

УДК 620.91

DOI 10.20535/2079-5688.2017.34.99845

В.П. Розен, проф., **І.В. Яковчук**, магістр, **І.М. Шарий**, магістр (КПІ ім. Ігоря Сікорського)

ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРАВИЛА РАНЖУВАННЯ КОНДОРСЕ ЗА ПОКАЗНИКАМИ ВПЛИВУ НА РІВЕНЬ ЇХ ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ

V.P. Rozen, I.V. Yakovchuk, I.M. Sharyi (National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”)

EVALUATION OF ENERGY EFFICIENCY IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS USING THE RULE OF CONDORCET FOR INDICES RANGING IMPACT ON THE LEVEL OF ENERGY USE

У роботі розглянуто механізм виявлення кращих зразків енергоефективності, який спирається на метод ранжування і забезпечує достовірність управлінських дій спрямованих на підвищення рівня енергоефективності системи енергоспоживання в навчальних корпусах. Задачу підвищення енергоефективності запропоновано розглядати з позицій енергетичного бенчмаркінгу, який об'єднує задачі моніторингу, знаходження кращих і гірших аспектів системи, планування дій до підвищення ефективності енергозбереження та можливості їх застосування.

Ключові слова: бенчмаркінг; енергоефективність; ранжування; моніторинг; класифікація.

В работе рассмотрен механизм выявления лучших энергоэффективных объектов, который опирается на метод ранжирования и обеспечивает достоверность управленческих действий, направленных на повышение уровня энергоэффективности системы энергопотребления в учебных корпусах. Задачу повышения энергоэффективности предложено рассматривать с позиций энергетического бенчмаркинга, который объединяет задачи мониторинга, нахождения лучших и худших аспектов системы, планирование действий к повышению эффективности энергосбережения и возможности их применения.

Ключевые слова: бенчмаркинг; энергоэффективность; ранжирование; мониторинг; классификация.

This article examines a mechanism for identifying best examples of energy efficiency, based on ranking methods and ensures the reliability of management actions aimed at increasing energy efficiency of the power consumption system in educational buildings. The problem of energy efficiency offered to consider from the position of energy benchmarking that combines monitoring tasks, finding the best and worst aspects of planning actions to improve the efficiency of energy conservation and the possibility of their use.

Keywords: benchmarking; energy efficiency; ranking; monitoring; classification.

Вступ. Однією з актуальних проблем для України є підвищення рівня енергоефективності шляхом застосування нових підходів та методів для її оцінки і, як наслідок, зниження енерговитрат в промисловості та житлово -

комунальному господарстві [1]. В даний час, для оцінки реального стану енергозбереження на об'єктах існує цілий ряд різних за характером методів, механізмів і практичних заходів. Одним з таких досить нових управлінських механізмів є використання методології бенчмаркінгу енергоефективності. Бенчмаркінг в рівній мірі включає два процеси: оцінювання і співставлення. Мета бенчмаркінгу полягає в тому, щоб на основі дослідження встановити потребу в змінах і досягнення успіху в результаті цих змін. Маючи в розпорядженні такий механізм, можна підвищити рівень адекватності планування споживання енергетичних ресурсів і обґрунтувати вибір об'єктів, по впровадженню заходів з енергозбереження. Для оцінки рівня ефективності використання енергетичних ресурсів за еталон, як правило, приймають "кращу" продукцію або технологічний процес, на які витрачається менше сировини і енергії, споживаної на аналогічних підприємствах в інших галузях. Тому, бенчмаркінг енергоефективності можна розглядати як один із напрямів стратегічно орієнтованих досліджень в галузі енергоефективності.

Аналіз стану питання. Україна належить до енергодефіцитних країн, яка задовольняє свої паливно - енергетичні потреби за рахунок власних ресурсів менш ніж на 50% [2]. Енергоємність валового внутрішнього продукту в Україні нині більш ніж удвічі вища енергоємності такого продукту промислово розвинених країн і продовжує зростати. Тому стратегічною лінією державної політики розвитку економіки та соціальної сфери стає підвищення енергозбереження, що дає високу економічну ефективність.

Серед принципів забезпечення енергоефективності поряд із впровадженням порівняльного аналізу (або бенчмаркінгу) відзначимо такі: виявлення ключових аспектів забезпечення енергоефективності та можливостей енергозбереження; послідовне вдосконалення енергоефективності (поетапне досягнення кращих показників); розробка та впровадження методів вдосконалення енергоефективності [3].

Ця політика реалізується шляхом розроблення нових енергозберігаючих, маловідходних та безвідходних технологій, ефективних систем та засобів контролю за енергоспоживанням та захисту довкілля від забруднення, організації інтегрованого енергетичного та економічного менеджменту.

Мета роботи. Метою роботи є підвищення рівня якості оцінювання енергоефективності навчальних корпусів за рахунок виявлення кращих стратегій управління і моніторингу енергоефективністю.

Результати досліджень. Однією з основних складових підвищення рівня оцінювання енергоефективності в навчальних корпусах є здійснення дій щодо використання та впровадження адекватного оцінювання рівня їх енерговикористання та стану енергозбереження [4, 5]. Для цього потрібно застосовувати такий механізм оцінювання який би дозволив здійснювати оцінювання та аналіз різнопараметричних показників які мають неоднаковий вплив на ефективність енерговикористання.

Однак, під час рішення практичних задач оцінювання рівня ефективності енерговикористання часто виникає ситуація, коли показники по яким проводиться оцінювання не піддаються безпосередньому вимірюванню (мають

різну "фізичну природу"). В цьому випадку вирішення поставленої задачі потребує використання таких процедур які б дозволили здійснити таке оцінювання.

До процедур що дозволяють вирішити задачу узагальнення різнорідних показників що мають вплив на рівень енергоефективності, можна віднести ранжування за рівнем якості енерговикористання [6]. Де ранжування - це упорядкування властивостей будь - яких якісних об'єктів, навчальних корпусів, під час якого їм надають певні числові форми.

Актуальним в цьому напрямку є визначення універсальних правил проведення оціночних заходів, які охоплюють усі ключові напрямки відслідковування рівня ефективності енерговикористання за допомогою ранжування будівель. Результатом ранжування є деяка кількість рейтингів, за допомогою яких і проводиться оцінка рівня ефективності енерговикористання.

Розглянемо правило Кондорсе. Застосування методу Кондорсе до рейтингу енергоефективності навчальних корпусів можна сформулювати наступним чином: корпус з найкращою енергоефективністю є той, який краще будь - якого іншого за правилом більшості рейтингових показників: $Kop_{ik} > Kop_{jk}$ більше ніж ті показники k , що більші ніж $Kop_{ik} < Kop_{jk}$; потім визначаються найкращі з тих що залишилися і так далі.

Алгоритм правила Кондорсе, згідно якого проводився розрахунок включає в себе наступну послідовність дій.

На першому кроці формуємо матрицю спостережень. Початкова безліч складається з m об'єктів, описаних n критеріями; кожен її критерій можна інтерпретувати як точку n -мірного простору з координатами, рівними значенням n критеріїв для даного об'єкту. Матриця спостережень X має такий вигляд:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ik} & \dots & x_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mk} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix}$$

Далі, на другому кроці, для значень, які включені в матрицю спостережень, виконуємо нормування показників за вхідними даними.

$$a_{ij}^H = a_{ij} / \sum_{j=1}^n a_{ij}, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}.$$

Пронормовані значення показників X енергоефективності в навчальних корпусах наведені в таблиці 1.

В якості критеріїв для ранжирування використовуємо такі показники:

$x_{1,1}$ – споживання електричної енергії навчальним корпусом протягом одного місяця;

$x_{1.2}$ – споживання теплової енергії навчальним корпусом протягом одного місяця;

$x_{1.3}$ – споживання води навчальним корпусом протягом одного місяця;

$x_{1.4}$ – об'єм навчального корпусу;

$x_{1.5}$ – теплові втрати навчального корпусу;

$x_{1.6}$ – середня кількість людей, що знаходяться в корпусі.

Таблиця 1

Проноровані значення показників X

Номер корпусу	$x_{1.1}$	$x_{1.2}$	$x_{1.3}$	$x_{1.4}$	$x_{1.5}$	$x_{1.6}$
Корпус 1	0,128679	0,102413	0,081808	0,112885	0,037082	0,11314
Корпус 2	0,023023	0,03315	0,020309	0,015108	0,030031	0,006851
Корпус 4	0,048526	0,066167	0,032436	0,047348	0,035756	0,056347
Корпус 5	0,038459	0,04478	0,017366	0,03703	0,055783	0,054463
Корпус 6	0,061917	0,015103	0,035881	0,018146	0,005022	0,007947
Корпус 7	0,086426	0,125357	0,003158	0,149726	0,167289	0,100911
...
Корпус 30	0,018596	0,016091	0,005167	0,014303	0,005946	0,018497
Корпус 35	0,013732	0,005076	0,010621	0,003498	0,001948	0,00757

Третій крок. Визначимо пари, які забезпечують відношення (Kop_i, Kop_k) та будуємо таблицю, яка показує, скільки раз в рядках Kop_i переважає Kop_k .

По правилу Кондорсе переваги між корпусами визначається наступним чином:

Спочатку всі корпуси попарно порівнюються один з одним за всіма показниками і визначається їх кількість, що забезпечує перевагу Kop_i , над Kop_k . Цю кількість позначають $C(Kop_i, Kop_k)$.

Потім визначаємо кількість значень $C(Kop_i, Kop_k)$, які відповідають умові $C(Kop_i, Kop_k) \geq [n/2] + 1$. Для кожної пари $C(Kop_i, Kop_k)$ ця кількість показує ступінь переваги Kop_i над Kop_k .

З цієї пари Kop_i , залишаємо, а Kop_k виключаємо. Усі інші корпуси, що залишилися, знову порівнюємо і цю дію повторюємо до тих пір, доки не залишиться корпус, який буде підлягати виключенню.

Аналізуючи таблицю 2 можна встановити, що корпус 1 переважає корпус 2 за шістьма критеріями, корпус 4 за шістьма критеріями, корпус 5 за п'ятьма,

корпус 6 також за шістьма критеріями і т.д.

На четвертому кроці вибираємо коефіцієнти, що задовольняють умову $C(Kop_i, Kop_k) \geq [n/2] + 1$, визначаємо домінанти (в нашому випадку залишаються коефіцієнти які ≥ 4), кількісні показники ранжування за правилом Кондорсе і будуємо графік за результатами значень ранжирування навчальних корпусів (див. рис.1).

Таблиця 2

Парні порівняння кількості переваг корпусів

$Kop_i \setminus Kop_k$	Корпус 1	Корпус 2	Корпус 4	Корпус 5	Корпус 6	Корпус 7	⋮	Корпус 30	Корпус 35	Кільк. пок.	Ранг
Корпус 1	X	6	6	5	6	3	⋮	6	6	28	1
Корпус 2	0	X	0	1	2	1	⋮	5	5	12	17
Корпус 4	0	6	X	5	4	1	⋮	6	6	23	5
Корпус 5	1	5	1	X	4	1	⋮	6	6	20	9
Корпус 6	0	4	2	2	X	1	⋮	3	6	11	18
Корпус 7	3	5	5	5	5	X	⋮	5	5	27	2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Корпус 30	0	1	0	0	3	1	⋮	X	5	9	20
Корпус 35	0	1	0	0	0	1	⋮	1	X	2	27

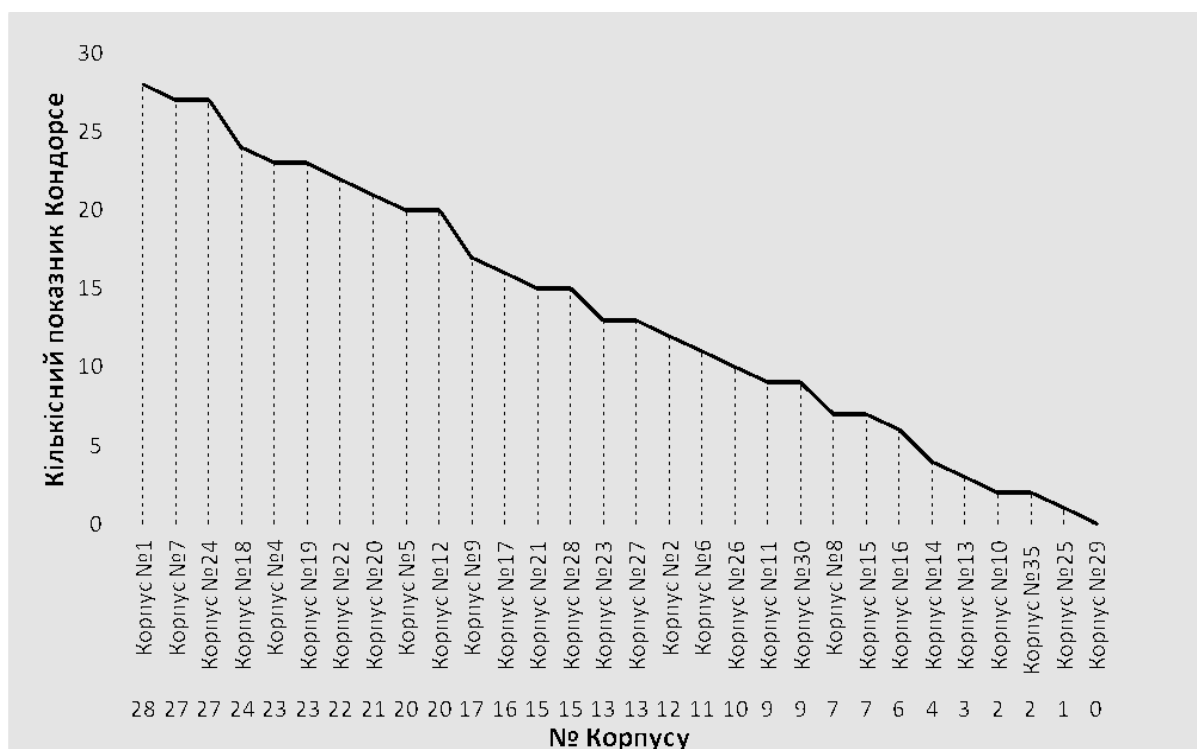


Рис. 1. Результати ранжування за правилом Кондорсе

Результати проведених ранжувань, використовуючи метод Кондорсе, дає

нам змогу визначити рейтинг енергоефективності навчальних корпусів та відокремити певну кількість будівель в яких рівень енерговикористання найгірший. Використовуючи отримані результати можна запроваджувати організаційні та управлінські заходи щодо покращення стану енерговикористання у проблемних корпусах.

Висновки

1. Рейтинг є інструментом, використання якого, дозволяє отримувати інформацію щодо якості оцінюваної системи енерговикористання, стимулювати для здійснення дій з поліпшення стану справ у сфері енергоефективності, здійснювати взаємодію між різними суб'єктами відносин і контролювати процес досягнення задачі енергетичного бенчмаркінгу - підвищення рівня ефективності енерговикористання.

2. Бенчмаркінг є невід'ємною частиною планування, аналізу та оцінки процесу, тобто моніторингу, а також інструментом управління для безперервного поліпшення. Включення процедур бенчмаркінгу в систему енергетичного менеджменту сприяє виявленню шляхів підвищення рівня енергоефективності з урахуванням досягнень кращих об'єктів. Систематичне визначення різниці в енергоспоживанні та розривів з кращою практикою, визначення та реалізація заходів щодо підвищення рівня енергоефективності, моніторинг результатів впровадження і переоцінка результатів бенчмаркінгу є частиною циклу постійного удосконалення виробничої системи, що сприяє покращенню енергетичного функціонування та підвищення рівня її енергоефективності.

3. Запропонована модель оцінювання енергоефективності навчальних корпусів передбачає створення та підтримку відповідно пристосованих систем збору та моніторингу інформації по споживанню енергії, методів оцінювання ефективності енергоспоживання з їх супроводом та налаштуванням до умов практичної реалізації, використання поглиблених схем енергоаудиту на базі інтегрованих енергетичних моделей об'єктів та розвитку детальних інструментальних та розрахункових досліджень енергетичного стану елементів будівель.

Посилання

- [1] Л.В. Давиденко, *Механізм бенчмаркінгу енергоефективності об'єктів складних виробничих систем та принципи його реалізації*. Київ, Україна: Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит, 2015.
- [2] В.П. Розен, та Б.Л. Тишевич, *Методологія бенчмаркінгу енергоефективності для промисловості України*. Київ, Україна: Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит, 2012.
- [3] А.В. Бобряков, *Разработка и реализация научно - технических и управленческих методов повышения энергоэффективности отраслевого*

энергопотребления бюджетной сферы. Москва, Россия: «Пром.теплоэнергетика», 2007.

- [4] В.Ф. Ткаченко, *Моніторинг споживання електроенергії інфраструктурою вищого навчального закладу (на прикладі Черкаського державного технологічного університету)*. Київ, Україна: НАН України, Інститут техн. теплофізики, 2014.
- [5] ISO 50001:2011. *Energy management systems - Requirements with guidance for use – CEN/CENELEC*. European Committee for Standardization, 2011.
- [6] В.П. Розен, А.И. Соловей, та А.В. Чернявский, *Разработка концепции внедрения системы энергетического менеджмента на промышленных предприятиях Украины*. Киев, Украина: Праці ІЕД НАНУ, № 1(10), 2005.

Стаття надійшла до редакції 21.04.2017р.