

УДК 621.311

## ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЕВИХ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ ПОКРИТТЯ БАЛАНСУ СПОЖИВАЧА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

*А. Є. Андрєєв, студент магістратури*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут»*

*e-mail: [alexandr210993@gmail.com](mailto:alexandr210993@gmail.com)*

**Анотація.** Досліджено перспективи впровадження паливних елементів у споживачів в Україні. Для оцінки можливостей і перспектив споживачів у розрізі використання паливних елементів використано кластерний аналіз. На підставі зібраних статистичних даних розраховано інтегральний показник для кожного споживача, за допомогою якого згруповано споживачів з подібними характеристиками в окремі кластери.

**Ключові слова:** *графік електричних навантажень, паливний елемент, групи споживачів, інтегральний показник, кластер*

Паливні елементи – сучасні джерела живлення, які базуються на перетворенні хімічної енергії у електричну. Для стаціонарної енергетики найбільший інтерес представляють фосфорні паливні елементи, паливні елементи з розчиненими карбонатами та твердо оксидні паливні елементи. Вони характеризуються високими робочими температурами та значним часом виходу на номінальний режим роботи. Беручи до уваги те, що паливні елементи мають великий строк роботи та, як зазначено вище, слабкі регулювальні характеристики, можна використовувати їх для покриття базової частини навантаження.

Для забезпечення надійного і якісного електропостачання в будь-який момент часу в енергосистемі повинен підтримуватись баланс попиту споживачів на електричну потужність (електричну енергію, яка споживається приладами споживачів) та генеруючих потужностей, що знаходяться в роботі.

Через нерозривність процесу електропостачання й електроспоживання енергосистема змушена покривати графік навантаження споживача з усіма його нерівномірностями.

Актуальним питанням є проведення аналізу можливості використання паливних елементів залежно від режимних характеристик споживача.

**Мета досліджень** – аналіз можливості використання водневих паливних елементів для різних груп споживачів електричної енергії.

**Матеріали та методика досліджень.** На першому етапі вирішення завдань дослідження необхідним є формування груп споживачів, для яких можуть бути запропоновані різні види паливних елементів.

Ефективне проведення розподілу споживачів за групами дає можливість:

- врахування специфіки споживачів різних груп при використанні альтернативних джерел енергії на основі паливних елементів;
- забезпечення процесу більш детального дослідження споживачів в рамках однієї групи у розрізі заданого питання;
- збільшення ефективності передачі і розподілу електричної енергії;
- зменшення дефіциту генеруючих потужностей тощо.

Для дослідження груп споживачів електричної енергії сформуємо таку послідовність дій:

- визначення показників для проведення аналізу;
- визначення математичного апарату;
- проаналізувати отримані дані;
- визначення найбільш доцільних альтернативних джерел живлення на основі паливних елементів для груп споживачів.

Для проведення аналізу груп споживачів, які сформовано за галузевим аспектом, було використано кластерний аналіз, оскільки ці методи неодноразово використовувалися для вирішення задач, пов'язаних з підвищенням рівня ефективності проведення енергетичного моніторингу і аналізування ефективності використання енергоресурсів [1].

Метою використання методів кластерного аналізу є дослідження груп споживачів електричної енергії шляхом формування однотипних груп, для яких можна визначити потенціал регулювання навантаженням за допомогою використання альтернативних джерел енергії на основі паливних елементів та сформувані підходи щодо використання певних видів паливних елементів.

Методи кластерного аналізу дозволяють вирішувати такі задачі [2]:

- розбиття вихідної сукупності груп споживачів на порівняно невелику кількість областей групування (кластерів) так, щоб елементи одного кластера були максимально подібними між собою;
- виявлення структури сукупності досліджуваних груп споживачів;
- визначення природного розшарування вихідних груп на чітко виражені кластери, які розташовані на деякій відстані один від одного, і які розпадаються на так само віддалені одна від одної частини.

Виконавши всі етапи алгоритму ієрархічного кластерного аналізу та побудувавши дендрограму для наочних результатів, можна буде сміливо сформувані відповідні кластери груп споживачів в залежності від етапу кластеризації.

Отже перейдемо до проведення дослідження, яке пропонуємо провести з використанням трьох показників, розрахованими за результатами режимних вимірів споживання електричної енергії за літній та зимовий дні 2015 року.

Для оцінки споживачів за їх можливістю використовувати паливні елементи потрібно врахувати їх багатогранну структуру, а також специфіку кожної з його складових. Слід в першу чергу звернути увагу на:

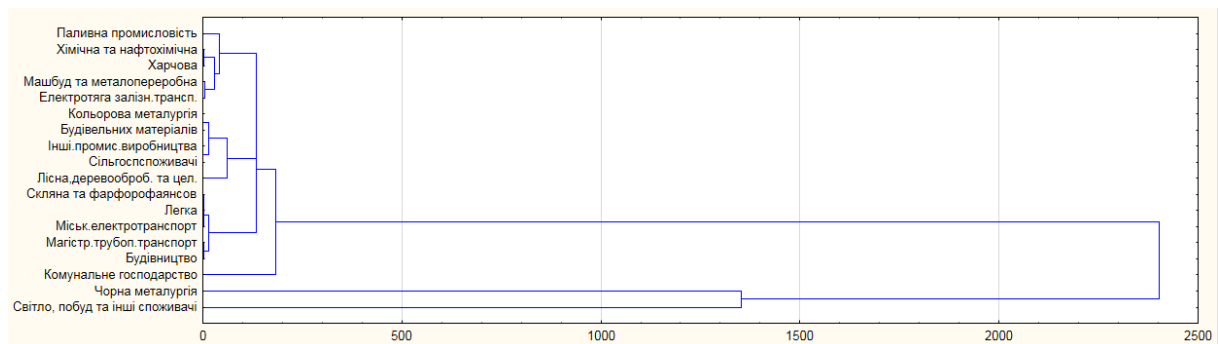
- добове споживання електричної енергії, кВт·год;
- мінімальне навантаження споживачів протягом доби, кВт;
- коефіцієнт нерівномірності добового графіку електричних навантажень.

Ці показники дозволять виявити групи споживачів з однорідним характером споживання потужності, для яких можна буде вибрати відповідний паливний елемент. Оскільки паливні елементи, які доцільно використовувати як енергоустановки великої потужності, мають досить невеликий маневровий

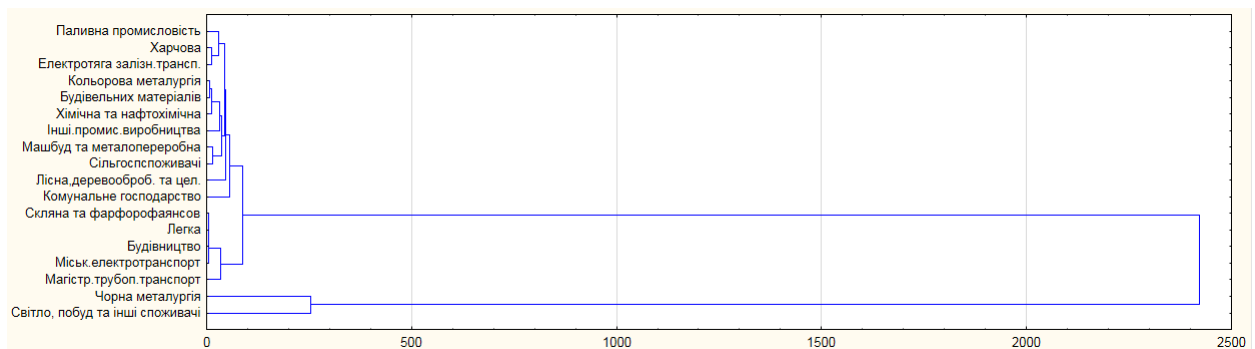
потенціал і їх пропонується використовувати для покриття базового навантаження, як елемент гібридної системи, сформованої для споживача.

**Результати досліджень.** Кластеризацію будемо здійснювати в програмі STATISTIKA трьома методами: об'єднання (деревовидна кластеризація), кластеризація методом К– середніх, двуходове об'єднання. Оскільки отримані результати за кожним з методів збігаються, результати розрахунків представлені для деревовидної кластеризації. У прогамі STATISTIKA можливе використання різних мір схожості і міри відстаней. На рисунках 1, 2 наведені результати розрахунку кластеризації для режимних днів 16.12.2015 р та 17.06.2015 р. При цьому встановлено обмеження при формуванні груп до трьох, враховуючи наявність трьох видів паливних елементів, а також особливостей споживачів щодо формування графіків електричних навантажень.

Дані по цих показниках [3] послужили основою для проведення обчислень.



**Рис.1. Результати кластеризації груп споживачів за характеристиками графіку електричних навантажень у режимний день 16.12.2015 року**



**Рис.2. Результати кластеризації груп споживачів за характеристиками графіку електричних навантажень у режимний день 17.06.2015 року**

Розглянувши результати кластерного аналізу, можна сформувати такі групи (таблиця 1).

### 1. Групи споживачів електричної енергії

Номер групи	Споживачі
I	Чорна металургія
II	Світло, побут та інші споживачі
III	Паливна промисловість, кольорова металургія, хімічна та нафтохімічна, машбуд та металопереробна, лісна, деревооброб. та цел., будівельних матеріалів, скляна та фарфорофаянсов, легка, харчова, інші пром. виробництва, сільгоспспоживачі, електротяговий транспорт, міський електротранспорт, магістральний трубопровідний транспорт, будівництво, комунальне господарство

Перша група складається з одного споживача, який є компенсатором, а друга група складається зі споживача «пікового».

Проаналізувавши результати проведення кластеризації, вирішено дослідити групи за узагальненим (інтегральним) індикатором споживання електричної енергії для перевірки результатів кластеризації. Отже, кожену групу споживачів можна охарактеризувати певними значеннями, потім інтерпретувати як деяку точку, координатами якої є величини  $z_{ij}$ ,  $j=1,2,3,\dots,n$ . Далі визначимо координати точки  $P_0 \Rightarrow \max(\min)$ , яку називатимемо еталоном і відповідно до алгоритму, представленого авторами [4], проведемо обчислення.

Оскільки всі складові мають різні одиниці вимірювання, ми їх стандартизуємо, нормалізувавши за середнім квадратичним відхиленням, тобто за формулою:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{S_j}$$
$$\bar{x}_j = \frac{1}{m} \sum_1^m x_{ij}, \quad S_j = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_1^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}$$

Внаслідок стандартизації показників отримаємо матрицю розміром  $m \times n$  нормованих значень спостережень. Тоді кожного споживача можна

інтерпретувати як деяку точку  $P_i$  в  $n$  – вимірному векторному просторі, координатами якої є величини  $z_{ij}$ ,  $j=1,2,\dots,n$ .

## 2. Нормовані значення для режимних днів 2015 року

Групи споживачів	Режимний день 17.06.2015			Режимний день 16.12.2015		
	Обсяг споживання ел.ен.	Коефіцієнт нерівномірності	Базове навант.	Обсяг споживання ел.ен.	Коефіцієнт нерівномірності	Базове навант.
Паливна промисловість	-0,22	0,71	-0,19	-0,19	0,89	-0,15
Чорна металургія	1,86	0,88	2,58	1,47	0,99	2,08
Кольорова металургія	-0,33	0,89	-0,32	-0,35	0,96	-0,34
Хімічна та нафтохімічна	-0,32	0,84	-0,29	-0,25	1,00	-0,21
Машбуд та металопереробна	-0,16	-1,30	-0,24	-0,11	-1,33	-0,18
Лісна, деревооброб. та цел.	-0,39	0,28	-0,40	-0,38	0,35	-0,40
Будівельних матеріалів	-0,32	0,36	-0,31	-0,34	0,38	-0,35
Скляна та фарфорофаянсов	-0,51	1,07	-0,54	-0,49	1,02	-0,53
Легка	-0,50	-1,42	-0,55	-0,47	-1,32	-0,53
Харчова	-0,19	0,25	-0,16	-0,23	0,30	-0,22
Інші промис. виробництва	-0,34	-0,10	-0,35	-0,31	-0,08	-0,33
Сільгоспспоживачі	-0,26	0,27	-0,25	-0,32	0,17	-0,33
Електротяга залізн. трансп.	-0,19	0,56	-0,15	-0,22	0,70	-0,19
Міськ. електротранспорт	-0,46	-2,44	-0,55	-0,43	-2,45	-0,53
Магістр. трубоп. транспорт	-0,48	0,88	-0,50	-0,47	-0,21	-0,51
Будівництво	-0,49	-1,10	-0,54	-0,46	-0,93	-0,52
Комунальне господарство	-0,12	0,23	-0,08	-0,04	0,44	0,01
Світло, побуд та інші споживачі	3,40	-0,84	2,85	3,60	-0,87	3,24

Далі визначаємо координати точки  $P_0 = (z_{01}, z_{02}, \dots, z_{0n})$ , яку називають еталоном (найбільше значення за кожною з ознак, коли ця ознака є стимулятором, і найменше значення, коли ознака є дестимулятором) і знаходимо відстань від точки  $P_i$  до точки  $P_0$  за формулою

$$d_{j0} = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_1^m (z_{ij} - z_{0j})^2}$$

Розрахунок функції переваги індексу здійснений за наступною формулою

$$f(x_i) = 1 - \frac{d_{i0}}{d_0}$$

$$d_0 = \bar{d} + aS_d, \quad \bar{d} = \frac{1}{m} \sum_1^m d_{i0}, \quad S_d = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_1^m (d_{i0} - \bar{d})^2}$$

Згідно з цією моделлю обчислення функції переваги (індекс в ідеалі дорівнює 1), чим значення для функції переваги  $f(x_i)$   $i$ -го споживача ближче до 1, тим індекс в його межах є вищим. Отримані значення індексу подано в наступному рисунку



**Рис.3. Оцінка інтегрального показника споживачів у режимні дні 2015 року**

Аналізуючи отримані дані, можна прийти до висновку, що доволі велика кількість споживачів має приблизно однаковий індекс, виключення складає лише група освітлення та чорна металургія. Таким чином, можна сформулювати 3

групи, які будуть аналогічними за складом до тих, що отримані за допомогою кластерного аналізу (таблиця 3).

Враховуючи існуючі статистичні дані, за якими проведено дослідження в розрізі груп споживачів з використанням математико-статистичних методів, можна розподілити споживачів за рівнем регулювання навантаженням.

### **3. Використання паливних елементів у споживачів електричної енергії з урахування їх характеристик графіків електричних навантажень**

Номер групи споживачів згідно кластеризації	Загальна характеристика	Запропонований паливний елемент	Примітка
I	Значна потужність, невелика кількість споживачів	Твердооксидний паливний елемент (ТОПЕ)	ТОПЕ мають установки високої потужності (до 10 МВт), але слабо регульовані через значний час виходу на номінальну потужність
II	Значна потужність, велика кількість споживачів з малим одиничним навантаженням	ТОПЕ, Фосфорнокислотні паливні елементи, ФКПЕ	ФКПЕ можна використовувати у побутовому секторі через великий діапазон потужностей, на які виробляються паливні елементи
III	Різноманітні споживачі, які характеризуються значно меншим споживанням, а ніж I, II групи	ТОПЕ, ФКПЕ, паливні елементи з розплавленими карбонатами (РКПЕ)	РКПЕ має найменші установки серед інших паливних елементів та невелику потужність (до 1 МВт)

### **Висновки**

За результатами проведених досліджень розподілено паливні елементи серед споживачів електричної енергії.



Доведено, що використання запропонованого підходу щодо дослідження споживачів дозволить ефективно впроваджувати методи управління електроспоживанням на основі сучасних альтернативних джерел енергії.

Для підвищення ефективності формування груп споживачів необхідно використовувати додаткові показники щодо надійності.

### **Список літератури**

1. Савчук Т.О. Використання кластерного аналізу для вирішення задач цільового маркетингу / Т.О. Савчук, Р.А. Луженецький // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2011. – №2. – С. 144-148.

2. Гражевська Н. Використання методів кластерного аналізу при багатовимірній періодизації та типологізації в дослідженні закономірностей глобалізації країн світу / Н. Гражевська, Н. Ковтун // Вісник Київського національного університету ім. Т.Г. Шевченка. Економіка. – 117/2010. – С. 4-5.

3. Річний огляд діяльності Держенергонагляду за 2015 рік. – Режим доступу:

[http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/officialcategory?cat\\_id=165379](http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/officialcategory?cat_id=165379)

4. Лукань Л. Застосування кластерного аналізу для оцінки розвитку малого підприємництва в регіонах України / Л. Лукань, Г. Цегелик // Формування ринкової економіки в Україні. – 2009. – Вип. 19. – С. 73–80.

### **АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ У ПОТРЕБИТЕЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

*А. Е. Андреев*

**Аннотация.** Исследованы перспективы внедрения топливных элементов у потребителей Украины. Для оценки возможностей и перспектив потребителей в разрезе использования топливных элементов использован кластерный анализ. На основании собранных статистических данных рассчитан интегральный

показатель для каждого потребителя, с помощью которого сгруппированы потребители с похожими характеристиками в отдельные кластеры.

**Ключевые слова.** *график электрических нагрузок, топливный элемент, группы потребителей, интегральный показатель, кластер*

## **ANALYSIS OF ELECTRICITY CONSUMER'S USE OF HYDROGEN FUEL CELLS**

*O. Andreyev*

**Annotation.** The research of opportunities of consumer's use of fuel cells. Cluster analysis was used for opportunity assessment of consumers. Integral indicator was calculated on the basis of statistical data and consumers were grouped.

**Keywords:** *schedule of electrical loads, fuel cell, consumer's group, integral indicator, cluster*