

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ГЛИБИНИ ПРОВЕДЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ

Вступ. Енергетичний аудит – це незалежний документовано оформлений процес обстеження, оцінювання потенціалу енергозбереження та рівня ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) об'єктом, а також розробка рекомендацій щодо впровадження енергозберігаючих заходів з виконанням технічних вимог, вимог до якості продукції, охорони праці та довкілля [2].

Під час проведення енергетичного аудиту дуже важливим є правильно визначити не тільки напрями роботи, а також визначити обсяг роботи, який визначається глибиною проведення енергетичного аудиту. Під час проведення енергетичного аудиту правильне вирішення цієї проблеми дозволяє спрямувати зусилля групи енергоаудиторів на вивчення саме того обсягу споживачів, які дають змогу покращити рівень якості проведення енергоаудиту без збільшення терміну його проведення. Тому важливо встановити, на яке енергоспоживаюче обладнання, підрозділи підприємства необхідно звернути увагу аудитора в першу чергу.

Постановка задачі дослідження. Основним завданням визначення глибини енергоаудиту є розроблення математичного забезпечення, що включає в себе алгоритм визначення окремих класів споживачів за енерго-економічними критеріями, які встановлюються особою, що приймає рішення.

Об'єктом дослідження є енерго-економічні показники та параметри споживання ПЕР промислового підприємства для встановлення глибини проведення енергетичного аудиту.

Матеріали дослідження. На цей час енергоаудитори визначають клас найбільш енергоємних споживачів, лише виходячи з власного досвіду, і у цьому процесі не застосовуються математичні методи, що могли б спростити процедуру вибору класів споживачів.

Для визначення класів споживачів, схожих за встановленим критерієм під час вирішення задачі визначення глибини проведення енергетичного аудиту, найбільше підходять методи теорії розпізнавання образів та класифікації [4,7,11]. Використання статистичних методів аналізу базується на припущенні про однорідність сукупності споживачів ПЕР, що досліджуються. Але реальна статистична сукупність практично завжди внутрішньо диференційована, що відповідає гіпотезі компактності класів [7]. Ця гіпотеза дає змогу вирішити задачу розподілу сукупності споживачів ПЕР, що досліджуються, на однорідні групи (класи, кластери, таксони) за визначеними критеріями.

Класифікація – розподіл елементів даної множини на підмножини більш схожих між собою об'єктів [7]. Для визначення глибини енергетичного аудиту проведемо класифікацію споживачів електричної енергії з використанням методу гіперсфер, впорядкувавши їх у варіаційний ряд.

Представимо споживачів ПЕР як множину X елементи якої задані числовими ознаками p :

$$x_j = x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jp}, \quad p \geq 1, \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

(1)

Класом споживачів ПЕР будемо вважати підмножину ω_i схожих між собою споживачів. За міру подібності (близькості) двох споживачів ПЕР використаємо величину евклідової відстані між ними d :

$$d = \sqrt{\sum_{m=1}^p (x_{im} - x_{jm})^2}, \quad i, j \in \{1, 2, \dots, n\}.$$

Евклідова відстань є найпоширеною мірою близькості, що використовується в задачах класифікації об'єктів [7,9].

Впорядкувавши всі елементи d множини за зростанням, побудуємо варіаційний ряд:

$$d_{(1)} < d_{(2)} < \dots < d_{(s)}, \quad s = \frac{n(n-1)}{2}.$$

(3)

При існуванні класів споживачів відстані $d_{(s)}$ між однорідними парами споживачів ПЕР будуть концентруватися в лівій частині ВР (3), а відстані між неоднорідними споживачами ПЕР – в правій. Для дослідження ВР споживачів ПЕР побудуємо допоміжну числову послідовність наступного вигляду:

$$\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_{s-1}, \quad s = \frac{n(n-1)}{2}, \quad \delta_i = \frac{d_{(i+1)}}{d_{(i)}}, \quad i = 1, 2, \dots, (s-1).$$

Зазначимо, що на підприємстві можуть бути декілька видів споживачів ПЕР з однаковим рівнем критеріїв класифікування. Це може призвести до виникнення невизначеності під час аналізування допоміжної числової послідовності, оскільки відстані між ними $d_{ij} = 0$. Щоб уникнути цього, необхідно незначно (на 0,1%) змінити рівень енергоємності цих споживачів по відношенню один до одного.

Для подальшого з'ясування структури споживачів ПЕР будемо досліджувати поведінку двох допоміжних варіаційних рядів (ДВР), що одержуються шляхом просіювання елементів допоміжної числової послідовності (4).

Алгоритм формування ДВР має наступний вигляд.

1. Знайдемо евклідові відстані від першого споживача ПЕР x_1 до решти усіх.
2. В числовій послідовності $d_{12}, d_{13}, \dots, d_{1n}$ знаходимо мінімальні та максимальні елементи d_{\min}^1 та d_{\max}^1 .
3. Повторюємо цю операцію для кожного споживача ПЕР x_i і з отриманих результатів формуємо дві множини відстаней $\tilde{D}_{\min} = \{d_{\min}^1, d_{\min}^2, \dots, d_{\min}^n\}$ та $\tilde{D}_{\max} = \{d_{\max}^1, d_{\max}^2, \dots, d_{\max}^n\}$.

Більшість елементів множини \tilde{D}_{\min} відповідають однорідним парам споживачів ПЕР, за наявності класів елементи множини \tilde{D}_{\max} можуть відповідати як однорідним, так і неоднорідним парам споживачів ПЕР.

Отримані множини \tilde{D}_{\min} та \tilde{D}_{\max} містять хоча б дві рівних відстані, що відповідають одній і тій же парі споживачів ПЕР x_i, x_j та x_j, x_i . Виключивши по одній з таких відстаней з множин \tilde{D}_{\min} , \tilde{D}_{\max} та розташували ті що залишилися в порядку зростання, отримаємо нові множини – варіаційні ряди відстаней:

$$\tilde{D}_{\min} = \{d_{\min}^{(1)}, d_{\min}^{(2)}, \dots, d_{\min}^{(u)}\}, \quad \tilde{D}_{\max} = \{d_{\max}^{(1)}, d_{\max}^{(2)}, \dots, d_{\max}^{(l)}\}, \quad (5)$$

елементи яких відповідають різним парам споживачів ПЕР.

За поведінкою варіаційних рядів \tilde{D}_{\min} та \tilde{D}_{\max} можна визначити структуру групи споживачів ПЕР на підприємстві. Якщо ВР \tilde{D}_{\min} не має стрибків, то споживачі ПЕР підприємства однорідні за обраним критерієм визначення глибини енергетичного аудиту або їх можна поділити на близько розташовані класи з постійною щільністю. Якщо цей ряд містить хоча б один локальний мінімум, то споживачів ПЕР підприємства можна поділити на класи з різною щільністю. Серед них можуть бути такі, які містять по одному елементу – окремі споживачі, що сильно відрізняються від інших за рівнем енергоємності, число яких можна визначити.

Якщо ВР \tilde{D}_{\max} не має стрибків, то споживачі ПЕР підприємства однорідні за обраним критерієм або складаються з близько розташованих класів. Якщо ж цей ряд має хоча б один значний локальний мінімум, то споживачів ПЕР підприємства можна поділити на k класів, в яких максимальні відстані неоднорідних пар мають різний порядок.

Сформуємо нові множини елементів, які будуть використані під час проведення класифікації споживачів методом гіперсфер. Виключивши з множини \tilde{D}_{\min} всі елементи, для яких має місце співвідношення $d_{\min}^{(i)} = 0(d_{\max}^{(i)})$ та доповнивши ними множину \tilde{D}_{\max} , отримаємо нові множини – варіаційні ряди:

$$\tilde{D}_{\min} = \{d_{\min}^{(1)}, d_{\min}^{(2)}, \dots, d_{\min}^{(u)}\} \quad u \leq n - 1 - k', \quad (6)$$

$$\tilde{D}_{\max} = \{d_{\max}^{(1)}, d_{\max}^{(2)}, \dots, d_{\max}^{(l)}\} \quad l \leq n - 1 + k'. \quad (7)$$

Тоді можна вважати, що майже всі елементи множини породжуються однорідними парами споживачів ПЕР. Підмножина пар споживачів ПЕР, кожна з яких породжує елемент ВР, позначимо через L_{\min} :

$$L_{\min} = \{(x_i, x_j) \in X \times X : d(x_i, x_j) \in R'_{\min}\}.$$

Стан споживачів ПЕР в гіперпространстві задається точкою, місце якої визначається величиною показників або параметрів критеріїв, що визначають глибину проведення енергетичного аудиту.

Метод гіперсфер має такий алгоритм. Спочатку знаходять точки ущільнення загальної групи споживачів ПЕР, що прийняті спочатку за центри класів, одночасно проводиться попередній поділ на класи. Точки ущільнення знаходяться методом гіперсфер, що рухаються по площині. Рух гіперсфер починається з різних, так званих опорних точок та закінчується у точках ущільнення. Споживачі ПЕР, що включаються під час руху однією гіперсферою вважаємо споживачами одного класу. Якщо декілька гіперсфер зупиняються в одній точці, то всі споживачі ПЕР, що включаються ними під час руху, об'єднуються в один клас. Таким чином, отримаємо стільки класів, скільки точок ущільнення виявлено гіперсферами. Отримана кількість класів залежить від величини радіуса гіперсфер. Визначення оптимального значення цього радіуса d_{opt} впливає з даних аналізу ВР (4). Питання визначення d_{opt} розглянуто в роботах [6,8,9].

Для визначення d_{opt} спочатку знайдемо середнє значення \bar{d} ВР (4)

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^s r_{(i)}}{s}$$

та виділимо підмножину його елементів D_1 , що менше за \bar{d} :

$$D_1 = \{d_{(i)} \in D : d_{(i)} < \bar{d}\}.$$

Нехай s_1 - кількість елементів множини D_1 , обчислимо середнє значення для елементів d_1 :

$$\bar{d} = \frac{\sum_{r(i) \in D_1} r(i)}{s_1}.$$

Тоді значення радіусу гіперсфери має вигляд:

$$d_{\text{opt}} = \max(\bar{d}_1, d_{\min}^{(u)}) + d_{\min}^{(l)}, \quad (6)$$

де $d_{\min}^{(u)}$, $d_{\min}^{(l)}$ останній та перший члени ВР.

Потім проводиться уточнення попередньої класифікації з огляду можливості виникнення класів з непорожнім перетином.

Даним методом було класифіковано компресори одного з металургійних підприємств м. Запоріжжя. Застосування методу дозволило виявити з усієї сукупності компресорів підприємства (25 одиниць) групу найпотужніших компресорів (9 одиниць), енергетичне обстеження яких дозволило запропонувати найбільш ефективні енергозберігаючі заходи порівняно з рештою компресорів.

Висновки. В результаті проведення досліджень розроблено методика класифікації споживачів ПЕР, що базується на використанні методу гіперсфер і яка дозволяє:

- визначити глибину проведення енергетичного аудиту;
- надати математичний апарат, що дозволяє зекономити час виконання робіт та підвищити рівень енергетичного аудиту.

Література.

1. Енергобереження – Пріоритетні напрямки державної політики України / Ковалко М.П., Денисюк С.П.; Відпов. Ред. Шидловський А.К. – К.: УЕЗ, 1998. – 506 с.
2. Д.Д. Огородников. Энергоаудит и аудит – наведение мостов // Энергоэффективность: опыт, проблемы, решения. Вып. 4. 2005 г. Н.Новгород.
3. Энергетичний аудит: Навчальний посібник / О.І. Соловей, В.П. Розен, та інші. – Черкаси: ЧДТУ, 2005. – 229 с.
4. Дж. Ту, Р. Гонсалес Принципы распознавания образов. –М.: Мир, 1978. – 411 с.
5. Елисеєва И.И., Рукавишников В.О. Группировка, корреляция, распознавание образов (Статистические методы классификации и измерения связей). – М.: Статистика, 1977. – 143 с.
6. Загоруйко Н.Г., Елкина В.Н., Лбов Г.С. Алгоритм обнаружения эмпирических закономерностей. – Новосибирск: Наука, 1985. – 350 с.
7. Васильев В.И. Распознающие системы. – К.: Наук. Думка, 1981. – 292 с.
8. Апрушева Н.Н. Три алгоритма естественной кластеризации объектов. – М.: Вычислительный центр АН СССР, 1986. – 21 с.
9. Праховник А.В., Розен В.П., Дегтярев В.В. Энергосберегающие режимы горнодобывающих предприятий. – М.: Недра, 1985. – 232 с.
10. Розен В.П., Ішук П.П. Районування адміністративних одиниць Волинської області відповідно до стану їх енергобезпеки // Промелектро. – 2005. №4. – С. 40-45.
11. М.А. Айзерман, Є.М. Браверман, Л.И. Розеноэр. Метод потенциальных функций в теории обучения. – М.: Наука, 1970. – 560 с.
12. Розен В.П., А.М. Танский Прогнозирование показателей и классификация состояния энергетической безопасности региона // Энергетика: економіка, технології, екологія. – 2005. - №2. – с. 101-109.