

УДК 621:658.26

В. П. РОЗЕН, канд. техн. наук, професор, завідувач кафедру
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ

В. Ф. ТКАЧЕНКО, начальник експлуатаційно-технічного відділу

С. М. МИЛЬНИЧЕНКО, старший викладач

Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси

КЛАСТЕРИЗАЦІЯ ОБ'ЄКТІВ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ ЗА ВПЛИВОМ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРИЗНАЧЕНЬ

Проведен анализ публикаций на предмет применения кластерного анализа для решения вопросов энергоэффективности. При помощи кластерного анализа проведена кластеризация зданий Черкасского государственного технологического университета. Определены системообразующие факторы для кластеров. Определены доверительные интервалы величины электропотребления с вероятностью 95 % для зданий внутри кластеров. Определены объекты, для которых целесообразно проводить первоочередной энергоаудит.

Проведено аналіз публікацій на предмет застосування кластерного аналізу для вирішення питань енергоефективності. За допомогою кластерного аналізу проведено кластеризацію будівель Черкаського державного технологічного університету. Визначено системоутворюючі фактори для кластерів. Визначено довірчі інтервали величини електроспоживання з імовірністю 95 % для будівель усередині кластерів. Визначено об'єкти, для яких доцільно проводити першочерговий енергоаудит.

Постановка проблеми

Останнім часом все більше уваги приділяється проблемам управління процесами енергозбереження та енергоефективності у системі вищої освіти України. Відомо, що до складу вищих навчальних закладів входить велика кількість будівель різного технологічного призначення – це навчальні та лабораторні корпуси, гуртожитки, їдальні, бібліотеки і т. д. В [1] зазначені дані з енергоспоживання будівлями навчальних закладів та установ освіти, що підпорядковані міністерству і фінансування яких здійснюється з державного бюджету.

З табл. 1 видно, як стрімко збільшується споживання паливно-енергетичних ресурсів і фінансових витрат закладами освіти на енергетичне забезпечення.

Таблиця 1

Рівень затрат бюджетних коштів за спожиті енергоресурси та воду в 2006–2008 роках (млн грн)

КЕКВ	Найменування оплат	2006		2007		2008	
		бюджет (загальний фонд)	фактичні видатки	бюджет (загальний фонд)	фактичні видатки	бюджет (загальний фонд)	фактичні видатки
1161	теплопостачання	159,8	259,1	244,4	323,5	296,9	389,8
1162	водопостачання та водовідведення	44,5	79,0	57,1	78,0	63,8	91,1
1163	електроенергія	109,6	203,1	142,2	185,9	181,9	241,5
1164	природний газ	26,5	45,0	53,8	72,2	80,5	104,7
1166	інші енергоносії	19,2	17,6	19,6	17,4	24,5	21,5
	Всього:	359,6	603,8	517,1	677,0	647,7	848,6

Такий стан справ в умовах сучасної конкуренції не залишає нічого іншого, як розвивати політику енергозбереження у кожному ВНЗ окремо і по галузі в цілому. Тому питання управління енергозбереженням і впровадження служби енергоменеджменту в

закладах освіти на сьогодні є питанням пріоритетного розвитку системи освіти України.

А для більш ефективного управління енергозбереженням важливо знати, під впливом яких факторів будівлі ВНЗ можна об'єднати в однорідні за енергоспоживанням групи.

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми

Для об'єднання будівель ВНЗ в однорідні групи і визначення причин таких об'єднань використовують кластерний аналіз. Кластерний аналіз – це метод багатомірного статистичного дослідження, до якого належать збір даних, що містять інформацію про вибіркові об'єкти, та упорядкування їх в порівняно однорідні, схожі між собою групи. Сутністю кластерного аналізу є здійснення класифікації об'єктів дослідження за допомогою численних обчислювальних процедур. В результаті цього утворюються «кластери», або групи дуже схожих об'єктів. На відміну від інших методів, цей вид аналізу дає можливість класифікувати об'єкти не за однією ознакою, а за кількома одночасно. Для цього вводяться відповідні показники, що характеризують певну міру близькості за всіма класифікаційними факторами. Для вирішення задач, пов'язаних з ефективним споживанням паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), методи кластерного аналізу почали використовувати у 80-х роках минулого століття. У роботі [2] було класифіковано режими електроспоживання гірничовидобувних підприємств, у роботах [3, 4] було вирішено задачі класифікації районів за станом енергетичної безпеки. Класифікацію вугільних шахт за ефективністю використання електричної енергії показано у роботі [5].

Формулювання цілей та завдань статті. Метою статті є підвищення ефективності оцінювання рівня використання електричної енергії вищими навчальними закладами за рахунок аналізу впливу технологічних призначень будівель на питоме споживання електричної енергії; визначення однорідних за електроспоживанням об'єктів; визначення факторів, які лежать в основі формування того чи іншого кластеру; оцінювання енергоспоживання за рівнем відхилення від значення заданого довірчого інтервалу споживання.

Основний матеріал

Терміном «кластерний аналіз» прийнято позначати сукупність методів, підходів і процедур, розроблених для вирішення проблеми визначення однорідних класів у довільній проблемній області [6].

Кластерний аналіз даних дозволяє розділити існуючу сукупність будівель ВНЗ на групи однорідних об'єктів за ознаками, які формують процес енергоспоживання, що дає можливість приймати рішення для типових груп, а не в цілому по закладу, що суттєво полегшує подальшу роботу з цими групами особи, яка приймає рішення. При цьому вихідним припущенням для виділення таких груп, що отримали спеціальну назву кластерів, служить лише неформальне припущення про те, що об'єкти, які відносяться до одного кластеру, повинні мати більшу схожість між собою, ніж з об'єктами з інших кластерів.

Вихідною інформацією для кластеризації є показники множини факторів, які впливають на споживання енергії ВНЗ і з яких формується матриця спостережень, кожний рядок якої є значеннями ознак одного з об'єктів кластеризації. У метричному просторі «схожість» зазвичай визначають через відстань. Відстань може розраховуватися як між вихідними об'єктами-рядками матриці, так і від цих об'єктів до прототипів центрів кластерів. Часто координати прототипів заздалегідь невідомі, їх знаходять одночасно з розбиттям даних на кластери.

Алгоритми кластерного аналізу поряд з теорією розпізнавання образів, математичним апаратом нейронних мереж, а також факторним аналізом є методами багатовимірного статистичного аналізу. Завдання кластерного аналізу для розбиття сукупності будівель Черкаського державного технологічного університету за однорідними електричними і

технологічними ознаками полягає в наступному. Нехай множина позначає 14 будівель Черкаського державного технологічного університету. За результатами кореляційного регресійного аналізу та розрахунку визначаються головні фактори, які впливають на електроспоживання будівель ВНЗ, це – середньорозрахункова кількість людей, які можуть перебувати у приміщенні, та – загальна площа приміщень будівлі [7]. Система показників для -ї будівлі є вектором розмірності 2×1 . Таким чином, для сукупності 14 будівель закладу формується багатомірний масив даних представлений 14 точками в двомірному евклідовому просторі. Процедура кластеризації ознакового простору полягає в тому, щоб на підставі даних, що містяться в множині параметрів, розбити сукупність будівель, які належать установі, на кластерів так, щоб будівлі, що належать одному і тому ж кластеру, були схожими за досліджуваними факторами, у той час як будівлі, що належать різним кластерам, були різнорідними [8].

Для визначення однорідних кластерів серед будівель ЧДТУ, якщо кожна з них характеризується трьома факторами (табл. 2), треба провести оцінку подібності між об'єктами, яка значною мірою залежить від абсолютного значення ознаки фактора й від ступеня його варіації в сукупності. З табл. 2 видно, що значення факторів мають різну фізичну природу, і, щоб усунути негативний вплив на процедуру класифікації, на початковому етапі дослідження необхідно значення вхідних змінних стандартизувати за такою формулою [6]:

Таблиця 2

Головні фактори, що впливають на електроспоживання будівлі навчального закладу

	X_4	X_5	Y
Навчальний корпус № 1	1164	10592,3	268080
Навчальний корпус № 2	1014	8300,7	213060
Навчальний корпус № 3	535	2223,9	74720
Навчальний корпус № 4	1593	8287,6	130640
Навчальний корпус № 5	319	1176	22731
Навчальний корпус № 6	50	1051,35	32780
Навчальний корпус № 7	100	1979,2	30460
Навчальний корпус № 8	598	2705,2	56678
Навчальний корпус № 9	453	1363,8	15499
Навчальний корпус № 10	577	2920,3	49547
Гуртожиток № 1	305	3643,3	193556
Гуртожиток № 2	634	10540,9	612426
Гуртожиток № 3	292	3615,2	193610
Гуртожиток № 4	226	2097	110000

У табл. 3 занесемо стандартизовані Z , значення даних про досліджувані об'єкти з табл. 2. Замінімо x_{ij} новими значеннями z_{ij} , отриманими за формулою (1), і побудуємо матрицю стандартизованих значень головних факторів.

Матриця стандартизованих значень ознак дає можливість для використання одного з методів класифікації, які можна укрупнено поділити на методи ієрархічної і неієрархічної кластеризації.

З усіх методів класифікації найпоширенішими є ієрархічні агломеративні методи. Сутність цих методів полягає в тому, що на першому кроці кожний об'єкт енергоспоживання розглядається як окремий кластер. Процес об'єднання кластерів відбувається послідовно: на основі матриці відстаней або матриці подібності поєднуються найбільш близькі об'єкти. Якщо матриця подібності спочатку має розмірність $m \times m$, то повністю процес кластеризації завершується за $m-1$ кроків, у підсумку всі об'єкти енергоспоживання будуть об'єднані в один кластер. Послідовність об'єднання легко піддається геометричній інтерпретації й може бути представлена у вигляді графа-дерева (дендрограми).

Таблиця 3

Матриця стандартизованих значень факторів

Назва будівлі	Y	X_4	X_5
	Z_1	Z_2	Z_3
Навчальний корпус № 1	0,791908	1,392161	1,791613
Навчальний корпус № 2	0,443209	1,045606	1,136918
Навчальний корпус № 3	-0,43355	-0,06106	-0,59918
Навчальний корпус № 4	-0,07914	2,383309	1,133176
Навчальний корпус № 5	-0,76304	-0,5601	-0,89856
Навчальний корпус № 6	-0,69935	-1,18159	-0,93417
Навчальний корпус № 7	-0,71405	-1,06607	-0,66909
Навчальний корпус № 8	-0,54789	0,084493	-0,46168
Навчальний корпус № 9	-0,80887	-0,25051	-0,84491
Навчальний корпус № 10	-0,59308	0,035976	-0,40023
Гуртожиток № 1	0,319599	-0,59244	-0,19367
Гуртожиток № 2	2,974264	0,167667	1,776929
Гуртожиток № 3	0,319941	-0,62248	-0,2017
Гуртожиток № 4	-0,20995	-0,77496	-0,63544

На дендрограмі вказуються назви поєднуваних енергоспоживанням об’єктів і відстань (або інша міра подібності), при якій відбулося об’єднання.

Велика кількість методів ієрархічної класифікації різняться не тільки використовуваними заходами подібності (відмінності), але й алгоритмами класифікації. З них найпоширенішими є: метод одиночного зв’язку, метод повних зв’язків, метод середнього зв’язку, метод Уорда [6]. Якщо процес об’єднання в ієрархічній класифікації проводиться вручну, то оцінка подібності може бути дана або візуально за матрицею подібностей (відстаней) D , або на основі значень відстаней d_{us} , тобто за допомогою загальної рекурсивної формули, запропонованої у [6, 9]:

$$d_{us} = \alpha_p d_{ps} + \alpha_q d_{qs} + \beta d_{pq} + \gamma |d_{ps} - d_{qs}|, \quad (2)$$

де d_{ps}, d_{qs}, d_{pq} – відстані між відповідними кластерами;

$\alpha_p, \alpha_q, \beta, \gamma$ – параметри, що враховують особливості конкретного алгоритму кластеризації даних.

Використання різних алгоритмів об’єднання в ієрархічних агломеративних методах приводить до різних кластерних структур і значно впливає на якість проведення кластеризації. Тому алгоритм повинен вибиратися з урахуванням наявних відомостей про існуючу структуру сукупності спостережуваних об’єктів або з урахуванням вимог оптимізації математичних критеріїв.

Якщо алгоритм ієрархічного кластерного аналізу реалізується в програмі для ЕОМ, то оцінка подібності між кластерами дається тільки на підставі значень відстаней d_{us} .

За допомогою пакета статистичного аналізу STATISTICA 6.0, в якому реалізовані математичні методи аналізу даних, було здійснено групування об’єктів для 14 будівель університету за трьома параметрами, зазначеними у табл. 1. Кластеризацію проведемо методом ієрархій за правилом об’єднання – повного зв’язку і вибрано метод близькості – евклідова відстань.

В результаті проведеного аналізу, як теоретично передбачалося, було отримано шість кластерів на евклідовій відстані 0,787, як це показано на рис. 1. Подальше проведення об’єднання в групи буде недоцільним, тому що на наступному кроці буде насильницьке об’єднання кластерів.

Для візуалізації результатів кластерного аналізу побудуємо деревоподібну дендрограму рис. 1, з якої видно, що будівлі навчальних корпусів (К № 1, К № 2) на евклідовій відстані 0,740 об'єднуються у групу, будівлі навчальних корпусів (К № 3, К № 8, К № 10, К № 5, К № 9) на евклідовій відстані 0,787 об'єднуються у свою групу, будівлі навчальних корпусів (К № 6, К № 7) на евклідовій відстані 0,287 теж об'єдналися у свою групу, і будівлі гуртожитків (Г № 1, Г № 3) на евклідовій відстані 0,709 також формують свою групу. Тільки будівлі навчального корпусу № 4 та гуртожитку № 2 за своїми технологічними параметрами не мають схожості з жодною з раніше перелічених груп, тому ці будівлі утворили одиничні, самостійні класи. Ці об'єднання будівель Черкаського державного технологічного університету у кластери за технологічними параметрами занесемо у табл. 4.

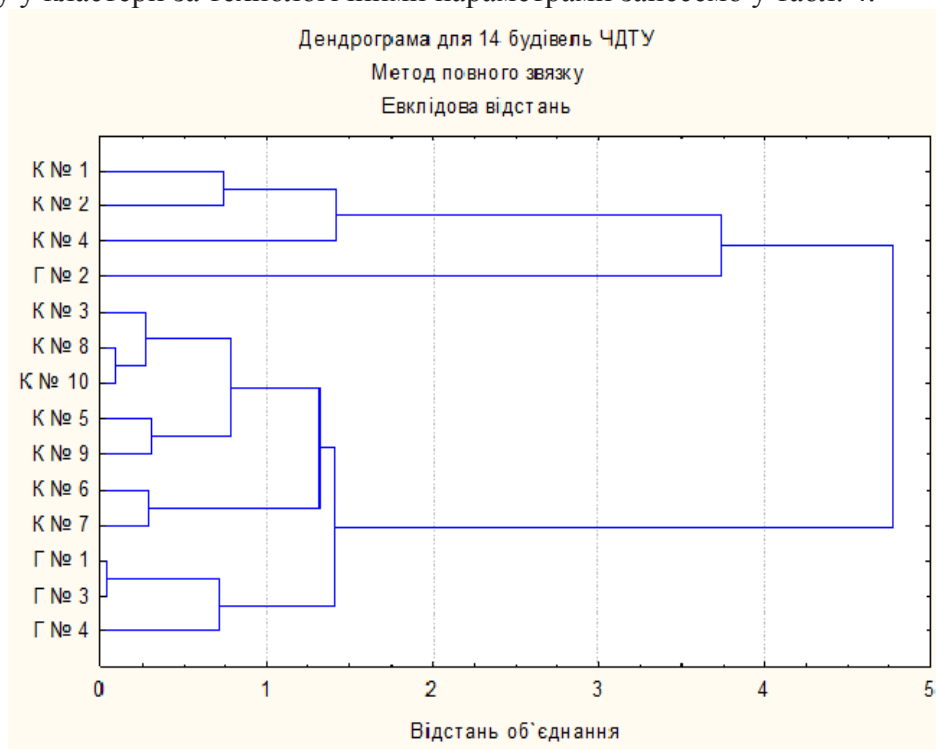


Рис. 1. Дендрограма об'єднання об'єктів у кластери за даними табл. 2

Аналіз сформованих кластерів досліджуваних будівель ВНЗ (табл. 4) показав, що було створено шість типових кластерів і про них отримано таку інформацію:

1. Кластер 1 – будівлі навчальних корпусів № 1 та № 2 проектувалися як навчально-лабораторні корпуси для технічного ВНЗ і були побудовані в 1983 році (навчальний корпус № 1) та в 1970 році (навчальний корпус № 2).

2. Кластер 2 – будівля навчального корпусу № 4 проектувалася як навчально-лабораторний корпус для механічного факультету і була побудована в 1991 році.

3. Кластер 3 – будівля гуртожитку № 2 проектувалася як студентський гуртожиток блочного типу, поліпшеного планування і була збудована в 1987 році.

4. Кластер 4 – будівлі навчальних корпусів № 3 та № 10 проектувалися як навчально-лабораторні корпуси і були побудовані, відповідно, у 1972 та 1975 роках. Будівлі навчальних корпусів № 5, № 8, № 9 проектувалися як дитячі садочки, причому, навчальні корпуси № 5 і № 9 будувалися за однотипним проектом, що зразу відобразилося на рис. 1. Збудовані навчальні корпуси: № 5 – у 1970 році, № 8 – у 1975 році, № 9 – у 1969 році. На сьогоднішній день всі зазначені будівлі переплановано під навчально-лабораторні корпуси.

5. Кластер 5 – будівлі навчальних корпусів № 6 та № 7 проектувалися як споруди для проведення спортивних заходів (спортзали) і були збудовані: навчальний корпус № 6 – у 1968 році, а навчальний корпус № 7 – у 1992 році.

6. Кластер 6 – будівлі гуртожитків № 1, № 3, № 4 проектувалися як студентські

гуртожитки коридорного типу і були збудовані: гуртожиток № 1 – у 1970 році, гуртожиток № 3 – у 1965 році, гуртожиток № 4 – у 1963 році.

Інформація про типові кластери дає можливість зробити висновок про те, що технологічне призначення будівель має основний вплив на формування кластерів, що підтверджується у науково-технічній літературі [8] та нормативній документації [10].

Як і передбачалося, за технологічним призначенням і геометричними параметрами Г № 2 та К № 4 створили самостійні кластери.

Таким чином, формалізована процедура виявлення як унікальних, так і масових будівель тим самим підтвердила коректність підходу [6, 8].

Таблиця 4
Результати кластеризації будівель ЧДТУ

Назва будівлі	Назва кластеру
Навчальний корпус № 1	1
Навчальний корпус № 2	1
Навчальний корпус № 3	4
Навчальний корпус № 4	2
Навчальний корпус № 5	4
Навчальний корпус № 6	5
Навчальний корпус № 7	5
Навчальний корпус № 8	4
Навчальний корпус № 9	4
Навчальний корпус № 10	4
Гуртожиток № 1	6
Гуртожиток № 2	3
Гуртожиток № 3	6
Гуртожиток № 4	6

Недоліком методу ієрархій, як і всіх способів кластеризації, є неможливість обробки неповного набору статистичних даних. До того ж, агломеративна кластеризація являє собою простий ітеративний процес мінімізації цільової функції відстані між будівлями і не пропонує у своїй моделі статистичного критерію значущості розбивання на визначену кількість кластерів.

Для проведення подальшого аналізу споживання електроенергії будівлями навчального закладу важливо знати, які фактори лежать в основі формування того чи іншого кластеру. Вирішення цієї задачі можливе при порівнянні середніх значень факторів усередині кластеру. На основі даних (табл. 3 і 4) проводимо розрахунок середніх значень факторів усередині кластерів, дані розрахунку заносимо до табл. 5.

Таблиця 5
Середні значення факторів усередині кластерів

№ кластеру	Y	X_4	X_5
Кластер 1	0,618	1,219	1,464
Кластер 2	0,079	2,383	1,133
Кластер 3	2,974	0,168	1,777
Кластер 4	0,629	0,150	0,641
Кластер 5	0,707	1,124	0,802
Кластер 6	0,143	0,663	0,344

З табл. 5 видно, що на формування кластерів 2, 5, 6 впливає фактор X_4 , тому що середнє значення цього пояснювального фактора усередині кластерів більше за середнє значення X_5 . Також видно, що під впливом фактора X_5 сформовані кластери 1, 3, 4. Наочно це зображено на рис. 2.

Отже встановлено, що системоутворюючим фактором для кластерів 2, 5, 6 є фактор $X_4 - KL$ – середньорозрахункова кількість людей, які можуть перебувати у приміщенні, а для кластерів 1, 3, 4 – $X_5 - S_{\text{буд}}$ – загальна площа приміщень будівлі.

Таким чином, на основі багатокритеріального статистичного аналізу можна зробити висновок, що споживання електричної енергії досліджуваними будівлями першого, третього та четвертого кластерів можна описати одним фактором $S_{\text{буд}}$ – загальна площа приміщень будівлі, а другого, п'ятого та шостого – фактором KL – середньорозрахункова кількість людей, які можуть перебувати у приміщенні. Отримані для названих кластерів залежності з іншою кількістю факторів будуть тільки ускладнювати інтерпретацію результатів, при цьому не покращать якість моделі. Також можна з великою ймовірністю стверджувати, що для кластерів 2, 5, 6, $Y = f(KL)$, питомі витрати електроенергії потрібно розраховувати як витрати електричної енергії на одну людину, що фактично перебуває у будівлі, (кВт·год/чол), а для кластерів 1, 3, 4, $Y = f(S_{\text{буд}})$, питомі витрати електроенергії потрібно розраховувати як витрати електричної енергії на 1 м² загальної площі будівлі, (кВт·год/м²).

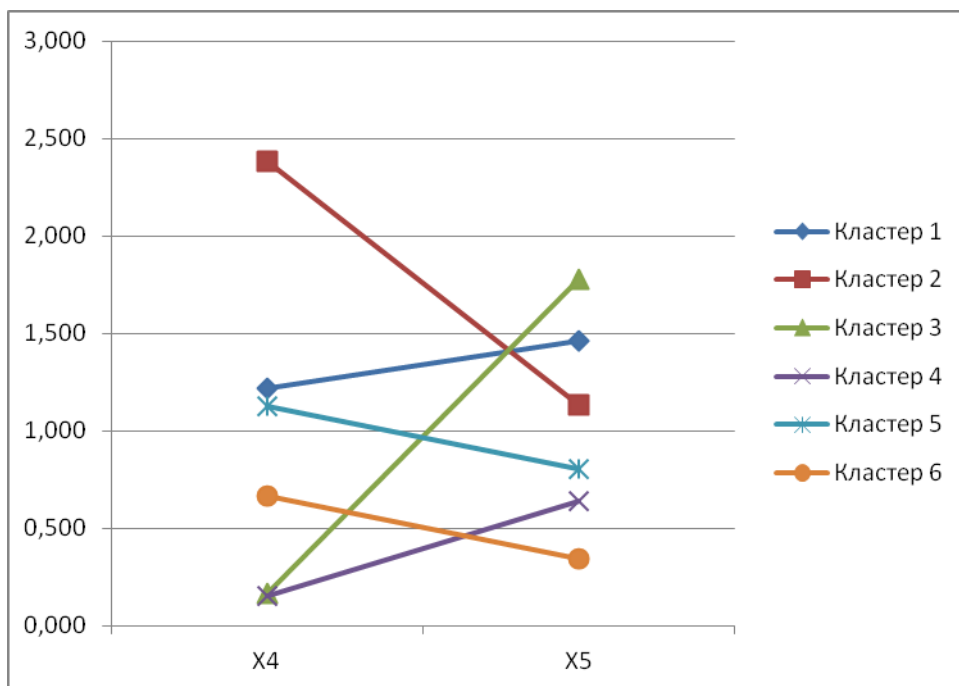


Рис. 2. Графік середніх значень факторів у кластерах

Розрахунок питомих витрат для відповідних кластерів занесемо до табл. 6.

Таблиця 6

Усереднені річні показники питомих витрат електроенергії для кластерів

№ кластеру	X_4	X_5	Y	кВт·год/люд	кВт·год/м ²
Кластер 1	2367	18893	481140	–	25,5
Кластер 2	1593	8287,6	130640	82,0	–
Кластер 3	655	10540,9	612426	–	58,1
Кластер 4	2480	10389,2	219175	–	21,1
Кластер 5	150	3030,55	49340	328,9	–
Кластер 6	823	9355,5	497166	604,1	–

Коли до виділеного кластеру входить більше трьох об'єктів електроспоживання, тоді виникає питання оцінювання ефективності електроспоживання цими об'єктами всередині кластеру. Таке завдання можна вирішити за допомогою розрахунку довірчого інтервалу параметра Y , який на заданому рівні показує істинне значення регресії [11].

Енергетична характеристика споживання електроенергії для кластеру 4 після визначення невідомих параметрів регресійної моделі на основі системоутворюючого фактора X_5 – загальна площа приміщень будівлі – за статистикою 2007 року має такий вигляд:

$$Y = -4248,98 + 23,14 \cdot X_5, \tag{3}$$

а для кластеру 6 на основі системоутворюючого фактора X_4 – середньорозрахункова кількість людей, які можуть перебувати у приміщенні, – за статистикою 2007 року має вигляд:

$$Y = -2829,54 + 26,63 \cdot X_4. \tag{4}$$

По своїй суті, рішенням рівнянь (3) і (4) є усереднені значення, розраховані на основі емпіричних, за показниками електроспоживання і загальної площі приміщень будівлі або середньорозрахункової кількості людей, які можуть перебувати у приміщенні. Розраховані таким чином значення схильні до розсіювання навколо істинного значення середнього досліджуваного параметра енергоспоживання. Таке розсіювання може бути оцінено за допомогою розрахунку довірчого інтервалу параметра Y , який на заданому рівні показує істинне значення регресії. Інтервальна оцінка істинних значень $Y_{\text{рег}}$ розраховується при фіксованих значеннях пояснювальних змінних X_5 або X_4 кожної будівлі кластеру. Межі довірчого інтервалу мають вигляд:

$$W_{t \text{ рег}} \pm t_{f, \alpha} S_{W_{t \text{ рег}}} \cdot \alpha, \tag{5}$$

де $S_{W_{t \text{ рег}}}$ – оцінка дисперсії значень регресії,

$$S_{W_{t \text{ рег}}} = D_2^2 \sqrt{\left(\frac{1}{N} + \frac{(X_{5t} + \bar{X}_5)^2}{\sum_{t=1}^N (X_{5t} + \bar{X}_5)^2} \right)},$$

D_2^2 – стандартна оцінка помилки регресії;

$t_{f, \alpha}$ – квантиль t -розподілу при заданому рівні значущості α і кількості ступенів свободи $f = N - m = 1$.

Із заданою імовірністю можна стверджувати що істинне значення електроспоживання кожною будівлею досліджуваного кластеру навчального закладу при фіксованому значенні пояснювального фактора буде знаходитись у заданому інтервалі [11].

На рис. 3 видно дві гіперболи, між гілками яких перебуває «коридор», в якому з довірчою ймовірністю 95 % повинне знаходитися значення електроспоживання для кожної з будівель кластеру 4.

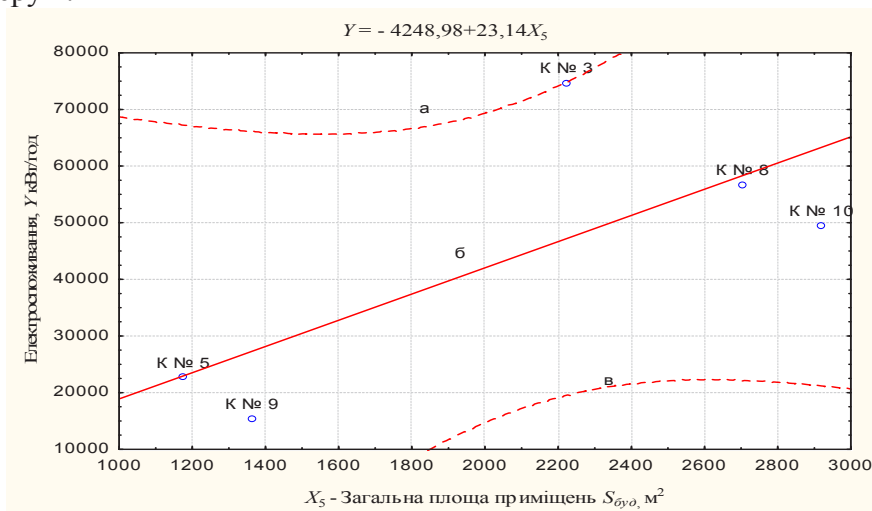


Рис. 3. Регресійна модель енергетичної характеристики будівель кластеру 4: а – верхній довірчий інтервал (ліміт електроспоживання); б – пряма регресії; в – нижній довірчий інтервал.

На рис. 4 також зображено дві гіперболи, між гілками яких з довірчою ймовірністю 95 % знаходиться значення електроспоживання для кожної з будівель кластеру б.

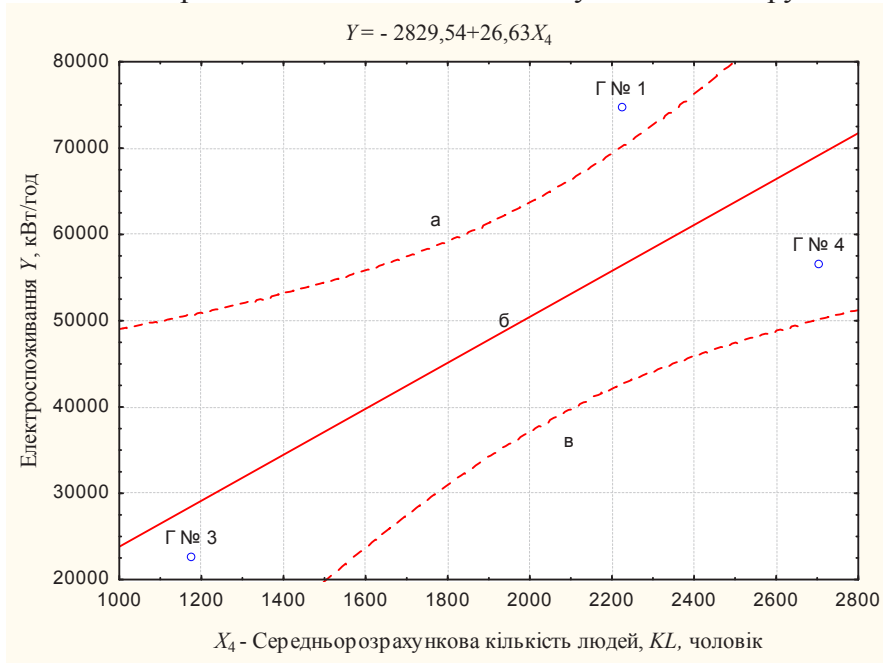


Рис. 4. Регресійна модель енергетичної характеристики будівель кластеру б:
 а – верхній довірчий інтервал (ліміт електроспоживання); б – пряма регресії;
 в – нижній довірчий інтервал.

Таким чином, верхню межу можна вважати граничною: якщо точка лежатиме вище довірчого інтервалу, то це свідчить про явну перевитрату електроенергії на об'єкті та завищене використання норм. Тому величину $W_{t\text{ пер}} \pm t_{f,\alpha} S_{W_{t\text{ пер}}}$ можна вважати лімітуючою, що обмежує величину електроспоживання для конкретної будівлі даного кластеру. При цьому відхилення електроспоживання від прямої лінії, яке не виходить за межі довірчого інтервалу, має вважатися штатним станом споживання електроенергії у кластері.

Висновки

1. Кластерний аналіз ієрархічним методом, за правилом об'єднання – повного зв'язку і вибраного методу близькості – евклідова відстань, дозволяє об'єднати будівлі ВНЗ у кластери за енерготехнологічними параметрами будівель.
2. Фізичний зміст структури кластерів, що згруповані за технологічним і проектним призначенням будівель, не суперечить існуючим методикам розрахунку норм витрат паливно-енергетичних ресурсів, але поліпшує їх якість.
3. Розроблено принципи визначення системоутворюючих факторів під час їх формування.
4. Розроблено принципи визначення розмірності питомих витрат електричної енергії у кластерах для будівель ВНЗ.
5. Визначені та рекомендовані до проведення першочергового енергоаудиту будівлі з завищеним і граничним рівнем енергоспоживання.

Список використаних джерел

1. Програма Міністерства освіти і науки України щодо зменшення споживання енергоресурсів навчальними закладами та установами освіти, підпорядкованими міністерству і фінансування яких здійснюється з державного бюджету, на 2010–2014 р.р. / затв. Наказом Міністерства освіти і науки України від 26.02.2010 р. № 147.
2. Праховник А. В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий / А. В. Праховник, В. П. Розен, В. В. Дегтярев. – М. :

Недра, 1985. – 232 с.

3. Розен В. П. Прогнозирование показателей и классификация состояния энергетической безопасности региона / В. П. Розен А.–М. М. Танский // Энергетика : економіка, екологія. – 2005. – № 2. – С. 101–109.

4. Розен В. П. Районування адміністративних одиниць Волинської області відповідно до стану їх енергобезпеки / В. П. Розен, П. П. Іщук // Промелектро. – 2005. – № 4. – С. 40–45.

5. Розен В. П. Кластерний аналіз використання паливно-енергетичних ресурсів на прикладі Черкаської області / В. П. Розен, С. М. Мильніченко // Вісник НТТУ «КПІ». Серія «Гірництво». – 2010. – Вип. 19

6. Находов В. Ф. Нормирование и оценка эффективности электропотребления в промышленности (на примере угольных шахт) : автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – К., 1986. – 16 с.

7. Сошникова Л. А. Многомерный статистический анализ в экономике : учеб. пособие для вузов / Л. А. Сошникова, В. Н. Тамашевич ; под ред. проф. В. Н. Тамашевича. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 1999. – 598 с.

8. Розен В. П. Обґрунтування застосування алгоритму Фаррара-Глобера для зменшення факторного простору впливу на електроспоживання будівлями ВНЗ / В. П. Розен, В. Ф. Ткаченко // Економічна безпека держави і науково-технічні аспекти її реалізації: Праці IV між нар.наук.-практ. сем. – 2012. – 205 с.

9. Жамбю М. Иерархический кластер-анализ и соответствия / М. Жамбю. – М. : Финансы и статистика, 1988. – 342 с.

10. Боровиков В. П. Прогнозирование в системе STATISTICA в среде Windows. Основы теории и интенсивная практика на компьютере / В. П. Боровиков, Г. И. Ивченко. – М. : Финансы и статистика, 1999. – 350 с.

11. Норми витрат електричної та теплової енергії для установ і організацій бюджетної сфери України. – Київ, 1999.

12. Сошников А. Е. Разработка методики определения электропотребления бюджетных организаций для нормирования на основе системного энергоаудита (на примере организаций Минздрава РФ) : дисс. ... канд. техн. наук. – М., 2003. – 133 с.

THE CLUSTERIZATION OF ENERGY CONSUMPTION OBJECTS OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTES ACCORDING TO THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL FUNCTIONS

V. P. ROZEN, Cand. Tech. Scie., Pf., manager by a department
V. F. TKACHENKO, chief operating technical to the department
S. M. MYLNICHENKO, senior teacher

The publications for cluster analysis application in order to solve energy efficiency problems are analyzed. With the help of cluster analysis the clusterization of buildings of Cherkasy State Technological University is carried out. System-forming factors for clusters are determined. Confidence intervals of energy consumption value with the probability 95% for buildings inside clusters are determined. The objects, for which it is expedient to carry out immediate energy audit, are determined.

Поступила в редакцию 15.02 2013 г.