

ЕЛЕКТРИФІКАЦІЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ГІРНИЧИХ РОБІТ

УДК 622.23

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ АНАЛІЗУ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ ШЛЯХОМ УРАХУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИРОБНИЦТВА

*В. П. Розен, канд. техн. наук, О.–М. М. Танський, асп. (НТУУ “КПІ”),
Є. А. Ячник, інж. (ВАТ ПТЕМ)*

Проведено исследование методов Чекановского и иерархического кластерного анализа для анализирования технологических параметров с целью повышения эффективности оценки уровня использования электрической энергии угольными шахтами.

Проведено дослідження методів Чекановського та ієрархічного кластерного аналізу для аналізування технологічних параметрів з метою підвищення ефективності оцінювання рівня використання електричної енергії вугільними шахтами.

The investigation of Chekanovsky methods and hierarchical clustering for analyzing the technological parameters to increase effectiveness of estimation level of power usage by collieries is carried out.

Постановка проблеми. Розв’язання проблеми розроблення систем аналізування ефективності споживання електричної енергії виробничими системами набуває все більшого значення у зв’язку з суттєвим підвищенням тарифів на електричну енергію. Показником, що характеризує ефективність використання електричної енергії, є її питоме споживання. Ефективність функціонування будь-якої виробничої системи в сучасних умовах у більшості випадків визначається станом її енергетичного господарства, оскільки енергоресурси складають велику частку в собівартості будь-якої продукції промислового підприємства. Більше того, економічна орієнтація України на європейські ринки збуту продукції диктує суворі умови щодо дотримання європейського екологічного законодавства, а це безпосередньо пов’язано з необхідністю ефективного використання як первинних, так і вторинних паливно-енергетичних ресурсів. Все це зумовлює особливу актуальність аналізування ефективності використання енергоресурсів.

Вугільна галузь є не лише одним із основних виробників і постачальників палива на внутрішній ринок України, але й одним з найбільших споживачів паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР). Вона споживає близько 3,9 млн т у. п. ПЕР на рік (станом на 2001 р.), з них майже 75 % – електроенергії (близько

7,8 млрд кВт·год). Близько 92,5 % всієї споживаної електроенергії (7,2 млрд кВт·год) іде безпосередньо на видобуток вугілля [1].

Враховуючи вищесказане і те, що енергетична ефективність виробництва становить одну з основних складових загальної ефективності (насамперед економічної, що зумовлено зростанням цін на енергоносії), оцінка її в цілому по галузі, по окремих вуглевидобувних підприємствах, по виробничих процесах є дуже важливою і необхідною, оскільки дозволяє виявити резерви підвищення ефективності функціонування підприємств.

Під час визначення рівня енергетичної ефективності виробничих систем, таких як вугільні шахти, доцільним є встановлення норми споживання не в цілому по регіону, а для окремих груп з приблизно однаковими умовами функціонування. У випадку з вугільними шахтами доцільно враховувати гірничо-геологічні умови, що впливають на їх роботу. Задача класифікації вугільних шахт за ступенем однорідності може бути розв'язана з використанням теорії розпізнавання образів, до якої можна віднести методи: Чекановського та кластерного ієрархічного аналізу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методи кластерного аналізу для аналізування енергетичних об'єктів вперше було застосовано для: класифікації режимів електроспоживання гірничовидобувних підприємств [2], класифікації районів за станом енергетичної безпеки [3, 4]. Постановка задач класифікації за ефективністю використання електричної енергії у вугільних шахтах була зроблена в [5].

Формування мети. Метою даної статті є підвищення ефективності оцінювання рівня використання електричної енергії вугільними шахтами за рахунок урахування впливу гірничо-геологічних умов виробництва на питоме споживання електричної енергії.

Класифікація шахт за енерготехнологічними параметрами. Як технологічні параметри, що впливають на рівень енергетичної ефективності, були прийняті такі показники [5]:

- 1) електроспоживання, кВт·год;
- 2) річний видобуток вугілля в шахті, т;
- 3) річний об'єм робіт з проведення підготовчих виробок, м;
- 4) середньодинамічна потужність пластів корисної копалини, м;
- 5) середньорічний притік води в шахту, м³;
- 6) середньорічна газоносність пластів корисної копалини, м³/т;
- 7) середньооблікова чисельність промислово-виробничого персоналу, чол.

Розглянемо методи класифікації вугільних шахт з використанням методів: Чекановського та кластерного ієрархічного аналізу.

1. Класифікація методом Чекановського.

Алгоритм методу Чекановського [6], згідно з яким проводився розрахунок, включає такі кроки.

Перший крок. На початку формуємо матрицю спостережень. Вихідна множина складається з m елементів, що описані n ознаками; кожну її одиницю можна інтерпретувати як точку n -мірного простору з координатами, що

дорівнюють значенням n ознак для об'єкту, що розглядається. Матриця спостережень має такий вигляд:

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

де m – кількість об'єктів класифікації; n – число технологічних параметрів; x_{ik} – значення ознаки k для i -тої вугільної шахти.

Вихідні дані матриці для 19 вугільних шахт Львівсько-Волинського басейну наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Річні енерготехнологічні параметри вугільних шахт Львівсько-Волинського басейну

Порядковий номер шахти	Електроспоживання, кВт·год	Річний видобуток вугілля в шахті, т	Річний об'єм робіт з проведення підготовчих виробок, м	Середньодинамічна потужність пластів корисної копалини, м	Середньорічний притік води в шахту, м ³	Середньорічна газонасність пластів корисної копалини, м ³ /т	Середньооблікова чисельність промислово-виробничого персоналу, чол.
1	15609360	422059	5048	0,9	115	1,16	753
2	14010727	551467	4453	1,39	152	0	641
3	10546843	444287	6248	0,86	42,4	0	676
4	12296454	552941	7402	1,35	85	0	600
5	10771650	533131	6230	1,08	53	0	649
6	18524186	606705	10822	0,82	148	0	1132
7	19519612	558841	7080	1,4	536	0	677
8	12776947	459790	4543	1,5	170	0	596
9	15856627	621544	6138	1,23	94	14,8	653
10	16261052	739250	8002	1,26	41,8	14,6	691
11	24178920	1337669	8463	1,63	34,9	27,4	925
12	28106353	1263490	7222	1,51	70	36,6	865
13	26278866	1155702	9080	1,3	45	36,2	807
14	23500127	977077	7656	1,52	66,5	41,9	766
15	25652656	1146634	8706	1,38	31,5	20,5	798
16	24972450	1117210	6633	1,28	33,3	21,2	643
17	19750204	779741	8837	1,21	24	10,3	718
18	19055836	918976	5667	1,06	34	10,68	769
19	27459997	785058	8490	1,4	82,5	17,35	880

Другий крок. Для значень, включених у матрицю спостережень, необхідно виконати нормування ознак, оскільки вони мають різну фізичну природу. Нормування ознак виконується за виразами

$$z_{ik} = \frac{x_{ik} - \bar{x}_k}{\sigma_k}, \quad (2)$$

де \bar{x}_k та σ_k визначаються за виразами

$$\bar{x}_k = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_{ik}; \quad (3)$$

$$\sigma_k = \sqrt{\left[\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (x_{ik} - \bar{x}_k)^2 \right]}, \quad (4)$$

де $k = 1, 2, \dots, n$; x_{ik} – значення показника k для i -тої вугільної шахти; \bar{x}_k – середнє арифметичне значення ознаки k ; σ_k – стандартне відхилення ознаки k для i -тої вугільної шахти.

Третій крок. Розрахунок елементів матриці відстаней з урахуванням всіх елементів матриці спостережень виконувався за формулою [6]

$$d_{rs} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |z_{rk} - z_{sk}|; \quad (r, s = 1, 2, \dots, m). \quad (5)$$

Результати розрахунків матриці відстаней наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Фрагмент матриці відстаней для класифікації вугільних шахт

Номер об'єкта	1	2	3	...	...	...	17	18	19
1	0	0,64986	0,45857	...	...	...	1,05772	0,70631	1,44474
2	0,64986	0	0,81180	...	...	...	1,10960	1,02591	1,34557
3	0,45857	0,811780	0	...	...	...	1,0218	0,84944	1,58852
...
...
...
17	1,05772	1,10960	1,0218	...	...	...	0	0,53154	0,6744
18	0,70631	1,02591	0,84944	...	...	...	0,53154	0	0,99385
19	1,44475	1,34557	1,58852	...	...	...	0,6744	0,99385	0

Четвертий крок. Відобразимо матрицю відстаней у графічному вигляді, для цього виділяємо два класи, які мають такі графічні позначення:

	якщо $d_{rs} \leq 1$
	якщо $d_{rs} > 1$

Отриману матрицю назвемо невпорядкованою діаграмою Чекановського (рис. 1).

П'ятий крок. Невпорядковану діаграму Чекановського приводимо до впорядкованого вигляду шляхом перестановки рядків і стовпчиків (групування) та заповнення головної діагоналі елементами з відстанями, меншими за 1,0. Отримаємо остаточно (впорядковану) діаграму Чекановського (рис. 2). З таблиці можна виділити чотири класи вугільних шахт. До першого відносяться шахти 1, 3, 5, 2, 8, 4, 9; до другого – 7; до третього – 6; до четвертого – 10, 17, 16, 18, 11, 12, 13, 15, 14, 19. Результати класифікації зведемо до табл. 2.

Таким чином, було виділено дві великі групи – першу та четверту, до яких віднесено більшу частину шахт зі спільними ознаками, і дві малих групи – другу та третю, до яких належать лише по одній шахті. Правомірність виділення груп лише з однією шахтою пояснюється особливими умовами виробництва, а саме: в одній з них найбільший середньорічний приплив води, в іншій – найбільша середньооблікова чисельність промислово-виробничого персоналу. Слід відзначити, що при застосуванні цього методу не потрібне складне математичне забезпечення, метод дуже простий у використанні при невеликих обсягах інформації про об'єкти, що легко піддаються класифікації. Його можна застосовувати під час проведення попередньої класифікації. Проте він не дозволяє відображати структуру класів виробничих систем і проводити аналіз схожості класів між собою і внутрішньої структури класів. Цей метод не дає можливості віднести нові об'єкти до існуючих класів і вимагає проведення нових розрахунків.

	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1																			
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			
9																			
10																			
11																			
12																			
13																			
14																			
15																			
16																			
17																			
18																			
19																			

Рис. 1. Невпорядкована діаграма Чекановського

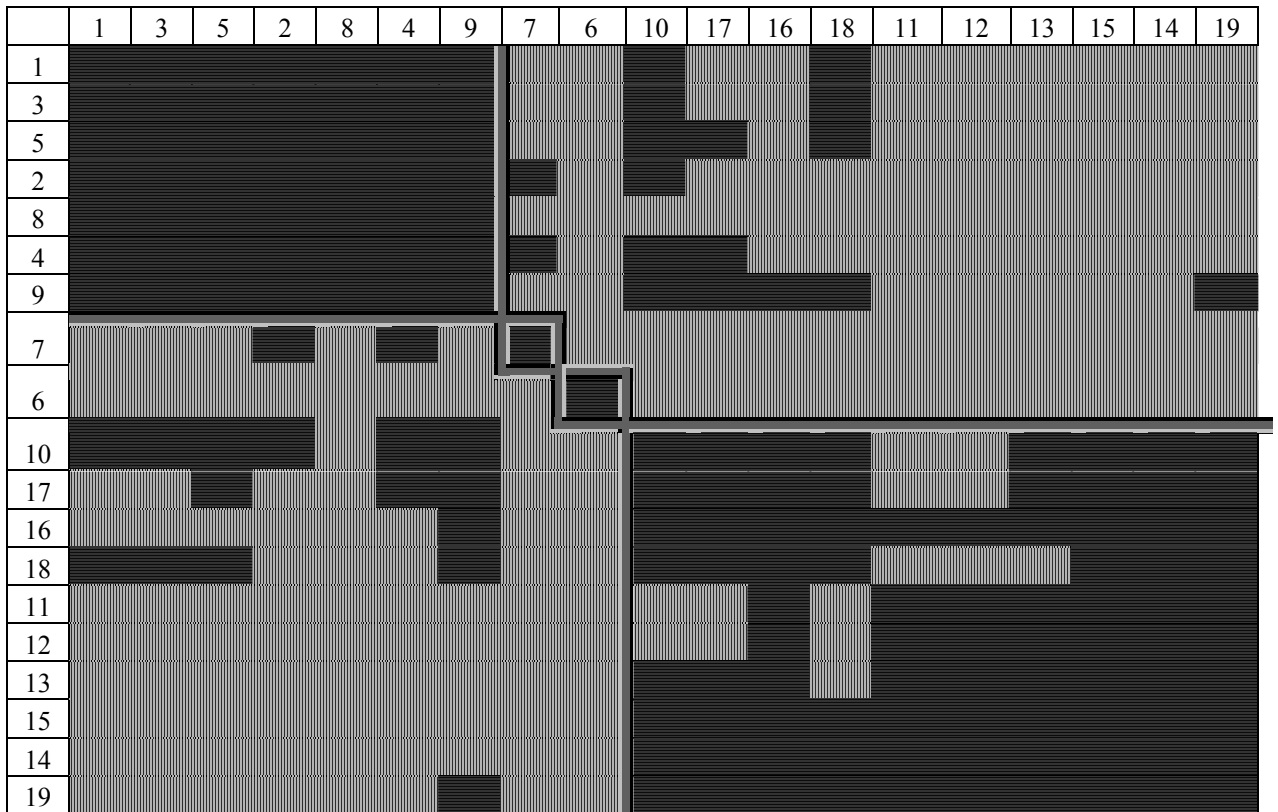


Рис. 2. Впорядкована діаграма Чекановського

2. Класифікація методом ієрархічного кластерного аналізу. Метою проведення кластерного аналізу є створення наочної структури класів виробничих систем, які утворюють об'єкти класифікації. Її створюють за рахунок об'єднання виробничих систем у великі класи, використовуючи визначену міру схожості. Діаграма, наведена на рис. 3, є ієрархічним деревом кластерного аналізу. Вздовж вертикальної осі наведено виробничі системи, що підлягають класифікації, а вздовж горизонтальної осі відбувається поступове послаблення критерію об'єднання, тобто зниження граничного рівня критерію об'єднання двох об'єктів до одного класу. В результаті ослаблення критерію відбувається агрегація кластерів, які мають в своїй структурі все більш відмінні об'єкти.

Алгоритм методу ієрархічного кластерного аналізу включає такі кроки.

Перший крок. Оскільки параметри, якими описуються досліджувані об'єкти, мають різну природу, проведемо нормалізацію початкових значень з метою одержання даних, за допомогою яких можна буде провести співставлення. Нормалізацію нових значень здійснюємо за формулою (2). Для отриманих кластерів, які розглядаємо, будуюмо матрицю відстаней. У процесі класифікації можливе застосування різних видів визначення відстані. Найбільш поширеним є евклідова та манхеттенська відстані. Оскільки в процесі використання методу Чекановського було застосовано манхеттенську відстань (5), застосуємо її і в кластерному аналізі.

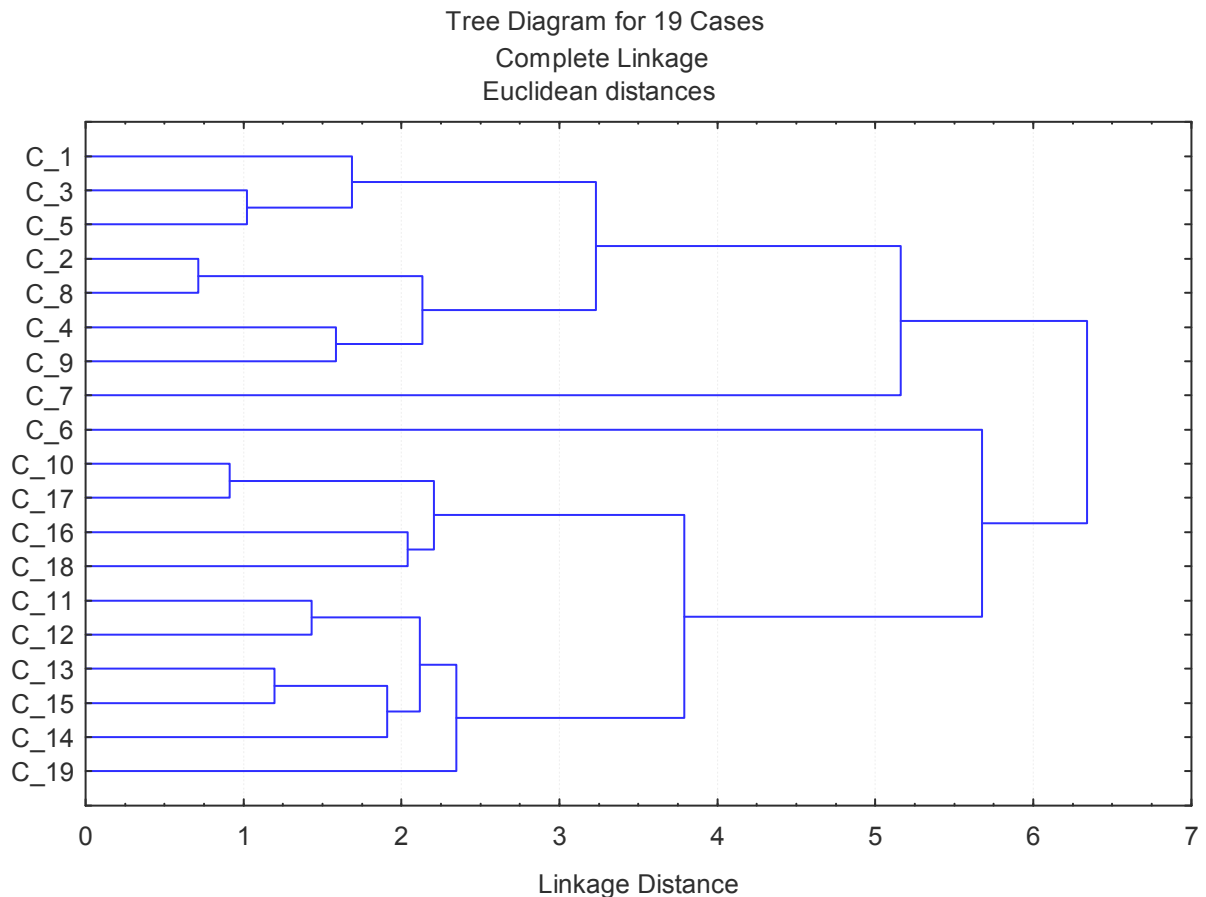


Рис. 3. Ієрархічне дерево класифікації вугільних шахт (повний зв'язок, евклідова відстань)

Другий крок. Після розрахунку відстаней між об'єктами виникає питання, як провести об'єднання різних об'єктів. Варіантів існує дуже велика кількість, наприклад, об'єднання класів, у яких будь-які два об'єкти найближчі один до одного, або об'єднання із визначенням відстаней між найбільш віддаленими об'єктами в класі. Для класифікації виробничих систем застосуємо другий варіант порядку об'єднання, тобто будемо використовувати відстані між об'єктами з двох класів, які найбільш віддалені один від одного. Цей метод називається методом „повного зв'язку” і ефективний у випадку, коли дійсно існують відмінні одна від одної групи об'єктів. Після проведення об'єднання повертаємось до першого кроку. Процедура продовжується до тих пір, поки не буде об'єднано всі кластери. Для класифікації було використано програмне забезпечення пакету STATISTICA.

В результаті проведення розрахунку можна виділити чотири класи вугільних шахт з відстанню об'єднання, більшою за 4 (див. рис. 3). До першого класу віднесено шахти 1, 3, 5, 2, 8, 4, 9; до другого класу віднесено шахту 7; до третього – шахту 6; до четвертого класу – шахти 10, 17, 16, 18, 11, 12, 13, 15, 14, 19. Результати класифікації зведемо до табл. 3.

Таким чином, за допомогою цього методу можна отримати ієрархічну структуру класів виробничих систем. З ієрархічного дерева можна легко встановити структуру об'єктів всередині класу, взаємозв'язок класів між собою. Використання цього методу дає широкі можливості при виборі міри

визначення відстані між об'єктами та порядку об'єднання класів між собою. Метод дозволяє проводити розрахунки при різному характері вхідної інформації. До недоліків слід віднести необхідність перерахунку всієї кластерної діаграми у випадку необхідності класифікації додаткових об'єктів.

Таблиця 3. Порівняльна таблиця результатів аналізу двома методами

№ шахти			Розподіл по вугільним шахтам за класами	
			метод Чекановського	ієрархічний метод класифікації
1			1*	1
2			1	1
3			1	1
4			1	1
5			1	1
6			3	3
7			2	2
8			1	1
9			1	1
10			4	4
11			4	4
12			4	4
13			4	4
14			4	4
15			4	4
16			4	4
17			4	4
18			4	4
19			4	4
Питоме споживання, по кожному з класів, кВт·год/т	класи	1	24,14	24,14
		2	34,92	34,92
		3	30,53	30,53
		4	23,48	23,48
Середнє по всім шахтам			25,38	

* – номер відповідає класу, до якого належить дана шахта.

Висновки

Класифікація виробничих систем за станом технологічних параметрів (на прикладі вугільних шахт) для визначення енергетичного рівня ефективності виробництва може бути проведена з використанням одного з методів: Чекановського або ієрархічного кластерного аналізу.

Використання методу Чекановського дає можливість проводити ефективну класифікацію за наявності малих обсягів інформації та значної різниці між класами об'єктів.

1. Застосування ієрархічного кластерного аналізу дозволяє отримати ієрархічну структуру класів виробничих систем. Це дає можливість встановити структуру об'єктів всередині класу та взаємозв'язок класів між собою.

2. Застосування кластерного аналізу дає можливість вибирати міру визначення відстані між об'єктами та правила об'єднання класів між собою.

3. Метод Чекановського та кластерного аналізу не дає можливості включення нових об'єктів до вже існуючих класів, а вимагає проведення нової класифікації.

4. Результати, отримані при застосуванні обох методів, є аналогічними. Проте ефективність їх застосування залежить від наявних обсягів вихідної інформації.

1. *Ляшенко О. Ф., Макаров В. М.* Оцінка енергетичної ефективності вуглевидобування в Україні та напрями її підвищення // Проблеми загальної енергетики. – 2006. – № 13. – С. 17–23.

2. *Праховник А. В., Розен В. П., Дегтярев В. В.* Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий. – М.: Недра, 1985. – 232 с.

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

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

5. *Находов В. Ф.* Нормирование и оценка эффективности электропотребления в промышленности (на примере угольных шахт). Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – К.: 1986. – 16 с.

6. *Плюта В.* Сравнительный многомерный анализ в экометрическом моделировании. – М.: Высшая школа, 1989. – 120 с.