

введення гофрованих вставок «незагромаджуючого» типу дозволяє інтенсифікувати теплообмін до 1,6 разів. На основі двох введених безрозмірних параметрів (довжини хвилі $k_1=l/R$ та амплітуди гофрованої поверхні $k_3=2a/R$) виконано аналіз структури вихрової течії в трубі та механізмів теплообмінних процесів на її поверхні. Показано взаємозв'язок цих параметрів із визначальним числом Рейнольдса Re_d та довжиною початкової ділянки труби. Проведено порівняльний аналіз короткохвильового та довгохвильового гофрування. Визначено необхідну кількість хвиль, в залежності від їх довжини, для встановлення автотермічного режиму течії. Зроблено рекомендації щодо моделювання термічних та гідравлічних процесів в залежності від геометрії структурованої поверхні. Винайдено значення параметрів k_1 , k_3 в розглянутому діапазоні чисел Рейнольдса Re_d , за яких значення перепаду тиску в гофрованій трубі мінімально перевищує значення перепаду тиску в гладкій трубі, а теплообмін максимальний в порівнянні з гладкою трубою. Отримані значення перепаду тиску в трубі з гофрованою вставкою не перевищують значення в гладкій трубі більш, ніж на 4%, що дозволяє визначити енергоефективність труб з незагромаджуючим гофром тільки за значеннями чисел Нуссельта.

Ключові слова: течія в трубі, інтенсифікація тепловіддачі, гідравлічний опір, структура течії, завихреність потоку, незагромаджуючий гофр.

Надійшла 10.10.2018

Received 10.10.2018

УДК 620:311

В.П. Розен, д.т.н., проф., ORCID 0000-0002-0440-4251

М.О. Реуцький, канд. техн. наук, доцент,

Я.М. Демчик, аспірант

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДА ГОЛОВНИХ КОМПОНЕНТ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ГОЛОВНИХ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ВЕЛИЧИНУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

В статті описано застосування методу головних компонент для визначення факторів які впливають найбільше на величину електричного навантаження. Результати статті можна використати для визначення головних факторів для формування моделі аналізу та прогнозування електричних навантажень об'єктів енергоринку.

Ключові слова: факторний аналіз, метод головних компонент, система електроспоживання, графік електричних навантажень.

Вступ. Суттєвий вплив на режим електроспоживання має велика кількість факторів, що формують конфігурацію графіків електричних навантажень (ГЕН) споживачів енергосистеми визначається факторами нестійкості навантаження: фізичного характеру температурою зовнішнього повітря, атмосферними опадами: сніг, хмарність, швидкість вітру, вологість тощо. Зміна конфігурації графіків навантаження можуть мати статистичний та динамічний характер. Статистичними змінами навантаження ми будемо називати повторюючі добові та річні зміни навантаження, що відбуваються при незмінному складі споживачів і незмінному режимі споживання ними енергії. Динамічні зміни навантаження обумовлюються відповідними змінами складу споживачів, наприклад, включення нових споживачів і режиму споживання ними енергії, наприклад, зміна в технологічних процесах виробництва [1, 10]. Доцільно для статистичного оцінювання факторів впливу на ГЕН енергосистеми застосовувати методи статистичного аналізу, зокрема метод головних компонент (МГК). Довгий час МГК розглядався багатьма авторами як один з різновидів метода факторного аналізу. Для факторного аналізу розуміється спосіб проведення множини безпосередньо спостережуваних ознак до меншого числа невидимих, але об'єктивно існуючих факторів. Вперше метод був розроблений К. Пірсоном, потім розвинутий, допрацьований, описаний і обґрунтований в роботах Г. Хотеллінга, Г. Хармана, С. Рао, П. Андруковича, С. А. Айвазяна, В.С. Мхитаряна [5, 7].

Постановка завдання. Зменшення інформації, що впливає на формування режиму електроспоживання об'єктів енергоринку шляхом використання методу головних компонент та виявлення спільних узагальнюючих ознак.

Аналіз досліджень і публікацій. Основні ідеї методу головних компонентів знайшли своє відображення у працях С. Барта, К. Пірсона, Г. Томсона, Д. Гарнета, К. Хользінгера, Г. Голелінга [4-7]. Метод головних компонент в більшості застосовувався під час вирішення економічних задач підприємств. В статті [2] розглядалося питання застосування МГК для оцінювання конкурентоспроможності підприємства. Доведено, що під час застосування МГК можна побудувати новий інтегральний метод оцінки, який буде звільнений від суб'єктивної оцінки, спиратися на велику кількість факторів, а також буде математично обґрунтований [2]. В статті [3] викладено теоретичні аспекти оцінювання фінансового стану підприємства та його динаміки з використання факторного аналізу та зокрема МГК. Використання методу головних компонент дозволяє пояснити велику кількість ознак невеликою кількістю ознак невеликою кількістю компонент.

В області енергетики метод застосовувався для вирішення задач енергетичної безпеки та оцінювання режимів електроспоживання [8]. Використання методу дозволило ефективно аналізувати дані електроспоживання об'єктів.

Мета та завдання дослідження є зменшення інформації, що впливає на формування режиму електроспоживання об'єктів енергоринку шляхом використання методу головних компонент та виявлення спільних узагальнюючих ознак.

Викладення матеріалу та результати. Режим електроспоживання є відкритою системою на яку здійснює позитивний чи негативний вплив низки факторів. Для дослідження тенденцій режиму електроспоживання об'єктів енергоринку необхідно виділити домінуючі фактори впливу на графіки електричного навантаження і також визначити причинно-наслідкові зв'язки між ними. Деякі із цих факторів можуть бути спільними і їх доцільно об'єднувати в одну головну компоненту. Це дозволить зменшити об'єм статистичних даних, які будуть включати в себе основну факторів та визначити структуру ГЕН. Найменш впливові складові ГЕН, які не входять до основної частини і не роблять внеску в кореляційний зв'язок між ознаками. Спільні фактори, кількість яких є меншою за число досліджуваних факторів, роблять внесок у матрицю парних кореляцій.

Під час аналізу факторів, що впливають на конфігурацію ГЕН використовувався МГК алгоритм якого має вид:

Етап 1. Формування матриці вихідних даних, яка інтерпретується як реалізація n -мірного випадкового вектору (кількість експертів) при N спостережень. Рядок це погодинні показники електричних навантажень та погодинні показники метеоданих періодичністю кожних 3 години. Стовбець є метеофактори (швидкість вітру, атмосферний тиск, температура, ...) та електричне навантаження за період одного місяця

$$Y_n = \begin{bmatrix} y_{11} & \dots & y_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ y_{m1} & \dots & y_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Етап 2. На цьому етапі властивості даного випадкового вектору з достатньою точністю описуються вектором математичних сподівань

$$Y = (y_1 \dots y_n) \quad (2)$$

та кореляційною матрицею метеоданих та електричних навантажень,

$$K_{[n]} = \|k_{ij}\|_n^n \quad (3)$$

або матрицею коефіцієнтів кореляцій

$$R_{[n]} = \|r_{ij}\|_n^n \quad (4)$$

де $r_{ij} = k_{ij} / \sigma_i \sigma_j$ – коефіцієнт кореляції між i -м та j -м фактором.

Етап 3. Параметри кореляційної матриці перед обчисленням нормуються:

$$z_{ij} = y_{ij} - y_{cpi} / \sigma_i, i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, n, ; \quad (5)$$

де y_{ij} – значення випадкової величини з матриці метеоданих та електричних навантажень;

y_{cpi} – середнє значення випадкової величини y_{ij} – за результатами N спостережень;

σ_i – середнє квадратичне відхилення;

Середнє значення випадкової величини визначається за виразом:

$$y_{cpi} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_{ij} \quad (6)$$

а середнє квадратичне відхилення

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_{ij} - y_{cpi})^2}{N - 1}} \quad (7)$$

Етап 4. Представлення результатів спостережень у формі:

$$Z_{[N,n]} = \|z_{ij}\|_N^n \quad (8)$$

Етап 5 Розрахунок побудований на відомій процедурі обчислення головних компонент, яка в подальшому деяким чином модифікується для отримання інваріантного тривимірного зображення.

Аналіз базується на статистичних даних графіків електричних навантажень об'єкта енергетичного ринку та метеорологічних даних в період з 01.01.2011р. по 31.01.2011р. (табл. 1).

Таблиця 1– Статистичні дані графіків електричних навантажень за січень 2011 року об'єкта енергетичного ринку

Дата	Потужність кВт*год	Температура °C	Вологість %	Атм. Тиск мм.рт.ст	Напрямок вітру	Вітер м/с	Хмарність, %
01.01.2011 2:00	291088	-4,0	730,5	91	8	5	100
01.01.2011 5:00	258217	-3,8	730,0	94	7	4	100
01.01.2011 8:00	255925	-3,5	729,4	96	6	5	100
...
31.01.2011 14:00	356473	-3,5	736,0	77	8	6	90
31.01.2011 17:00	394003	-4,4	736,4	80	8	5	90
31.01.2011 20:00	376192	-4,8	737,1	83	8	2	90
31.01.2011 23:00	298830	-6,0	737,6	82	8	3	90

Розглянемо результати першого кроку алгоритму, які здійснюються на основі вихідних даних кореляційної матриці, і відображають тісноту зв'язку між відібраними електричними навантаженнями (табл. 2).

Обчислення проводилися за допомогою стандартного модуля *Factor Analysis*, запропонованого пакетом *STATISTICA* [4].

Таблиця 2 – Кореляційна матриця факторів впливу

Показники	Фактори впливу						
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
X1	1,00	-0,03	0,06	-0,08	0,02	-0,03	-0,03
X2	-0,03	1,00	-0,09	0,33	0,09	0,17	0,49
X3	0,06	-0,09	1,00	0,14	-0,07	-0,18	-0,10
X4	-0,08	0,33	0,14	1,00	-0,27	-0,09	0,37
X5	0,02	0,09	-0,07	-0,27	1,00	0,29	-0,06
X6	-0,03	0,17	-0,18	-0,09	0,29	1,00	0,18
X7	-0,03	0,49	-0,10	0,37	-0,06	0,18	1,00

Коректний розв'язок задач за допомогою методу головних компонент передбачає підтвердження значимості вихідної матриці парних кореляцій (коваріацій) та достатньої кількості узагальнених факторних ознак під час аналізуванні. Подальший розрахунок спирається на відому процедуру обчислення головних компонент, яка в подальшому деяким чином модифікується для отримання інваріантного тривимірного зображення.

Рациональну кількість головних компонент дозволяє вибрати критерій відсіювання (*scree-test*), який був розроблений Каттеллом (*Cattell*) [9]. Послідовність виділення головних компонент доцільно представити у вигляді графіка «кам'янистого осипу» (рис. 3), який вказує на доцільність формування трьох головних факторів.

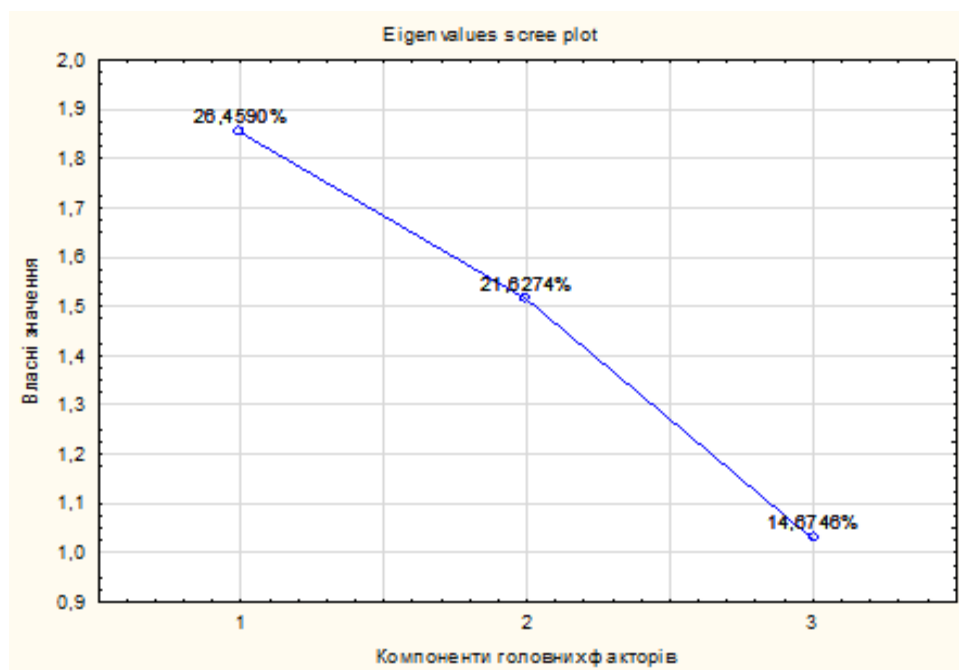


Рисунок 1 – Графік «кам'янистого осипу» факторів впливу

Формування головних компонент із сукупності результатів спостережень зводиться до аналізування матриці кореляційних моментів та обчислення власних чисел та власних векторів цієї матриці.

Результати застосування методу головних компонент представляються даними матриці факторних навантажень (табл. 3). Коефіцієнти цієї матриці a_{ij} дозволяють провести чисельно-формальне пояснення коефіцієнтів кореляції, а це дає нам можливість припускати, що за кореляціями стоїть фактор, який міг би причинно обумовлювати ці кореляції.

Як видно з матриці факторних навантажень (табл. 3), сформовані три головні компоненти електричних навантажень які описують 92,9% загальної дисперсії.

Таблиця 3 – Матриця факторних навантажень факторів впливу

Показники	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
1	0,139663	-0,012160	-0,860295
2	-0,792239	0,140084	-0,151829
3	0,131207	-0,496460	-0,441066
4	-0,655086	-0,505679	-0,018380
5	0,083596	0,719809	-0,248949
6	-0,275904	0,697946	-0,052525
7	-0,826366	0,025476	-0,062946
Власні числа, λ_j	1,859494	1,527858	1,026732
Вага факторів, %	0,265642	0,218265	0,146676

Перший головний фактор F_1 (26,56% від загальної дисперсії) включає температуру навколишнього середовища та хмарність. Метеодані температура навколишнього середовища та хмарність відображають головне споживання електроенергії.

Другий головний фактор F_2 (21,82% від загальної дисперсії) включає напрямок вітру. Напрямок вітру відображає середнє споживання електроенергії.

Третій головний фактор F_3 (14,66% від загальної дисперсії) включає електричні навантаження.

Графічну візуалізацію приналежності вихідних факторів до певної головної компоненти забезпечує побудова тримірної діаграми факторних навантажень головних компонент (рис. 4).

Дослідження залишків.

Питання дослідження, як змінилася якість даних після перетворення.

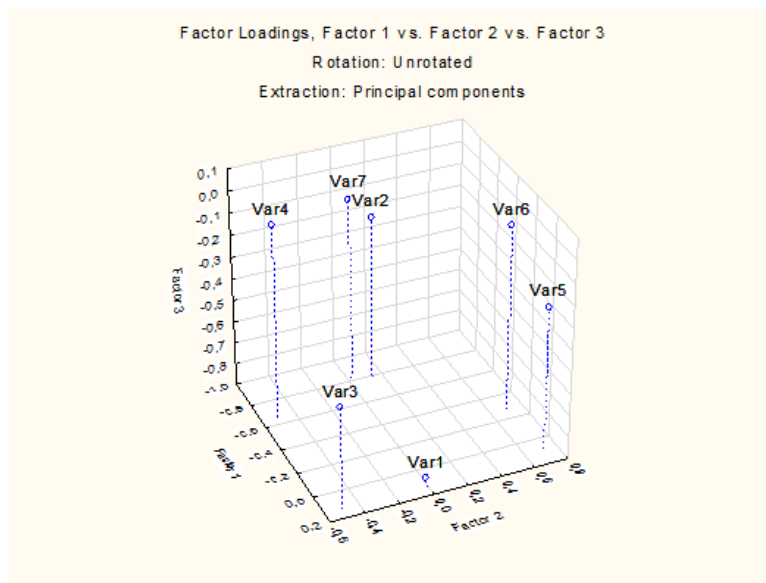


Рисунок 2 – Діаграма факторних навантажень головних компонент

Таблиця 4 – Аналіз остатків факторів впливу

Година Дата	Потужність кВт*год	Температура °C	Вологість %	Атм. Тиск мм.рт.ст	Напрямок вітру	Вітер м/с	Хмарність, %
01.01.2011 2:00	-0,05495	-0,63026	0,01918	0,41797	0,42979	-0,01710	0,31493
01.01.2011 5:00	-0,03737	-0,54484	-0,04493	0,43910	0,50714	-0,14537	0,25949
01.01.2011 8:00	0,07392	-0,63390	-0,12578	0,53265	0,10729	0,31759	0,08483
...
31.01.2011 14:00	-0,39521	-0,07979	0,83196	-0,62264	-0,21530	0,35490	0,49886
31.01.2011 17:00	-0,23153	-0,23192	0,46984	-0,39989	-0,04344	0,11440	0,53262
31.01.2011 20:00	-0,29725	-0,06651	0,36345	-0,38065	0,65434	-0,72951	0,67712
31.01.2011 23:00	-0,69084	-0,24388	1,11935	-0,39048	0,74732	-0,27823	0,77148

Для розрахунку середнє квадратичного відхилення (TRV) і сумарна величина достовірності внесків головних факторів (ERV) можна отримати матрицю остатків E для кожного числа головних компонентів і вираховувати потрібні показники.

Після отримання матриці залишків розраховуємо по кожній складовій середнє квадратичне відхилення

$$v_0 = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I v_i, \quad (9)$$

$$TRV = \frac{v_0}{J}, \quad (10)$$

$$TRV=36,96$$

$$ERV = 1 - \frac{Iv_0}{\sum_{ij} x_{auto}^2}, \quad (11)$$

$$ERV=63,04$$

З результатів дослідження (табл. 5), робимо висновок найбільший вклад в загальний результат графіків електричних навантажень вносить перший головний компонент.

Таблиця 5 – Результати дослідження факторів впливу

№	Особисті значення	% Загальної дисперсії	Кумулятивність загальних значень	Кумулятивність %
1	1,859494	26,56420	1,859494	26,56420
2	1,527858	21,82654	3,387352	48,39074
3	1,026732	14,66760	4,414084	63,05834

Інші компоненти не такі важливі, але для більшої загальної дисперсії приймаємо 3 компоненти в які не входить жоден із складових показників.

Висновки:

Метод МГК дозволив отримати об'єднаний та скорочений об'єм вихідної інформації яка включає в себе головну складову показників які моделюють 63,04% даних, або іншими словами, шум який залишився після проекції залишає 36,96% вихідних даних.

За рахунок методу головних компонент ГЕН розділено на три головних фактори. Перший головний фактор F_1 (26,56% від загальної дисперсії) включає температуру навколишнього середовища та хмарність. Методом дані температура навколишнього середовища та хмарність відображають головне споживання електроенергії.

Другий головний фактор F_2 (21,82% від загальної дисперсії) включає напрямок вітру. Напрямок вітру відображає середнє споживання електроенергії.

Третій головний фактор F_3 (14,66% від загальної дисперсії) включає електричні навантаження.

Виходячи із інтерпретації головних чинників, отримано основні компоненти які впливають на загальний результат електроспоживання. Зокрема, це електричні навантаження, температуру навколишнього середовища, хмарність та напрямок вітру.

Список використаної літератури

1. Розен, В.П. / Застосування методу головних компонент для ідентифікації впливу показників на рівень електроспоживання. Науково-технічний журнал Електротехнічні та комп'ютерні системи. / В.П. Розен, Я.М. Демчик. // Одеса. – 2017. – Випуск 25(10). – С. 199-205.
2. Івахненко, В.М. Курс економічного аналізу. Навчальний посібник / В.М. Івахненко. – 3-тє видання перероблене та доповнене. – Київ: Знання-Прес, 2002. – 190с.
3. Толкачов, Д.О. Застосування методу головних компонент для оцінки конкурентоспроможності підприємства / Д.О. Толкачов. – Донецький національний університет. – Донецьк.
4. Загреба, М.М. Теоретичні аспекти використання факторного аналізу при аналізі динаміки фінансового стану підприємства / М.М. Загреба. – Наукові праці Кіровоградського національного технічного університету. Економічні науки. – Кіровоград, 2014. – 455-461с.
5. Халафян, А.А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных: Учебник / А.А. Халафян [3-е изд.]. – М.: ООО "Бином-Пресс", 2007. – 512 с.
6. Андриенко, В. М. Статистические методы анализа экономических показателей / В. М. Андриенко, М. Г. Самисько [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.rusnauka.com/11_EISN_2008/Economics/30352.doc.htm.
7. Ким, Дж.-О. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / Дж.-О. Ким, Ч.У. Мьюллер, У.Р. Клекка; пер. с англ. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 608с.
8. Янковой, А.Г. Многомерный анализ в системе STATISTICA / А.Г. Янковой. – Вып. 2. – Одесса: Оптимум, 2001.– 216 с.
9. Иберла, К. Факторный анализ [Текст] / К. Иберла. – М.: Статистика, 1980. – 398 с.
10. Лапицкий В.И. Организация и планирование энергетики: Учебник / В.И. Лапицкий. М.: «Высш. Школа», 1975. – 488с.

V. Rozen, Dr. Sci., Professor, ORCID 0000-0002-0440-4251
M. Reutsky, Ph.D., Associate Professor,
Ya. Demchik, graduate student,
National technical university of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

APPLICATION OF THE MAIN COMPONENT METHOD FOR IDENTIFICATION OF MAJOR FACTORS IN INFLUENCE ON EQUITY OF ELECTRICITY

The purpose and objectives of the study are to reduce the information that affects the formation of the regime of electricity consumption of energy market objects by using the method of the main components and identifying common general features. The article describes the application of the method of the main components to determine the factors that affect the most on the magnitude of the electric load. The results of the article can be

used to determine the main factors for forming a model for analysis and prediction of electrical loads of energy market objects.

Key words: factor analysis, principal component method, power consumption system, schedule of electrical loads.

References

1. Rosen, VP / Application of the method of the main components for identifying the impact of indicators on the level of electricity consumption. Scientific and technical journal Electrotechnical and computer systems. / VP Rosen, Ya.M. Democrat // Odessa - 2017. - Issue 25 (10). - P. 199-205.
2. Ivakhnenko, VM The course of economic analysis. Tutorial / VM Ivakhnenko - 3rd edition revised and supplemented. - Kyiv: Knowledge-Press, 2002. - 190s.
3. Tolkachov, D.O. Application of the method of the main components for assessing the competitiveness of the enterprise / D.O. Tolkachev - Donetsk National University. - Donetsk
4. Zagreb, MM Theoretical aspects of the use of factor analysis in the analysis of the dynamics of the financial state of the enterprise / M.M. Zagreb - Scientific works of the Kirovohrad National Technical University. Economic sciences. - Kirovograd :, 2014. - 455-461s.
5. Khalafyan, AA STATISTICA 6. Statistical analysis of data: Textbook / A.A. Khalafyan [3rd ed.]. - M. : OOO "Beinom-Press", 2007. - 512 p.
6. Andrienko, V.M. Statistical methods for the analysis of economic indicators / V. M. Andrienko, M. G. Samysko [Electronic resource]. - Access mode: http://www.rusnauka.com/11_EISN_2008/Economics/30352.doc.htm.
7. Kim, J.-O. Factor, discriminant and cluster analysis / J.-O. Kim, Ch.U. Mueller, U.R. Cleck per. from english - Moscow: Finance and Statistics, 1989 - 608s.
8. Yankova, AG Multi-dimensional analysis in the STATISTICA / AG system Yankovaya - Extract 2. - Odessa: Optimum, 2001.- 216 p.
9. Iberla, K. Factor Analysis [Text] / K. Iberla. - M. : Statistics, 1980 - 398 p.
10. Lapitsky V.I. Organization and planning of environments: Textbook / VI Lapitsky M. : "Out. School », 1975 - 488s.

Надійшла 19.09.2018

Received 19.09.2018

V. Vasylenko, assistant, ORCID 0000-0001-7282-6459
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

TECHNOCENOLOGICAL APPROACH AND PROBLEM OF ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT

The article considers the problems of efficient use of energy resources and the problems of rational use of energy from energy consumers is justified, because the existing energy saving potential is quite large. The question of application of the technocenological approach for optimal management of energy consumption with the use of rank analysis, which includes procedures of interval estimation, parametric rationing, forecasting and standardization of consumption of resources is considered.

As a mathematical apparatus, a rank analysis is used, which refers to the method of researching the technocenosis of energy consumption, which implies further optimization based on the criteria of the form of hyperbolic H- distributions. The paper presents an algorithm for conducting rank analysis for forecasting power consumption and technocenose optimization. The practical example of technocenose optimization is presented and the rank-parametric distribution of technocenosis is shown on the parameter of electric consumption.

Key words: energy efficiency, technocenosis, rank analysis, optimization of technocenosis.

Introduction

The basis of energy conservation in power systems is the planned implementation of a complex of technical