УДК 621.4

Алгоритм визначення вагових коефіцієнтів локальних критеріїв при проведенні порівняльного аналізу варіантів когенераційних установок

Е. І. Дмитроченкова[1]
[1]к.т.н., доц., Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, elladmitrochenkova@gmail.com,

Анотація. Зношеність основних фондів української теплової енергетики досяг 85...90 %, що призводить до погіршення електропостачання. Віддалені райони отримують електроенергію за графіком, виконується віялове вимкнення споживачів. Тому все більше уваги приділяється малій енергетиці з одночасним виробленням теплової та електричної енергії (когенерації). При розробці та реалізації проектів когенерації важливим є правильний вибір технологічних схем, первинного двигуна та інших технічних рішень. Для цього використовується певний набір показників ефективності роботи когенераційних установок. З кількох варіантів схемних рішень вибір здійснюється на основі порівняльного аналізу цих показників. Однією з можливостей здійснення порівняльного аналізу варіантів когенераційних систем є критеріально-параметричний підхід з урахуванням пріоритетів замовника щодо технічної, економічної, експлуатаційної та екологічної ефективності. З метою вибору варіанту установки запропоновано використовувати вагові коефіцієнти, які визначають вплив кожного окремого критерію на загальний підсумок. Наведена методика розрахунку чисельних значень вагових коефіцієнтів локальних критеріїв у повному та частково ранжируваному рядах з використанням методу спадної арифметичної прогресії. Виконано порівняння результатів при використанні повного та частково ранжируваного рядів. Використання критеріїв з однаковою важливістю дає більше варіантів для аналізу, тобто забезпечує більшу гнучкість методу.

Ключові слова: когенераційна установка, локальний критерій, ваговий коефіцієнт, арифметична прогресія, ранжування

Вступ. Сьогодні житлово-комунальне господарство споживає до 30 % усього річного обсягу паливно-енергетичних ресурсів України. До останнього часу в нашій країні теплота та електрична енергія вироблялись або роздільно на конденсаційних електростанціях (КЕС) і в котельнях, або на теплоелектроцентралях (ТЕЦ) у паротурбінному циклі. Рівень зношеності основних фондів української теплової енергетики досяг 85...90 %. Практично всі блоки ТЕЦ відпрацювали свій проектний ресурс (100 тис. годин) [1]. У зв'язку з цим традиційні централізовані системи тепло- й електропостачання вже не в змозі забезпечувати розрахункове теплове та електричне навантаження великої кількості споживачів. Особливо від цього страждають віддалені райони, де ситуація з енергозабезпеченням критична: електроенергією населені пункти забезпечуються за графіком, спостерігається «віялове» вимкнення споживачів.

Актуальність дослідження. В останні роки спостерігається динамічний розвиток малої енергетики з комбінованим виробництвом теплоти та електричної енергії (когенерації) на базі існуючих опалювальних та промислово-опалювальних котельнь. З часом це стає альтернативою централізації енергопостачання або її доповненням, яке підвищує ефективність і надійність схем тепло- та електропостачання об'єктів різного спрямування.

Подібна динаміка розвитку систем децентралізованого тепло- та електропостачання обумовлена наступними факторами: збільшенням тарифів на електроенергію, старінням обладнання котельнь та електростанцій, високим рівнем втрат електричної енергії та теплоти під час транспортування до споживача, необхідністю підвищення рівня надійності енергозабезпечення споживачів і коефіцієнта використання теплоти палива, як одного з найбільш важливих показників ефективності роботи системи.

Правові, економічні та організаційні засади, які пов'язані з виробництвом, передачею, розподілом і постачанням теплоти та електричної енергії від когенераційних установок (КГУ) визначає Закон України «Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання спадного енергопотенціалу» [2].

Останні дослідження та публікації. Аналіз вітчизняного досвіду реалізації проектів щодо впровадження когенераційних енергосистем свідчить про наявність певних проблем, пов'язаних з економічними та технічними аспектами.

При розробці та реалізації проектів когенерації важливим є правильний вибір технологічних схем, первинного двигуна та інших технічних рішень. Для цього використовується певний набір показників ефективності роботи когенераційних установок [3, 4]. Також у роботі [5] для цього

пропонується використовувати критеріально-параметричний підхід з урахуванням пріоритетів замовника в технічній, економічній, експлуатаційній та екологічній ефективності когенераційної системи. Невирішеним при цьому залишається питання того, яким чином враховується пріоритет замовника при визначенні того чи іншого критерію ефективності роботи КГУ.

Основна частина. Найбільш важливими характеристиками КГУ, за якими можна проводити комплексне порівняння альтернативних варіантів, є:

- технічні;
- економічні;
- експлуатаційні;
- екологічні.

Кожна з зазначених характеристик у своїй структурі має ряд безрозмірних критеріїв, за якими здійснюється оцінювання роботи конкретної установки. Як технічні критерії визначені:

- критерій електричної потужності $K_N^{\text{тех}}$;
- критерій теплової потужності $K_Q^{\text{тех}}$;
- критерій співвідношення електричної потужності та кількості теплоти, яка утилізується $K_\xi^{\text{тех}}$;
- критерій впливу температури зовнішнього повітря на електричну потужність $K_{N(t)}^{\text{тех}}$;
- критерій впливу температури зовнішнього повітря на теплову потужність установки $K_{Q(t)}^{\text{тех}}$;
- критерій залежності електричного ККД від електричного навантаження $K_{\eta(N)}^{\text{тех}}$;
- критерій залежності електричного ККД від температури зовнішнього повітря $K_{\eta(t_{ext})}^{mex}$.

Таким чином, загальний технічний критерій є сумою окремо взятих критеріїв:

$$K^{\text{тех}} = K_N^{\text{тех}} + K_Q^{\text{тех}} + K_\xi^{\text{тех}} + \\ + K_{N(t)}^{\text{тех}} + K_{Q(t)}^{\text{тех}} + K_{\eta(N)}^{\text{тех}} + K_{\eta(t_{ext})}^{\text{тех.}}. \quad (1)$$

Доцільним є визначення впливу кожного окремого критерію на загальну суму. Для цього можуть бути використані вагові коефіцієнти α_i, $i = 1…7$. Тоді рівняння (1) набуде вигляду:

$$K^{\text{тех}} = \alpha_1 K_N^{\text{тех}} + \alpha_2 K_Q^{\text{тех}} + \alpha_3 K_\xi^{\text{тех}} + \\ + \alpha_4 K_t^{\text{тех}} + \alpha_5 K_{\text{р}}^{\text{тех}} + \alpha_6 K_{N(t)}^{\text{тех}} + \alpha_7 K_{\eta(t_{ext})}^{\text{тех.}}. \quad (2)$$

Для вирішення подібної задачі можуть бути використані наступні методи [3]:

- класичний метод парного порівняння;
- метод парного порівняння на основі фіксованої переваги;
- метод арифметичної прогресії;
- метод геометричної прогресії;
- метод послідовного порівняння критеріїв;
- метод базового критерію.

У даному випадку для визначення чисельних значень вагових критеріїв пропонується використовувати метод арифметичної прогресії. Якщо розглядати K^{mex} як інтегральний критерій, то всі складові, які входять до його визначення, є локальними критеріями. У свою чергу, кожний локальний критерій має свій рівень важливості, який розраховується на основі класичного методу парного порівняння [6]. Далі здійснюється ранжування критеріїв відносно рівня їхньої важливості. На практиці має місце як повний, так і частковий порядок ранжування локальних критеріїв, за якого можлива наявність критеріїв, які мають однаковий рівень важливості. Порядок ранжування є основою для розрахунку їхніх вагових коефіцієнтів [7].

У даній статті розглянуті дві методики визначення чисельних значень вагових коефіцієнтів: при повному та при частковому порядках ранжування. При повному порядку ранжування, коли відсутні однакові за своєю важливістю критерії, справедливим є наступний вираз:

$$K_N^{\text{тех.}} > K_Q^{\text{тех.}} > K_\xi^{\text{тех.}} > \\ > K_{N(t)}^{\text{тех.}} > K_{Q(t)}^{\text{тех.}} > K_{\eta(N)}^{\text{тех.}} > K_{\eta(t_{ext})}^{\text{тех.}}, \quad (3)$$

а при частковому порядку ранжування:

$$K_N^{\text{тех.}} > K_Q^{\text{тех.}} > K_\xi^{\text{тех.}} > \\ > K_{N(t)}^{\text{тех.}} = K_{Q(t)}^{\text{тех.}} > K_{\eta(N)}^{\text{тех.}} = K_{\eta(t_{ext})}^{\text{тех.}}. \quad (4)$$

Слід підкреслити, що вибір критеріїв однакової важливості є прерогативою замовника і вираз (4) може змінюватися залежно від конкретної ситуації та обраних пріоритетів.

При визначенні вагових коефіцієнтів повного ранжируваного ряду критеріїв використовується наступне рівняння:

$$\alpha_i = 2\,(n - i + 1)/\big(n(n+1)\big), \quad (5)$$

де n – кількість критеріїв у повному ранжируваному ряді; i – номер критерію в ньому.

У даному випадку $n = 7$, а $i = 1…7$. Тоді $\alpha_1 = 0{,}25$, $\alpha_2 = 0{,}21$, $\alpha_3 = 0{,}18$, $\alpha_4 = 0{,}14$, $\alpha_5 = 0{,}11$,

$\alpha_6 = 0{,}07$, $\alpha_7 = 0{,}04$. Сума отриманих значень вагових коефіцієнтів дорівнює одиниці.

На рис.1 наведена діаграма ранжування технічних критеріїв при повному порядку ранжування у відсотках.

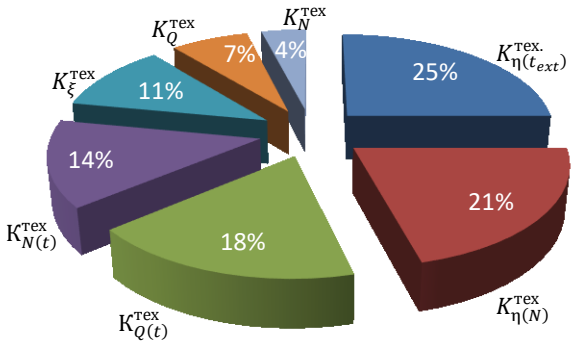

Рис.1. Ранжування технічних критеріїв за значущістю при повному порядку ранжування

Критерії, які мають однаковий ступінь важливості, називаються зв'язаними. Для розрахунку вагових критеріїв частково ранжируваного ряду використовується наступний алгоритм:

- весь набір ряду критеріїв розбивається на групи важливості, які мають однакові вагові коефіцієнти;
- вагові коефіцієнти критеріїв груп важливості є членами спадної арифметичної прогресії з кроком $\Delta\alpha$.

При розрахунку вагових коефіцієнтів частково ранжируваного ряду повинна виконуватися наступна умова:

$$\sum_{i=1}^{n} \alpha_i = \sum_{j=1}^{g} n_j \alpha_j = 1, \qquad (6)$$

причому:

$$\sum_{j=1}^{g} n_j = n, \qquad (7)$$

де n – кількість локальних критеріїв у порівнянні; g – кількість груп важливості в частково ранжируваному ряді критеріїв; i – номер критерію в ранжируваному ряді; j – номер групи важливості критеріїв; α_i – ваговий коефіцієнт i – го критерію; α_j – ваговий коефіцієнт зв'язаного критерію в складі j-ої групи; n_j – число зв'язаних критеріїв у складі j-ої групи важливості в частково ранжируваному ряді критеріїв.

Ваговий коефіцієнт зв'язаного критерію, який входять до складу j-ої групи важливості, у частково ранжируваному ряді критеріїв визначається з наступного рівняння:

$$\alpha_j = \alpha_n + (g - j)\Delta_\alpha, \qquad (8)$$

Після підстановки виразу (8) до рівняння (6) і проведення ряду перетворень з урахуванням умови (7) рівняння набуває наступного вигляду:

$$n\alpha_n + \sum_{j=1}^{g} n_j (g - j)\Delta_\alpha = 1. \qquad (9)$$

Рівень переваги вагового коефіцієнта найбільш важливого критерію порівняно з найменш важливим критерієм

$$\gamma = \frac{\alpha_1}{\alpha_n}. \qquad (10)$$

Рівняння (9) розв'язується шляхом задавання чисельних значень n, n_j, g та Δ_α з наступним визначенням α_n.

Відповідно до [6]:

$$\Delta_\alpha = 1/\left(\frac{n(g-1)}{\gamma - 1} + \sum_{j=1}^{g} n_j (g - j)\right), \qquad (11)$$

$$\alpha_n = (g - 1)\,\Delta_\alpha/(\gamma - 1). \qquad (12)$$

При використанні наведеної методики для знаходження вагових коефіцієнтів критеріїв, які входять до рівняння (2), вважається, що ваговий коефіцієнт критерію $K_{\eta(N)}^{\text{тех}}$ перевищує ваговий коефіцієнт дев'ятого критерію $K_{\eta(t_{ext})}^{\text{тех.}}$ у три рази. Отже, у даному випадку $\gamma = 3$. Інші члени рівняння (11) мають наступні значення: $n = 7$, $g = 5$.

За рівнянням (11) $\Delta_\alpha = 0{,}04$. Підставляємо отриманий результат до рівняння (10) і отримаємо $\alpha_{6\text{-}7}$=0,08. З використанням рівняння (8) розраховуються всі значення вагових коефіцієнтів: $\alpha_{4\text{-}5} = 0{,}12$, $\alpha_3 = 0{,}16$, $\alpha_2 = 0{,}2$, $\alpha_1 = 0{,}24$. Сума вагових коефіцієнтів всіх критеріїв дорівнює одиниці.

На рис. 2 наведено ранжування технічних критеріїв за значущістю у відсотках. Порівняльний аналіз результатів розрахунку вагових коефіцієнтів технічних критеріїв роботи когенераційних установок, розрахованих за двома методами, наведено в табл. 1.

Результати показують певну різницю між чисельними значеннями відповідних критеріїв, яка набуває свого максимального значення в останнього показника. При іншому розподілі критеріїв з однаковою важливістю отримаємо більше варіантів для аналізу і, як результат, більшу кількість значень загального технічного критерію.

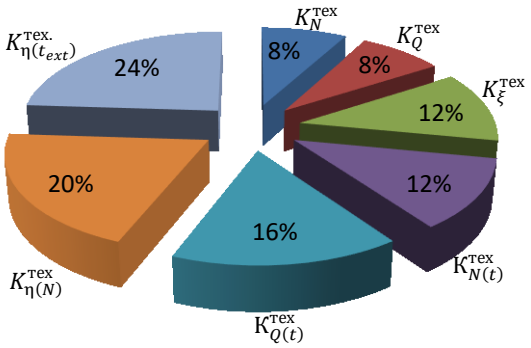

Рис. 2. Ранжування технічних критеріїв за значущістю при частковому порядку ранжування

Таблиця 1.

Вагові коефіцієнти локальних критеріїв при порядках ранжування: повному (№ 1) і частковому (№ 2)

№	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7
1	0,25	0,21	0,18	0,14	0,11	0,07	0,04
2	0,24	0,20	0,16	0,12	0,12	0,08	0,08

Висновки. Ранжування локальних технічних критеріїв, які складають єдиний інтегральний критерій, може бути використане для порівняльної оцінки альтернативних варіантів когенераційних установок і подальшого вибору найкращого з них. Для визначення чисельних значень вагових коефіцієнтів локальних критеріїв запропонований метод спадної арифметичної прогресії, який базується на принципах оцінки переваги критеріїв і взаємозв'язку показників їхньої важливості відносно один одного. При цьому можливо використовувати повний та частковий порядок ранжування. Останній забезпечує більше варіантів для порівняння, тобто надає більше гнучкості процесу вибору найкращого рішення. Запропонована методика може бути використана при аналізі будь-яких критеріальних показників ефективності роботи технічних систем.

Література

1. Халатов А.А. Современное состояние и перспективы использования газотурбинных технологий в тепловой и ядерной єнергетике, металлургии и ЖКХ Украины / А.А. Халатов, К.А. Ющенко // Промышленная теплотехника. – 2012. – Т.34, №6. – с. 30-45.

2. Закон України «Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу» // Відомості Верховної Ради. – 2005. – №20. – с. 278-285.

3. Басок Б. И. Анализ когенерационных установок [Часть I. Классификация и основные показатели] / Б. И. Басок, Е. Т. Базеев, В. М. Диденко // Промышленная теплотехника. – 2006. – Т.28, №3. – с. 83-89.

4. Долинский А. А. Развитие теплоэнергетики Украины с использованием когенерационных технологий / А. А. Долинский, В. Н. Клименко, П. П. Сабашук // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2003. – №1. – с. 10-15.

5. Томаров Г.В. Использование критериально-параметрического подхода при выборе оборудования когенерационных установок в инвестиционных энергетических проектах / Г.В. Томаров, А.А. Шипков, В.А. Буданов // Энергосбережение и водоподготовка. – 2009. - №2. – с. 13-16.

6. Постников В.М. Методы выбора весовых коэффициентов локальных критериев / В.М. Постников, С.Б. Спиридонов // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электронный журнал. – 2015. - №6. – с. 267 – 287. – Режим доступа: http://technomag.edu.ru/jour/issue/view/38/showToc

7. Постников В.М. Выбор весовых коэффициентов локальных критериев на основе принципов арифметической прогрессии / В.М. Постников, С.Б. Спиридонов // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электронный журнал. – 2015. – №9. – с. 237-249. – Режим доступа: http://technomag.edu.ru/jour/issue/view/10/showToc

References

1. Khalatov A. A. "Sjvremennoe sostoianie i perspektivy ispolzovaniia gazotrubnykh tekhnologii v teplovoi i iadernoi energetike, metallurgii i ZHKKH Ukrainy." Promyshlennaia teplotekhnika, vol. 34, no. 6, 2012, pp. 30-45.

2. Pro kombinovane vyrobnytstvo teplovoi ta elektrychnoi energii (kogeneratsiiu) ta vykorystannia skydnogo energopotentsialu. Zakon Ukrainy, 2005.

3. Basok B. I., Bazeev E. T., Didenko V. M. "Analiz kogeneratsionnykh ustanovok, chast I. Klassifikatsiia i osnovnye pokazateli." Promyshlennaia teplotekhnika, vol. 28, no. 3, 2006, pp. 83-89.

4. Dolinskii A. A., Klimenko V. N., Sabashuk P. P. "Razvitie teploenergetiki Ukrainy s ispolzovaniem kogeneratsionnykh tekhnologii."Ekotekhnologii i resursosberezhenie, no.1, 2003, pp. 10-15.

5. Tomarov G. V., Shipkov A. A., Budanov V. A. "Ispolzovanie kriterialno-parametricheskogo podkhoda pri vybore oborudovaniia kogeneratsionnykh ustanovok v investitsionnykh energeticheskikh proektakh." Energosberezhenie i vodopodgotovka, no.2, 2009, pp. 13-16.

6. Posnikov V. M., Spiridonov S. B. "Metody vybora vesovykh koeffitsientov lokalnykh kriteriev" Nauka i obrazovanie. MGTU im. N. E. Baumana: Elektronnyi zhurnal, no. 6, 2015, pp. 267-287, http://technomag.edu.ru/jour/issue/view/38/showToc

7. Postnikov V. M., Spiridonov S. B. "Vybor vesovykh koeffitsientov lokalnykh kriteriev na osnove printsipov arifmeticheskoi progressii" Nauka i obrazovanie. MGTU im. N. E. Baumana: Elektronnyi zhurnal, no. 9, 2015, pp. 237-249, http://technomag.edu.ru/jour/issue/view/10/showToc

УДК 621.4

Алгоритм определения весовых коэффициентов локальных критериев при проведении сравнительного анализа вариантов когенерационных установок

Э. И. Дмитроченкова[1]
[1]к.т.н., доц. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, elladmitrochenkova@gmail.com

Аннотация. Износ основных фондов украинской тепловой энергетики достиг 85...90 %, что приводит к ухудшению электроснабжения. Отдалённые районы получают электроэнергию по графику, выполняется веерное отключение потребителей. Поэтому всё больше внимания уделяется малой энергетике с одновременной выработкой тепловой и электрической энергии (когенерации). При разработке и реализации проектов когенерации важным является правильный выбор технологических схем, первичного двигателя и других технических решений. Для этого используется определённый набор показателей эффективности работы когенерационных установок. Выбор вариантов схемных решений осуществляется по результатам сравнительного анализа этих показателей. Одной из возможностей проведения сравнительного анализа вариантов когенерационных систем является критериально-параметрический подход с учётом приоритетов заказчика в технической, экономической, эксплуатационной и экологической эффективности. С целью его проведения предлагается использовать весовые коэффициенты, которые определяют влияние каждого отдельного критерия на общий результат. Приведена методика расчёта численных значений весовых коэффициентов локальных критериев в полном и частично ранжированном рядах с использованием метода убывающей арифметической прогрессии. Выполнено сравнение результатов при использовании полного и частично ранжированного рядов. Использование критериев с однаковой важностью даёт больше вариантов для анализа, то есть обеспечивает большую гибкость метода.

Ключевые слова: когенерационная установка, локальный критерий, весовой коэффициент, арифметическая прогрессия, ранжирование.

UDC 621.4

Algorithm for Determining the Weight Coefficients of Local Criteria for Comparative Analysis of Several Options of Cogeneration Plants

E.Dmitrochenkova[1]
[1]PhD, Associate Professor. Kiev National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, elladmitrochenkova@gmail.com

Abstract. Wear of the basic facilities of Ukrainian thermal energy reached 85...90 %, which leads to a deterioration of electricity supply. Distant areas receive electricity on schedule; harp switching off consumers is performed. Therefore, more attention is paid to small power generation with simultaneous generation of thermal and electric energy (cogeneration).When designing and implementing cogeneration projects, it is important to choose the right technology system, primary motors, and other technical solutions. For this purpose, a certain set of performance indicators of cogeneration plants is used. Selection of options of schematic solutions is carried out based on the results of a comparative analysis of these indicators. One of the possibilities for comparative analysis between several options of cogeneration systems is a criterial-parametric approach taking into account the customer's priorities in technical, economic, operational and environmental efficiency. For carrying out the selection, it is proposed to use weight coefficients, which determine the influence of each separate criterion on the total. The technique for calculating the numerical values of the weight coefficients of local criteria in full and partially ranked series is presented using the method of decreasing arithmetric progression. Comparison of the results is performed using the full and partially ranked series. The use of criterias with the same importance gives more options for analysis, so, provides greater flexibility of the method.

Keywords: cogeneration unit, local criterion, weighting coefficient, arithmetic progression, ranking

Надійшла до редакції / Received 25.12.2017