

В. І. ВОЛИНЕЦЬ (канд. техн. наук, доц.), **Н. В. КОМЕНДА** (канд. техн. наук, доц.),
М. В. РОМАНЮК (канд. техн. наук, доц.), **І. О. БАНДУРА** (канд. техн. наук, доц.),
А. В. ГАДАЙ (канд. техн. наук, доц.)

Луцький національний технічний університет
volynetsvladyslav@lutsk-ntu.com.ua

РАНЖУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ ЗА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЮ

Анотація. Обґрунтовано процедуру оцінювання енергоефективності електротехнічних комплексів вугільних шахт, що спирається на багатомірне порівняння показників ефективності через ранжування за різними правилами. Врахування умов функціонування вугільних шахт та їх технологічного процесу дозволяє виокремити показники, що мають найбільший вплив на рівні споживання електроенергії електротехнічними комплексами вугільних шахт. Показано, що правила ранжування дають змогу визначити вугільні шахти, які за рівнем енергоефективності є кращими або гіршими. Доведено, що використання запропонованої процедури оцінювання енергоефективності забезпечує достовірність управлінських дій спрямованих на підвищення рівня енергоефективності системи енергоспоживання електротехнічних комплексів вугільних шахт.

Ключові слова: вугільна шахта, електротехнічні комплекси, енергоефективність, ранжування

Постановка проблеми. На сьогоднішній день, незважаючи на повномасштабне російське вторгнення, вугільна галузь залишається важливою для вирішення енергетичних потреб країни. В умовах постійного дефіциту електроенергії дуже гостро стоїть питання економії електроенергії та підвищення енергетичної ефективності вугільних шахт. Останнім часом для збалансування споживання оператор енергосистеми вимушений маневрувати в години пікових навантажень за допомогою блоків ТЕС та ТЕЦ, що сприяє до додаткових витрат вугілля та погіршує техніко-економічні показники роботи обладнання. Тому вугілля і надалі є дуже важливим енергоносієм, який забезпечує енергетичну безпеку України.

Існує нагальна потреба продовжити та більш глибоко дослідити питання підвищення ефективності використання електричної енергії на підприємствах вугільної галузі, незважаючи на те, що дослідженням з енергозбереження присвячено значну кількість робіт вчених.

Аналіз попередніх досліджень. Розроблення нових енергозберігаючих технологій та ефективних систем та засобів контролю за енергоспоживанням дозволить забезпечити зростання ефективності споживання електроенергії електротехнічних комплексів вугільних шахт та одночасне виявлення ключових аспектів забезпечення можливості енергозбереження. Серед принципів забезпечення енергоефективності поряд із впровадженням порівняльного аналізу є розробка та впровадження методів вдосконалення енергоефективності [1, 2, 3].

Питанням розробки підходів до оцінювання рівня енергоефективності, які здатні забезпечити співставлення результатів енергоспоживання з кращими зразками енергоефективності, а також врахувати специфіку об'єкту дослідження, приділено недостатньо уваги. І це незважаючи на велику кількість публікацій, які були присвячені даній тематиці, а саме: оцінюванню енергоефективності в навчальних закладах [4], проблемі ефективності використання електроенергії у вугільній промисловості [5], аналізу та оцінки рівня енергоефективності складних виробничих об'єктів [6] та моніторингу енергоефективності [7].

Формулювання мети статті. Метою статті є підвищення якості оцінювання ефективності споживання електроенергії електротехнічними комплексами вугільних шахт за рахунок використання багатомірного порівняння із застосуванням різних правил ранжування.

Викладення основного матеріалу дослідження. У зв'язку з тим, що норми питомого споживання електричної енергії визначають для моніторингу загалом для вугільних об'єднань, то необхідно з метою оцінювання рівня ефективності електроспоживання окремих вугільних шахт, які належать до одного об'єднання та кластерного класу, визначати їх рейтинг.

Нехай досліджувана система складається зі скінченної множини $Ш_0$ вугільних шахт $Ш_i$, $Ш_0 = \{Ш_i | i = \overline{1, m}\}$. Кожну вугільну шахту $Ш_i \in Ш_0$ характеризує скінченна множина $Ш_0$ показників $Ш_j$, $Ш_0 = \{Ш_j | j = \overline{1, n}\}$. Зі сформованої групи показників X_0 , використовують для ранжування найбільш впливові показники X_k , $X_0 = \{X_k | k = \overline{1, l}\}$. Кожний показник $X_k \in X_0$ піддається аналізу для усіх вугільних шахт.

Для проведення ранжування скористаємось правилами ранжування Борда, Кондорсе та Копленда [8]. Результатом ранжування буде деяка кількість рейтингів, за допомогою яких і проводиться оцінка рівня ефективності енерговикористання. Ранжування проводиться за такими показниками як питоме споживання електроенергії електротехнічних комплексів вугільних шахт (X_1), видобуток (X_2) та виробіток (X_3) (табл. 1). Оскільки показники за якими проводимо ранжування мають різну фізичну природу, то необхідно провести їх нормування за виразом (1):

$$X_{ij}^n = \frac{X_{ij}}{\sum_{j=1}^n X_{ij}}, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Результати нормування показників ранжування показані також в табл. 1.

Таблиця 1 - Вихідні та нормовані значення показників ефективності використання електроенергії електротехнічних комплексів вугільних шахт

№	Назва шахти	Значення показників ранжування					
		X_1	X_2	X_3	X_1^n	X_2^n	X_3^n
1	Шахта №1	185,121	76716	99,63	0,2149	0,0205	0,0300
2	Бужанська	72,598	74852	100,61	0,0843	0,0200	0,0303
3	Шахта №5	52,690	93134	127,58	0,0612	0,0249	0,0384
4	Шахта №9	55,488	185601	179,50	0,0644	0,0496	0,0540
5	Великомостівська	51,694	227300	344,39	0,0600	0,0607	0,1036
6	Бендюзька	27,898	419000	403,27	0,0324	0,1119	0,1213
7	Межирічанська	37,760	452700	371,98	0,0438	0,1209	0,1119
8	Відродження	38,103	450800	257,75	0,0442	0,1204	0,0775
9	Лісова	88,528	251500	230,31	0,1028	0,0672	0,0693
10	Зарічна	85,137	189100	227,83	0,0988	0,0505	0,0685
11	Візейська	43,285	409600	348,30	0,0503	0,1094	0,1048
12	Степова	70,543	595700	345,13	0,0819	0,1591	0,1038
13	Червоноградська	52,528	318500	287,97	0,0610	0,0851	0,0866

Далі проводимо ранжування електротехнічних комплексів вугільних шахт з використанням алгоритму правил ранжування Борда, Кондорсе та Копленда [8]. Результати ранжування електротехнічних комплексів вугільних шахт зведено в табл. 2, табл. 3 та табл. 4 відповідно.

Таблиця 2 – Результати ранжування електротехнічних комплексів вугільних шахт за правилом Борда

Назва шахти	Коефіцієнти Борда				Рейтинг
	$B(C_{X1})$	$B(C_{X2})$	$B(C_{X3})$	$B(C)$	
Шахта №1	0	1	0	1	13
Бужанська	3	0	1	4	12
Шахта №5	6	2	2	10	10
Шахта №9	5	3	3	11	9
Великомостівська	8	5	8	21	6
Бендюзька	12	9	12	33	1
Межирічанська	11	11	11	33	2
Відродження	10	10	6	26	4
Лісова	1	6	5	12	8
Зарічна	2	4	4	10	11
Візейська	9	8	10	27	3
Степова	4	12	9	25	5
Червоноградська	7	7	7	21	7

Як видно з табл. 2 найкращі рейтинги мають шахти ДП «Львіввугілля»: «Бендюзька» - 1, «Межирічанська» - 2 та «Візейська» - 3. Найгірший рейтинг за показниками енергоефективності має шахта ДП «Волиньвугілля» Шахта №1.

Таблиця 3 - Результати ранжування електротехнічних комплексів вугільних шахт за правилом Кондорсе

Назва шахти	Шахта №1	Бужанська	Шахта №5	Шахта №9	Великомостівська	Бендюзька	Межирічанська	Відродження	Лісова	Зарічна	Візейська	Степова	Червоноградська	Кількісний показник	Ранг
Шахта №1	x													0	9
Бужанська		x												0	9
Шахта №5			x											0	9
Шахта №9				x										0	9
Великомостівська					x					3				1	8
Бендюзька						x			3	3	3		3	4	2
Межирічанська							x	3	3	3	3		3	5	1
Відродження							3	x	3	3				3	4
Лісова						3	3	3	x					3	4
Зарічна					3	3	3	3		x				4	2
Візейська						3	3				x		3	3	4
Степова												x		0	9
Червоноградська						3	3				3		x	3	4

Результати ранжування електротехнічних комплексів вугільних шахт за правилом Кондорсе такі:

- найкращими за енергоефективністю є шахти ДП «Львіввугілля» (Межирічанська (найвищий рейтинг), Бендюзька та Зарічна);

- найгіршими є шахти ДП «Волиньвугілля» (ранг 9) та шахта ДП «Львіввугілля» Степова (також ранг 9).

Аналогічні результати було отримано при ранжуванні електротехнічних комплексів вугільних шахт за правилом Копленда.

Таблиця 4 - Результати ранжування електротехнічних комплексів вугільних шахт за правилом Копленда

Об'єкт	L	U	Коефіцієнт Копленда	Ранг
Шахта №1	0	12	-12	9
Бужанська	0	12	-12	9
Шахта №5	0	12	-12	9
Шахта №9	0	12	-12	9
Великомостівська	1	11	-10	8
Бендюзька	4	8	-4	2
Межирічанська	5	7	-2	1
Відродження	3	9	-6	4
Лісова	3	9	-6	4
Зарічна	4	8	-4	2
Візейська	3	9	-6	4
Степова	0	12	-12	9
Червоноградська	3	9	-6	4

Результати ранжування за всіма правилами ранжування відображено на рис. 1. Результуючі значення рангів електротехнічних комплексів вугільних шахт за усіма правилами ранжування зображено на рис.2.

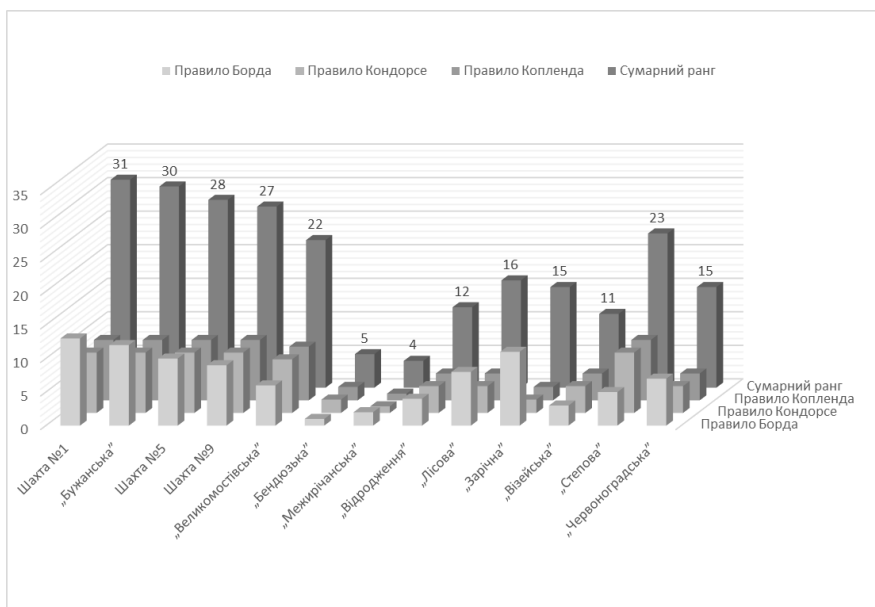


Рисунок 1 - Результати ранжування електротехнічних комплексів вугільних шахт за різними правилами ранжування

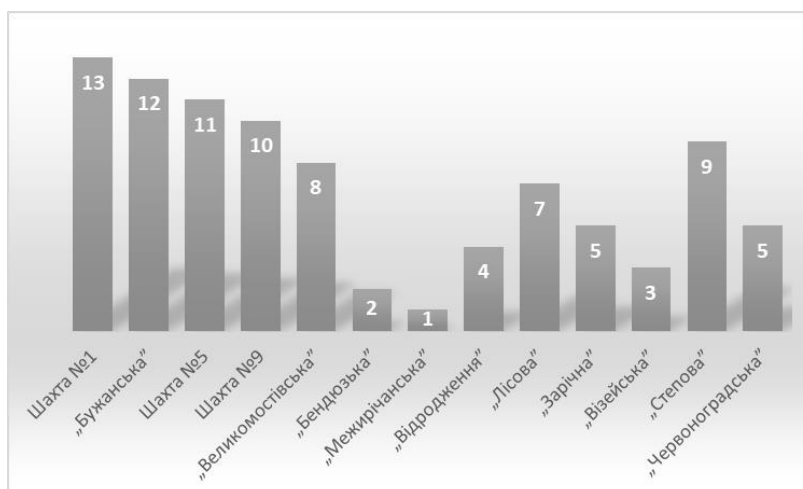


Рисунок 2 – Результуючі значення рангів електротехнічних комплексів вугільних шахт

Висновки. Використання процедури ранжування за показниками енергоефективності дозволяє визначити найкращі (Межирічанська, Бендюзька, Візейська) та найгірші (шахти ДП «Волиньвугілля» та Степова) вугільні шахти за рівнями енерговикористання. За отриманими результатами можна впроваджувати організаційні та управлінські заходи щодо покращення стану енерговикористання на тих шахтах, які отримали найгірший рейтинг. 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.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. L. Davydenko, "Indicators System Creation For The Energy Efficiency Benchmarking Of Municipal Power System Facilities", *Problemele energeticii regionale*, 1 (27), pp. 58-70, 2015.
2. V.P. Rosen, B.L. Tyshevych, E.N. Inshekov, P.V. Rosen, "Benchmarking methodology for increasing of energy efficiency of industry of Ukraine", *Problemele energeticii regionale*, 2(19), P. 73-84, 2012.
3. ISO 50001:2011. Energy management systems - Requirements with guidance for use – CEN/CENELEC. European Committee for Standardization, 2011.
4. В.П. Розен, І.В. Яковчук, І.М. Шарий, "Оцінювання енергоефективності в навчальних закладах з використанням правил ранжування за показниками впливу на рівень їх енерговикористання", *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*, №33, С. 89-99, 2017. DOI: 10.20535/2079-5688.0.33.99846.

5. В.П. Розен, Л.В. Давиденко, В.І. Волинець, В.А. Давиденко, Н.В. Давиденко, “Бенчмаркінг енергоефективності електротехнічних комплексів вугільних шахт”, *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. Випуск 4(117), С. 134-141, 2019. DOI: 10.30929/1995-0519.2019.4.134-140.
6. Я.С. Бедерак, “Про обґрунтування вибору економіко-математичних методів оцінки енергоефективності виробничих об’єктів”, *Електротехніка і Електромеханіка*, № 1, С. 67-72, 2017. DOI: 10.20998/2074-272X.2017.1.11.
7. J. Flizikowski, K. Bielinski, “Technology and Energy Sources Monitoring: Control, Efficiency, and Optimization”, USA: IGI GLOBAL, 260 p, 2013.
8. Творошенко І.С. Технології прийняття рішень в інформаційних системах: навч. посібник. Харків, ХНУРЕ, 2021. 120 с. DOI: 10.30837/978-966-659-294-4.

REFERENCES

1. L. Davydenko, “Indicators System Creation For The Energy Efficiency Benchmarking Of Municipal Power System Facilities”, *Problemele energeticii regionale*, 1 (27), pp. 58-70, 2015.
2. V.P. Rozen, I.V. Yakovchuk, I.M. Sharyi, “Evaluation of the energy efficiency of educational institutions according to the ranking by indicators of influence on the level of their energy use”, *Visnyk NTUU «KPI». Seriiia «Hirnyctvo»*, №33, pp. 89-99, 2017. DOI: 10.20535/2079-5688.0.33.99846.
3. ISO 50001:2011. Energy management systems - Requirements with guidance for use – CEN/CENELEC. *European Committee for Standardization*, 2011.
4. V.P. Rosen, B.L. Tyshevych, E.N. Inshekov, P.V. Rosen, “Benchmarking methodology for increasing of energy efficiency of industry of Ukraine”. *Problemele energeticii regionale*, 2(19), pp. 73-84, 2012.
5. V.P. Rozen, L.V. Davydenko, V.I. Volynets, V.A. Davydenko, N.V. Davydenko, “Benchmarking of energy efficiency of electrotechnical complexes of coal mines”, *Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu imeni Mykhaila Ostrohradskoho*, issue 4(117), pp. 134-141, 2019. DOI: 10.30929/1995-0519.2019.4.134-140.
6. Ya. S. Bederak, “On substantiation of selection of economic and mathematical methods for the assessment of energy efficiency of production facilities”, *Electrical Engineering & Electromechanics*, no. 1, pp.67-72, 2017. DOI: 10.20998/2074-272X.2017.1.11.
7. J. Flizikowski, K. Bielinski, “Technology and Energy Sources Monitoring: Control, Efficiency, and Optimization”, USA: IGI GLOBAL, 260 p, 2013.
8. I.S. Tvoroshenko, “Decision-making technologies in information systems”, *Kharkiv National University of Radio Electronics*, Kharkiv, Ukraine, 120 p., 2021. DOI: 10.30837/978-966-659-294-4.

V.I. VOLYNETS, N.V. KOMENDA, M.V. ROMANIUK, I.O. BANDURA, A.V. HADAI
Lutsk National Technical University

Ranking of electrotechnical complexes of coal mines by energy efficiency. The purpose of the article is to improve the quality of the assessment of the efficiency of electricity consumption by electrotechnical complexes of coal mines due to the use of a multidimensional comparison with the application of various ranking rules. The study is devoted to the development of the organization of the assessment of the level of energy efficiency of electrotechnical complexes of coal mines.

One of the main components of increasing the level of energy efficiency assessment of coal mines is the implementation of measures regarding the use and implementation of an adequate assessment of the level of their energy use. For this, it is necessary to apply such an evaluation mechanism that would allow to evaluate and analyze indicators that have an unequal effect on the efficiency of electricity use. It is relevant in this direction to determine the universal rules of the assessment procedure, which cover all the key areas of monitoring the level of energy efficiency using the ranking of coal mines. The result of ranking is a certain number of ratings by which the level of energy efficiency is assessed. Therefore, for research purposes, a procedure for evaluating the energy efficiency of electrotechnical complexes of coal mines is proposed, which is based on a multidimensional comparison of efficiency indicators through ranking according to different rules. At the same time, indicators that have the greatest impact on electricity consumption are taken into account.

The ranks of coal mines according to energy efficiency have been determined. The assessment criteria were specific electricity consumption, mining and production of coal.

It is shown that ranking rules make it possible to determine coal mines that are better or worse in terms of energy efficiency. It is proven that the use of the proposed energy efficiency assessment procedure ensures the reliability of management actions aimed at increasing the level of energy efficiency of the energy consumption system of electrical engineering complexes of coal mines.

Key words: *coal mine, electrotechnical complexes, energy efficiency, ranking.*