількості різноманітних чинників, які до того ж можуть впливати один на одного. До цих чинників, зокрема, можна віднести обсяг виробництва продукції або виконання роботи, тривалість та режими роботи обладнання, окремі параметри технологічного процесу і виробничих умов, показники, що характеризують особливості організації виробництва тощо. Для кожного конкретного виробничого об'єкту склад таких чинників, їх вплив на енергоспоживання та тіснота зв'язку між ними є суттєво різними. Тобто неможливо визначити деякий універсальний їх склад, який би дозволив будувати адекватні математичні моделі енергоспоживання для будь-яких виробничих об'єктів, навіть однотипних за призначенням. Тим часом як коректність та об'єктивність контролю енергоефективності, що здійснюється на основі встановлених «стандартів» енергоспоживання, цілком залежить від повноти врахування всіх чинників, що суттєво впливають на витрати палива чи енергії на тому чи іншому об'єкті.

Однак при цьому необхідно звернути увагу, що врахування у математичній моделі незалежних змінних, які мають незначний вплив на енергоспоживання, призводить не лише до ускладнення процесу побудови «стандартів» та зниження їх адекватності, але й до значних перевитрат фінансових та трудових ресурсів, тому що врахування впливу кожного додаткового чинника може вимагати встановлення на об'єкті контролю енергоефективності додаткових вимірювальних приладів а також значних витрат робочого часу на збір та обробку відповідних статистичних даних.

В літературних джерелах, присвячених побудові традиційних систем КіП, можна зустріти лише деякі рекомендації щодо складу чинників, що можуть впливати на обсяги споживання енергії виробничим

обладнанням окремих галузей промисловості, але не розглядаються питання методології вибору найбільш доцільного складу чинників для кожного конкретного об'єкту контролю енергоефективності [4].

Основні результати дослідження

Розробка методології вибору чинників, які суттєво впливають на процес енергоспоживання є важливою задачею для побудови та коректного функціонування систем КіП. Авторами запропоновано комплексний підхід до визначення їх складу, структурна схема якого наведена на рис. 1.



Рисунок 1— Схема реалізації комплексного підходу до визначення складу чинників при встановленні «стандартів» енергоспоживання

Вибір чинників здійснюється в декілька етапів (рис. 1) з застосуванням різних критеріїв на кожному з них, що дозволяє будувати «стандарти» енергоспоживання, максимально враховуючи усі чинники, що суттєво впливають на обсяги споживання енергоресурсів і одночасно уникаючи при цьому надмірних витрат ресурсів, необхідних для встановлення і подальшого використання цих «стандартів».

Попередній відбір чинників

Суттєвою проблемою при побудові систем КіП є відсутність інформації про режими та умови роботи обладнання, отримати яку досить складно, оскільки систематичне вимірювання та облік відповідних параметрів, як правило, не здійснюються. Тому єдиним реально досяжним способом попереднього вибору чинників, які можуть бути використані для побудови «стандарту» енергоспоживання, є проведення експертного опитування [2]. При цьому експертна група повинна складатися з невеликої кількості кваліфікованих працівників підприємства, виробнича діяльність яких безпосередньо пов'язана з функціонуванням даного технологічного об'єкту. До складу експертів, зокрема, доцільно залучати технологів, енергетиків, операторів установок, лінійних менеджерів, енергоменеджерів тощо.

Можна виділити дві принципово відмінні групи методів проведення експертного опитування: методи колективного та індивідуального опитування членів експертної групи [7]. Зважаючи на переваги та недоліки кожної з зазначених груп методів, авторами цієї статті було запропоновано використати змішаний підхід. При використанні даного підходу на початку опитування групі експертів надаються анкети з певною кількістю заздалегідь зазначених чинників, що на думку дослідника, який організує опитування, можуть впливати на величину енергоспоживання. Далі експертам пропонується внести додаткові чинники, які на їх думку впливають на споживання відповідного енергоресурсу на даному об'єкті, або вилучити окремі, вже зазначені чинники. При цьому визначення додаткових чинників або вилучення зазначених здійснюється шляхом колективного експертного опитування. Такий підхід дозволяє уникнути одразу декількох проблем:

- 1) необхідності проведення окремого етапу з попереднього визначення чинників, які можуть впливати на енергоспоживання;
- 2) дублювання чинників, термінологічне тлумачення яких може відрізнятися для спеціалістів різних профілів.

Після внесення до анкет необхідних змін кожному з експертів пропонується незалежно від інших оцінити ступінь впливу на енергоспоживання зазначених в анкеті чинників. З цією метою можуть бути застосовані, зокрема, такі методи експертного опитування як попарне порівняння, ранжирування або використання апарату нечіткої логіки [5-8].

Методологія попереднього відбору складу чинників, які впливають на величину енергоспоживання, може бути проілюстрована на прикладі технологічного процесу виробництва аміаку.

Групою з п'яти експертів після колективного обговорення з використанням методу «мозкового штурму» було попередньо визначено, що при побудові «стандартів» енергоспоживання для зазначеного технологічного процесу необхідно враховувати вплив таких чинників як обсяги виробництва аміаку, тиском 30 атм, тиском 16 атм, газів, що використовуються для продувки технологічних установок а також температура навколишнього середовища. Після цього кожному з експертів було запропоновано

незалежно від інших заповнити анкети, за допомогою яких були реалізовані три зазначені вище методи експертного опитування.

Метод попарного порівняння

Використання цього методу дозволяє визначити ступінь впливу на енергоспоживання кожного з чинників шляхом встановлення так званих рівнів «переваги» для всіх можливих варіантів їх попарного порівняння [5]. При цьому можливі три ситуації:

- $F_i > F_j$ (чинник F_i сильніше впливає на енергоспоживання, ніж чинник F_j) - встановлюються рівні «переваги»: $Q(F_i)=1, Q(F_j)=0$;
- $F_i < F_j$ (чинник F_i слабкіше впливає на енергоспоживання, ніж чинник F_j) - встановлюються рівні «переваги»: $Q(F_i)=0, Q(F_j)=1$;
- $F_i \sim F_j$ (чинники F_i та F_j впливають на енергоспоживання приблизно однаково - встановлюються рівні «переваги»: $Q(F_i)=0,5, Q(F_j)=0,5$.

В результаті опитування експертів щодо ступеню впливу попередньо визначених чинників на споживання енергії при виробництві аміаку (з застосуванням методу попарного порівняння отримано п'ять таблиць, одна з яких має наступний вигляд (таблиця 1):

Таблиця 1 – Оцінка впливу чинників першим експертом

	Виробництво аміаку	Виробництво продувних газів	Виробництво пари тиском 30 атм	Виробництво пари тиском 16 атм	Температура навк. сер.
Виробництво аміаку	0,5	1	1	1	1
Виробництво продувних газів	0	0,5	1	1	1
Виробництво пари тиском 30 атм	0	0	0,5	1	1
Виробництво пари тиском 16 атм	0	0	0	0,5	1
Температура навк. сер.	0	0	0	0	0,5

Для отримання групової оцінки ступеню впливу кожного з чинників на енергоспоживання, будується матриця математичних очікувань оцінок рівнів «переваги», встановлених для кожної з пар чинників. При цьому величини математичного очікування визначаються за формулою розрахунку математичного очікування дискретної випадкової величини:

$$x_{i,j} = a_1 \frac{m_i}{m} + a_2 \frac{m_p}{m} + a_3 \frac{m_j}{m}; \quad (1)$$

де $a_1 = 1, a_2 = 0,5, a_3 = 0$ – рівні «переваги»; m_i, m_p, m_j – кількість експертів, які встановили відповідно рівень a_1, a_2, a_3 ; m – загальна кількість експертів.

Для прикладу, що розглядається, матриця математичних очікувань оцінок рівнів «переваги» має вигляд (таблиця 2):

Таблиця 2 – Математичні очікування оцінок впливу чинників

	Виробництво аміаку	Виробництво продувних газів	Виробництво пари тиском 30 атм	Виробництво пари тиском 16 атм	Температура а навк. сер.
Виробництво аміаку	5/10	8/10	10/10	10/10	8/10
Виробництво продувних газів	2/10	5/10	6/10	10/10	6/10
Виробництво пари тиском 30 атм	0/10	4/10	5/10	8/10	6/10
Виробництво пари тиском 16 атм	0/10	0/10	2/10	5/10	4/10
Температура навк. сер.	2/10	4/10	4/10	6/10	5/10

Для отримання вектора відносної важливості чинників може бути використаний ітераційний алгоритм [5]:

- 1) початкова умова: крок ітерації $t = 0$, вектор коефіцієнтів відносної важливості чинників $k^0 = [1, 1, 1, 1, 1]^T$;

2) рекурентні відношення:

$$Y^1 = \begin{bmatrix} 41 \\ 29 \\ 23 \\ 11 \\ 21 \end{bmatrix} \Rightarrow \lambda^1 = \frac{125}{10} \Rightarrow k^1 = \begin{bmatrix} 0,3280 \\ 0,2320 \\ 0,1840 \\ 0,0880 \\ 0,1680 \end{bmatrix};$$

3) ознака закінчення :

$$\max(|0,6720|, |0,7680|, |0,8160|, |0,9120|, |0,8320|) = 0,9120 \leq 0,001 \quad - \text{ умова не}$$

виконується.

Остаточний результат одержано на четвертому кроці ітерації:

$$k^3 = \begin{bmatrix} 0,3634 \\ 0,2267 \\ 0,0681 \\ 0,1766 \\ 0,1748 \end{bmatrix} \Rightarrow Y^4 = \frac{1}{53725} \begin{bmatrix} 396305 \\ 246721 \\ 179305 \\ 74001 \\ 192665 \end{bmatrix} \Rightarrow \lambda^4 = \frac{1088997}{53725} \Rightarrow k^4 = \begin{bmatrix} 0,3639 \\ 0,2266 \\ 0,1647 \\ 0,0680 \\ 0,1769 \end{bmatrix}$$

$$\max(|0,0006|, |0,0002|, |0,0005|, |0,0002|, |0,0003|) = 0,0006 \leq 0,001, \quad \text{отже умова}$$

виконується, тобто вектор k^4 буде вектором коефіцієнтів відносної важливості кожного з чинників, що впливають на величину енергоспоживання.

Нормалізовані значення коефіцієнтів відносної важливості кожного з чинників наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 — Нормалізовані значення коефіцієнтів відносної важливості чинників

Виробництво аміаку	Виробництво продувних газів	Виробництво пари тиском 30 атм	Виробництво пари тиском 16 атм	Температура навк. сер.
1	0,622553	0,452442	0,186727	0,486153

Як свідчать дані таблиці 3, найменший вплив на енергоспоживання в порівнянні з іншими чинниками має обсяг виробництва пари тиском 16 атм і його можна рекомендувати до виключення з подальшого розгляду при побудові «стандартів» енергоспоживання.

Метод ранжирування

Метод ранжирування базується на впорядкуванні експертом чинників за ступенем їх впливу на величину енергоспоживання [5]. З цією метою експерт присвоює чинникам відповідні порядкові номери, які називають рангами. Ранги, присвоєні кожним експертом всім чинникам, що розглядаються, не повторюються і являють собою натуральний ряд чисел:

$$r_1 < r_2 < \dots < r_n.$$

Причому чиннику, який впливає на енергоспоживання найсильніше присвоюється ранг 1.

Заповнені таким чином анкети всіх експертів, які приймають участь у опитуванні, узагальнюються. Для цього будується зведена матриця рангів, яка для прикладу, що розглядається, наведена в таблиці 4.

Таблиця 4 — Зведена матриця рангів чинників, що впливають на енергоспоживання

Умовний номер експерта	Виробництво аміаку	Виробництво продувних газів	Виробництво пари тиском 30 атм	Виробництво пари тиском 16 атм	Температура навк. сер.
1	1	2	3	4	5
2	1	3	2	5	4
3	2	1	4	3	5
4	1	3	4	5	2
5	2	4	3	5	1

З метою перевірки узгодженості думок експертів щодо впливу на енергоспоживання наведених в таблиці 4 чинників необхідно визначити величину відхилення сум рангів, присвоєних кожному чиннику, від середньої їх суми:

$$S = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{s=1}^m r_{ij} - \bar{r} \right)^2 = (7-15)^2 + (13-15)^2 + (16-15)^2 + (22-15)^2 + (17-15)^2 = 122.$$

де \bar{r} — середня сума рангів, присвоєних експертами кожному чиннику; m — кількість опитаних експертів; n — кількість чинників, що розглядаються.

Так як в процесі експертного опитування зв'язані (однакові) ранги, присвоєні будь-якому з чинників відсутні, коефіцієнт конкордації розраховується за формулою:

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)} = \frac{12 \cdot 122}{5^2(5^3 - 5)} = 0,5856.$$

При цьому розрахункове значення критерію Пірсона дорівнює:

$$\chi^2_{розр} = m \cdot (n-1) \cdot W = 5 \cdot (5-1) \cdot 0,5856 = 11,712.$$

Розрахункове значення $\chi^2_{розр}$ порівнюється з табличним $\chi^2_{табл} = 11,07$, визначеним для числа ступенів свободи $df = n-1$ і відповідного рівня значущості помилки $\alpha = 0,05$. Оскільки $\chi^2_{розр} > \chi^2_{табл}$, можна стверджувати, що думки експертів з ймовірністю 95% є узгодженими [6].

Остаточне ранжирування чинників за ступенем їх впливу на енергоспоживання може бути виконане за середніми значеннями або медіанами рангів, присвоєних експертами кожному з чинників (таблиця 5).

Таблиця 5 — Середні значення та медіани рангів чинників

	Виробництво аміаку	Виробництво продувних газів	Виробництво пари тиском 30 атм	Виробництво пари тиском 16 атм	Температура навк. сер.
Середні значення рангів	1,4	2,6	3,2	4,4	3,4
Медіани	1	3	3	5	4

Таким чином, застосовуючи цей метод експертного опитування, можна впорядкувати чинники за їх важливістю але при цьому неможливо визначити співвідношення між ступенем впливу кожного з чинників на величину енергоспоживання на даному об'єкті, а отже неможливо вирішити, чи потрібно враховувати при подальшій побудові «стандарту» енергоспоживання всі наявні чинники, чи ні. Можна лише сказати, що найменший вплив на енергоспоживання має обсяг виробництва пари тиском 16 атм і, за необхідності, можна рекомендувати до виключення з подальшого розгляду при побудові «стандартів» енергоспоживання саме цього чинника.

Метод експертного опитування з застосуванням апарату нечіткої логіки

Особливістю даного методу є те, що визначення ступеню впливу чинників на енергоспоживання можна здійснювати, застосовуючи не кількісні, як в попередніх двох методах, а якісні оцінки, які подаються експертами у вигляді так званих лінгвістичних змінних. При використанні цього методу кожному з експертів пропонується, виходячи з його думки щодо) впливу чинників (на енергоспоживання, поставити відповідну позначку на інтервальної шкалі, що має вигляд лінійки з лінгвістичними оцінками ступеню цього впливу (рисунок 2). Кількість таких інтервальних шкал відповідає кількості чинників, вплив яких на енергоспоживання необхідно оцінити.



Рисунок 2 — Інтервальна шкала для експертного оцінювання впливу чинників на величину енергоспоживання

Отримані таким чином оцінки експертів мають суб'єктивний характер, тому обробку результатів експертного опитування доцільно здійснювати з використанням математичного апарату нечіткої логіки

[7]. Для обробки результатів опитування експертів можуть бути використані різні функції приналежності лінгвістичних оцінок, наприклад кусково-лінійна, трикутна, гаусова, трапецеїдальна тощо.

Авторами цієї статті було проведено обробку результатів експертного опитування, одержаних з застосуванням нечіткої логіки для різних технологічних об'єктів. При цьому використовувалися дев'ять видів функцій приналежності лінгвістичних оцінок. Численні виконані розрахунки свідчать, що форма функції належності лінгвістичних змінних практично не впливає на результати обробки думок експертів, оскільки в процесі цієї обробки необхідно визначати не точну кількісну оцінку ступеню впливу на енергоспоживання різних чинників, а лише найбільш ймовірний ступінь впливу цих чинників на обсяг споживання енергії.

У прикладі, що розглядається, для обробки результатів опитування експертів було використано сімейство з п'яти кусково-лінійних функцій приналежності лінгвістичних оцінок впливу на енергоспоживання кожного з чинників. Приклад побудови таких функцій приналежності для одного з чинників наведено на рисунку 3.

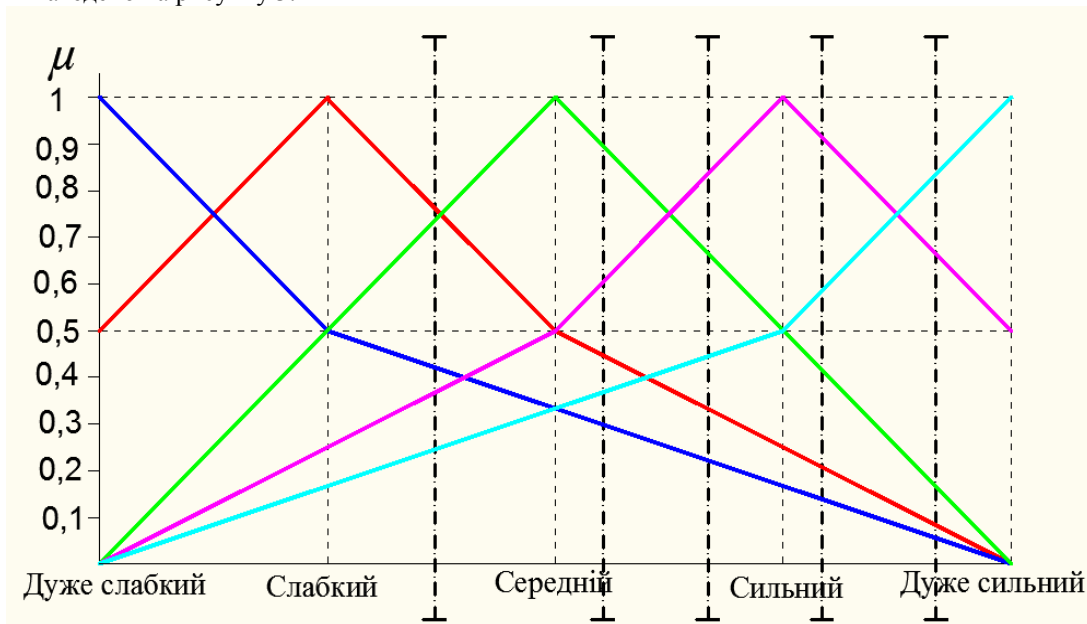


Рисунок 3 — Функції приналежності лінгвістичних оцінок ступеню впливу на енергоспоживання обсягу виробництва аміаку

Обробку результатів експертного опитування, проведеного з застосуванням цього методу, можна проілюструвати на прикладі оцінювання впливу обсягу виробництва аміаку на величину енергоспоживання (таблиця 6).

Графічним способом за відповідними функціями приналежності (рисунок 3) визначаємо ступінь відповідності (ймовірність збігу $p_{i,j}^k$) суб'єктивної оцінки кожним експертом впливу на енергоспоживання i -го чинника його дійсному рівню, припускаючи, що цей дійсний рівень є j -м. Графічно величини $p_{i,j}^k$ (де k – умовний номер експерта) можуть бути визначені як ординати точок перетину вертикальної прямої, що відповідає оцінці експерта, з кожною з функцій приналежності $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5$.

На підставі визначених таким чином значень ймовірностей $p_{i,j}^k$ необхідно обчислити загальну ймовірність збігу оцінки всіма експертами ступеню впливу на енергоспоживання цього чинника дійсному рівню його впливу, припускаючи, що цей дійсний рівень є j -м:

$$p_j = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N p_j^k,$$

де N – кількість експертів;

Рівень впливу j , для якого розраховане таким чином значення загальної ймовірності p_j буде найбільшим, відповідає найбільш ймовірному ступеню реального впливу чинника, що розглядається, на енергоспоживання. Зокрема, на підставі думок всіх опитаних експертів (таблиця 6) найбільш ймовірним

є, що обсяг виробництва аміаку має сильний вплив на величину енергоспоживання у технологічному процесі, що розглядається.

Таблиця 6 – Визначення найбільш ймовірного ступеню впливу обсягу виробництва аміаку на енергоспоживання

Оцінка впливу	Експерт 1	Експерт 2	Експерт 3	Експерт 4	Експерт 5	Середнє значення
Дуже слабкий	0,421	0,298	0,221	0,138	0,055	0,2266
Слабкий	0,764	0,447	0,332	0,208	0,082	0,3666
Середній	0,735	0,895	0,665	0,415	0,165	0,575
Сильний	0,368	0,605	0,835	0,915	0,665	0,6776
Дуже сильний	0,245	0,368	0,445	0,585	0,835	0,4956

Результати обробки лінгвістичних експертних оцінок впливу інших чинників свідчать, що, крім виробництва аміаку, на величину енергоспоживання у даному технологічному процесі середній вплив здійснюють також обсяги виробництва продувних газів і тиском 30 атм, а також температура навколишнього середовища, в той час як обсяг виробництва пари тиском 16 атм має слабкий вплив і тому, за необхідності, саме цей чинник можна рекомендувати до виключення з подальшого розгляду при побудові «стандартів» енергоспоживання.

Кожен з розглянутих вище методів експертного оцінювання має низку недоліків та переваг, основні з яких наведені в таблиці 7.

Таблиця 7 – Недоліки та переваги методів експертного оцінювання

Недоліки методів	Попарне порівняння	Ранжирування чинників	Застосування нечіткої логіки
Складна процедура опитування експертів при необхідності оцінки впливу великої кількості чинників	+	+	-
Дає можливість перевірити узгодженість думок експертів	-	+	-
Дає можливість визначити ступінь впливу кожного чинника на величину енергоспоживання	-	-	+
Дає можливість визначити коефіцієнти «переваг»	-	+	-

Проаналізувавши недоліки та переваги кожного з методів, можна стверджувати, що найбільш прийнятним для практичного застосування є метод експертного опитування з використанням математичного апарату нечіткої логіки. При цьому окремі недоліки даного методу можуть бути усунені шляхом поєднання його з іншими методами експертного оцінювання.

Економічна оцінка можливості врахування певного набору чинників

Врахування великої кількості чинників при побудові «стандартів» енергоспоживання вимагає значних витрат на встановлення вимірювальних приладів а також на організацію збору та обробки відповідних даних. Як правило, фінансові ресурси, які виділяються на побудову та функціонування систем КІП є обмеженими. Тобто при побудові таких систем виникає задача вибору з урахуванням фінансових обмежень певного оптимального складу чинників, використання яких при встановленні «стандартів» енергоспоживання дозволить здійснювати контроль енергоефективності найбільш обґрунтовано та об'єктивно.

Одним із можливих шляхів вирішення даного питання є застосування методів комбінаторної оптимізації, зокрема, алгоритм вирішення відомої задачі про ранець (рюкзак) для випадку, коли кожен предмет можна брати тільки один раз.

З точки зору побудови системи КІП на деякому технологічному об'єкті вирішення цієї задачі відбувається в таких умовах. Методом експертного опитування визначено набір з N чинників, які впливають на енергоспоживання даного об'єкту. Для кожного з цих чинників також з застосуванням експертних методів знайдені значення коефіцієнтів відносної важливості, k_i , $i = (1, 2..N)$. Тим самим визначено склад потенційно необхідних вимірювальних приладів чи приладів обліку.

Крім того, є відомими витрати коштів, необхідні на закупівлю, монтаж та експлуатацію вимірювального обладнання, а також витрати на організацію обліку та обробки даних пов'язані з врахуванням впливу кожного чинника, Z_i .

На побудову та функціонування системи контролю і планування енергоспоживання на цьому об'єкті виділені певні кошти, W .

Потрібно визначити такий набір чинників, який дозволить встановлювати для цього технологічного об'єкту якомога більш адекватні «стандарти» енергоспоживання з урахуванням фінансових обмежень W .

Тобто, для вирішення цієї задачі необхідно максимізувати цільову функцію $F = \sum_{i=1}^N k_i x_i$ при обмеженні $\sum_{i=1}^N Z_i x_i \leq W$, де x_i – ознака врахування при встановленні «стандартів» енергоспоживання i -го чинника ($x_i = 1$, якщо чинник враховується і $x_i = 0$, якщо не враховується).

Для вирішення цієї задачі можна застосувати різні математичні методи, зокрема, динамічне програмування, повний перебір, метод гілок та меж, генетичні алгоритми тощо [9]. Зважаючи на невелику розмірність задачі, кожен з цих методів вимагатиме незначних витрат часу при приблизно однаковій точності рішення, тобто кожен з них є придатним до застосування.

Для більшої наочності вирішення цієї задачі можна проілюструвати графічно. Прийнемо, що на побудову та функціонування системи КіП було виділено 20 тис. грн. Інші вихідні дані наведено в таблиці 7.

Таблиця 7 — Додаткові витрати на організацію обліку та обробки даних пов'язані з врахуванням впливу кожного чинника

	Виробництво аміаку	Виробництво продувних газів	Виробництво пари тиском 30 атм	Температура навк. сер.
Умовний номер чинника	1	2	3	4
Коефіцієнт відносної важливості, k_i	0,363917	0,226558	0,164652	0,17692
Витрати на організацію обліку та обробки даних, Z_i тис. грн.	8	6	6,5	3

Графічне вирішення задачі показано на рисунку 4. По осі абсцис відкладено кількість чинників, по осі ординат - коефіцієнти їх відносної важливості. Їх проекції на другу вертикальну вісь відображають витрати на врахування впливу чинників при побудові «стандартів» енергоспоживання.

Шляхом проведення горизонтальних та похилих ліній, які відповідають неврахуванню або врахуванню впливу відповідного чинника, будується мережа, яка відображає всі можливі варіанти наборів чинників, що будуть використані при побудові «стандартів» енергоспоживання для цього об'єкту.

Таким чином, будь-якому рішенню задачі відповідає певний шлях у мережі, а вирішення задачі зводиться до знаходження шляху з максимальною довжиною [9].

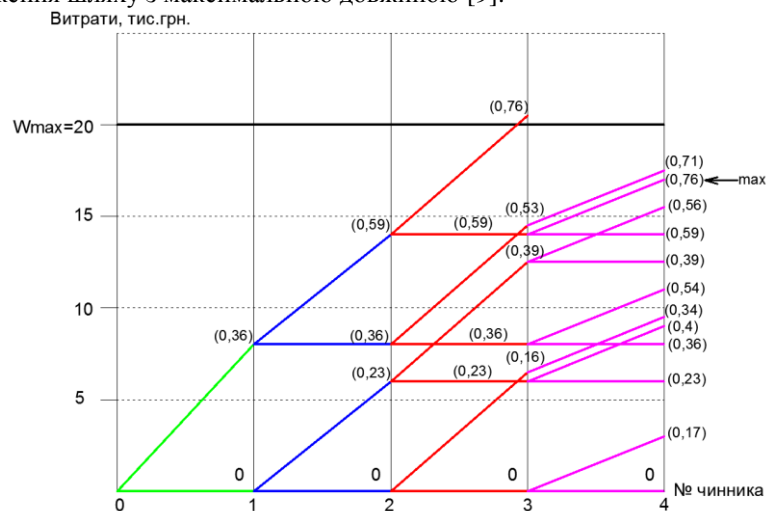


Рисунок 4 — Мережа, що ілюструє поетапне вирішення задачі про ранець.

На вертикальній осі справа (рисунок 4), в дужках наведені сумарні значення важливості врахування відповідних наборів чинників на кожному кроці алгоритму оптимізації. Як свідчить рисунок 4, максимальна сумарна важливість чинників, витрати на врахування яких не будуть перевищувати встановлене обмеження, буде досягнута при використанні першого, другого та четвертого чинників, що і є вирішення задачі. Тобто обсяг виробництва пари тиском 30 атм економічно недоцільно враховувати при встановленні «стандартів» енергоспоживання для технологічного об'єкту, що розглядається.

Застосування ймовірно-статистичних процедур, які дозволяють визначити тісноту статистичного зв'язку між чинниками та енергоспоживанням

Доцільність використання при побудові «стандартів» енергоспоживання того чи іншого набору чинників повинна визначатися також тіснотою існуючих статистичних зв'язків між самими чинниками та величиною енергоспоживання. Виявити та оцінити ці зв'язки можна за допомогою відповідних ймовірно-статистичних процедур. Тобто, після проведення попередніх двох етапів відбору чинників додатково має бути перевірена тіснота статистичного зв'язку між відібраними чинниками та величиною енергоспоживання а також між самими чинниками.

Кількісна оцінка тісноти цих зв'язків може бути виконана на основі статистичних даних одержаних за допомогою тимчасово встановлених на об'єкті вимірювальних приладів чи приладів обліку.

Очевидно, що доцільним є використання при побудові «стандартів» енергоспоживання тільки тих чинників, які дійсно суттєво впливають на обсяги споживання енергії.

З іншого боку, чинники, що враховуються в відповідних математичних моделях енергоспоживання, не повинні бути взаємно корельованими або знаходитися у функціональному зв'язку між собою.

Таким чином прийняття остаточного рішення щодо доцільності використання при побудові «стандартів» того чи іншого набору чинників повинно базуватися на додатковій кількісній оцінці суттєвості впливу чинників на енергоспоживання за допомогою методів кореляційного аналізу, на виявленні мультиколінеарності чинників, а також на перевірці рівня значущості коефіцієнтів побудованих рівнянь регресії [10].

Висновки

1. Одним з пріоритетних напрямків оперативного управління ефективністю використання паливно-енергетичних ресурсів є застосування систем контролю і планування енергоспоживання (КПП).
2. Розробка методології, яка дозволить проводити відбір чинників, що впливають на процес енергоспоживання, на будь-яких об'єктах контролю є важливою задачею для побудови та коректного функціонування систем КПП.
3. З метою врахування в математичних моделях «стандартів» енергоспоживання оптимального набору чинників, їх відбір повинен бути проведений в декілька етапів з застосуванням на кожному етапі різних критеріїв їх вибору.
4. Основними способами відбору чинників на відповідних етапах мають бути методи експертного опитування з використанням апарату нечіткої логіки, економічна оцінка можливості врахування певного набору чинників, а також застосування ймовірно-статистичних процедур для перевірки тісноти статистичного зв'язку між відповідними випадковими величинами та уникнення мультиколінеарності незалежних змінних.

Література

1. Ковалко М. П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України / М. П. Ковалко, С. П. Денисюк. – К. : УЕЗ, 1998. – 506 с.
2. Находов В.Ф. Энергосбережение и проблема контроля эффективности энергоиспользования / В.Ф. Находов // Промислова електроенергетика та електротехніка Промелектро : інформ. зб. – 2007. – № 1. – С. 34–42.
3. Jones Phil. Getting started with Monitoring & Targeting (M&T) // Fundamental Series. – 2004. – №7. – P.29–32.
4. Пособие по курсу «Основы целевого энергетического мониторинга». – М.: ЭНИЗАН, АСЭМ, 1997. – 38 с.
5. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Экспертные системы в медицине»/ Сост: Синекон Ю.С., Продеус А.Н., Вунтесмери Ю.В., Имад Исса Джамиль Ирейфидж, Киселев Е.Н. - К.: НТУУ «КПИ», 2011-73с.
6. Методы обработки экспертной информации: учебно метод. пособие/ А. Н. Павлов, Б. В. Соколов; ГУАП. СПб., 2005. 42 с.: ил.
7. Организационно-экономическое моделирование: теория принятия решений : учебник / А.И. Орлов. — М. : КНОРУС, 2011. — 568 с.
8. Бешелев С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.

9. В. Н. Бурков, И. А. Горгидзе, С. Е. Ловецкий. Прикладные задачи теории графов. — М., 1974. — 232 с.

10. Дубров А.М., Мхитарян В.С., Трошин Л.И. Многомерные статистические методы. — М., Финансы и статистика, 2003. Статистика /под редакцией Мхитаряна/, учебник для вузов, М., Экономист, 2006.

Ivanko D.O., postgraduate student
Nakhodov V.F., PhD of science,
Borichenko O.V., PhD of science,
Egorova I. A., student

National Technical University of Ukraine «Kiev Polytechnic Institute» (NTUU «KPI»)

AN INTEGRATED APPROACH TO DETERMINE THE COMPOSITION OF THE FACTORS THAT AFFECT THE AMOUNT OF ENERGY IN THE IMPLEMENTATION OF OPERATIONAL CONTROL EFFICIENCY

This article is devoted to issues of improvement approaches determine the factors that significantly affect the amount of energy expended in making the relevant processes. In particular, analyzes need to identify factors that affect the value of fuel and energy to any production facility. A review of the methods of mathematical modeling, which can be applied for the establishment of "standard" energy consumption on the systems of planning and control of energy consumption. A comparison of the above methods for determining the factors that affect the amount of energy expended in making the relevant processes.

Keywords: "standard" energy consumption, mathematical model, operational control systems energy efficiency.

1. Kovalko MP Energy saving - priority of public policy Ukraine / Kovalko MP, SP Denysyuk. - K.: UEZ, 1998. - 506 p.
2. Nahodov VF The Power and Control Issues effectiveness enerhoospolzovanyya / VF Nahodov // Industrial power engineering and electrical Promelektro : Information . Collected . - 2007 . - № 1. - P. 34-42 .
3. Jones Phil. Getting started with Monitoring & Targeting (M&T) // Fundamental Series. — 2004. — №7. — P.29–32.
4. Certainly appreciate the course " Fundamentals tselevogo enerhetycheskoho Monitoring ." - Moscow: ЭНУЗАН , АСЭМ , 1997. - 38 p.
5. Doobrov AM, Mkhitarян VS Troshyn LI Mnohomernыe statysticheskiye methods. - Moscow, Finance and Statistics , 2003. Statistics / Under the editors Mkhitarян / Textbook for Universities , МА, Economist , 2006.
6. Methods Monitor ekspertnoy of information : Training method. Textbook / AN Pavlov , BV Sokolov ; SUAI . St. Petersburg., 2005. Pp. 42 . : Ref.
7. Organizational and ekonomycheskoe modeling : Theory of solutions of Adoption : Textbook / AI Orlov. - Moscow: KNORUS , 2011. - 568 p.
8. Beshelev SD Mathematics and statysticheskiye methods ekspertnyh otsenok / SD Beshelev , FG Gurvich. - M. : Statistics , 1980. - 263 p.
9. Burkov VN , IA Horhydze , SE Lovetsky . Prykladnye tasks graph theory . - M. , 1974. - 232 p.
10. Methodological ukazanyya k laboratornym work on the course " Экспертные system of medicine " / Sost : Synekop JS, Prodeus AN Vuntesmery Y., Imad Issa Dzhamyl Yreyfydzh , Kiselev EN - K.: NTU " KPI " , 2011 - 73s .

Иванько Д.О., аспирант
Находов В.Ф., канд. техн. наук, доцент,
Бориченко Е.В., канд. техн. наук, доцент,
Егорова И.А., студент

**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
 КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СОСТАВА ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА
 ВЕЛИЧИНУ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИ ВНЕДРЕНИИ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО
 КОНТРОЛЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ**

Данная статья посвящена вопросам совершенствования подходов определения факторов , которые существенно влияют на величину расхода энергии при осуществлении соответствующих технологических процессов. В частности, проанализирована необходимость определения факторов, от которых зависит величина потребления топлива и энергии на любом производственном объекте. Рассмотрены методы математического моделирования, которые могут быть применены для установления «Стандарта» энергопотребления в системах оперативного контроля энергоэффективности. Выполнено сравнение приведенных методов определения факторов, влияющих на величину расхода энергии при осуществлении соответствующих технологических процессов.

Ключевые слова: «стандарт» энергопотребления, математическая модель, системы оперативного контроля энергоэффективности.