

ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА КОМПЛЕКСИ

ENERGY SYSTEMS AND COMPLEXES

УДК 621.311.001

DOI 10.20535/1813-5420.1.2023.275929

В.В. Каплун¹, д-р. техн. наук, проф. ORCID 0000-0001-7040-9344

С.С. Макаревич¹, канд. техн. наук, доцент. ORCID 0000-0002-9601-5156

А.В. Петренко¹, канд. техн. наук, доцент. ORCID 0000-0002-8246-4911

Г.В. Кругляк¹, асистент. ORCID 0000-0003-2634-3856

Є.О. Кулибаба¹, асистент. ORCID 0000-0002-0417-293X

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України

АДАПТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ В ЛОКАЛЬНІЙ МІКРОЕНЕРГЕТИЧНІЙ СИСТЕМІ З ПОЛІГЕНЕРАЦІЄЮ НА ОСНОВІ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ УМОВНОГО ДИНАМІЧНОГО ТАРИФУ

Дана стаття присвячена підвищенню ефективності використання традиційних та відновлюваних джерел в мікроенергетичних системах. Розвиток систем комбінованого електроживлення локальних об'єктів зі стохастичним характером генерації відновлюваних джерел призвів до низки принципових проблем, пов'язаних із відсутністю системи прийняття рішень щодо співвідношення потужностей джерел електроенергії та узгодження їх рівнів генерації з графіком електроспоживання на етапі проектування таких мікромереж. Розвиток мікроенергосистем з полігенерацією зумовлений можливістю технічного та інформаційного забезпечення формування енергетичного балансу локальних об'єктів для мінімізації витрат на їх електрозабезпечення. Шляхом застосування елементів індуктивних системно-аналітичних технологій запропоновано підхід до вирішення проблеми моделювання динамічних сценаріїв енергоменеджменту в локальних мікромережах з полігенерацією на основі визначення вартості електроенергії та адаптивного узгодження графіка електроспоживання в реальному часі. На основі статистичних даних проведено моделювання та одержані добові графіки зміни поточної вартості електроенергії з півгодинною дискретністю обчислення і виконана процедура кластеризації умовного динамічного тарифу. Результати можуть бути застосовані при оцінюванні ціноутворення на електроенергію в системах енергоменеджменту мікромереж або розробленні систем керування «розумними» мережами з відновлюваними джерелами.

Ключові слова: мікромережа з традиційними та відновлюваними джерелами, технологія кластеризації, умовний динамічний тариф, енергоефективність, система енергоменеджменту.

Вступ.

За прогнозами експертів, впродовж наступних 25-30 років майже половина світового споживання енергії буде припадати на локальні мережі з інформаційним забезпеченням систем енергоменеджменту в реальному часі та динамічним управлінням споживанням енергоресурсів [1].

Сучасні мікроенергетичні мережі являють собою автоматизовані системи, які здійснюють власну генерацію, моніторинг та розподіл потоків електричної енергії з урахуванням вимог споживача для досягнення максимальної ефективності енергоспоживання. Інтегрування малопотужних джерел енергії у єдину локальну енергосистему дозволяє радикально змінити відношення і роль споживачів до управління процесами генерації та розподілу електроенергії [2,3]. У випадку дефіциту потужностей локальних джерел, у більшості випадків реалізації таких систем існує можливість оперативного підключення споживачів до загальної електромережі, уникаючи перевантажень та коливань напруги, що суттєво підвищує надійність електрозабезпечення струмоприймачів [4].

Математичний опис таких оптимізаційних алгоритмів в реальному часі є досить складним завданням. Головним чином це обумовлюється нелінійностями при визначенні навантажень, невизначеністю профілів навантаження та стохастичного характеру вхідних параметрів системи і змінних, що описують процес генерації електроенергії в мікроенергосистемах з різнорідними джерелами [5,6].

Ефективність та надійність функціонування локальної мікроенергосистеми (ЛЕС) з полігенерацією базується на пошуку оптимальної структури джерел, які використовують різну первинну енергію для

генерації електроенергії та розподілу потоків електроенергії між директивно визначеними категоріями струмоприймачів. При цьому вимоги користувача закладаються вихідними параметрами: графіком навантаження споживачів, регламентованими показниками якості електричної енергії, визначеними показниками надійності електрозабезпечення, умовами експлуатації ЛЕС тощо. Сьогоднішні сценарії поведінки користувачів (споживачів електроенергії) не завжди містять чітко визначені алгоритми поведінки щодо формування запитів на використання енергії для покриття графіків існуючих навантажень у реальному часі, інвестуючи при цьому різного роду заходи з підвищення енергоефективності [7,8].

Сучасний розвиток інформаційних технологій дозволяє прибрати перепони щодо формулювання та поетапного вирішення однієї з ключових проблем управління енергоефективністю на основі одержаної у реальному часі інформації про електроспоживання та її впливу на поведінку користувача в частині прийняття ним стандартних (унормованих наперед) або онлайн рішень [9,10].

Пропонований підхід розподіленого управління енергетичними ресурсами локального об'єкту (ЛО) може стати частиною інфраструктури нижнього рівня системи Smart Grid шляхом інтеграції автоматизованих систем управління ЛЕС з існуючими ІТ-системами [11].

Мета та завдання.

Використання такої розподіленої архітектури потребує ретельного узгодження як структури, так і процесів, які будуть використовуватись. Відсутність зовнішнього централізованого управління (диспетчеризації), планування та контролю електроспоживання ЛО, а також розподілена система прийняття рішень накладає певні корекції на місцевому рівні, виходячи з сценаріїв користувача. Важливим чинником є узгодження функціонування компонентів системи, формування їх деталізованих індивідуальних профілів з урахуванням функціональних можливостей та взаємодії один з одним, а саме:

- прогнозними оцінюванням стану полігенерації системи. Управління електроспоживанням виявляє особливі чинники, які впливають на досягнення заздалегідь визначеної мети (наприклад, перевищення бюджету), враховуючи при цьому сценарії поведінки користувача;

- наявністю моніторингу та реалізації управління: мережеве вбудоване управління реалізує розподілену систему, орієнтовану на сервіс, насамперед передбачений для Smart Energy, але може використовуватись і для MicroGrid, Smart Home, Smart Building тощо.

Таким чином, дослідження процесів управління енергобалансом мікроенергетичної системи з полігенерацією (з традиційними та відновлюваними джерелами) на основі наявного рівня генерації джерел, включених в структуру енергетичного модуля локального об'єкта, для мінімізації витрат на електрозабезпечення є актуальним.

Науковим завданням даної публікації є теоретичне обґрунтування принципів побудови системи динамічного енергоменеджменту ЛЕС з полігенерацією шляхом управління розподіленими енергетичними ресурсами джерел та узгодження графіка електроспоживання на основі моніторингу поточної вартості електроенергії в реальному часі.

Реалізація такого підходу можлива на основі використання умовного динамічного тарифу (УДТ) як інтегрального показника приведеної поточної вартості електроенергії основного енергетичного модуля локального об'єкта, який формується на основі реальної собівартості електроенергії кожного з джерел у заданому часовому інтервалі [12]. Складність прогнозування УДТ обумовлена наявністю стохастичних складових при формуванні енергетичного балансу ЛЕС з відновлюваними джерелами, розподіленістю її архітектури та багатопараметричними взаємозв'язками між функціональними елементами, які у режимі реального часу можуть змінювати ступінь взаємного впливу.

Матеріал і результати досліджень.

Тут і далі під сценарієм будемо розуміти стан ЛЕС, який характеризує принцип алгоритмізації управління електроспоживанням за наперед визначеними критеріями користувача $\omega = X \equiv \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, або реалізацію автоматичного чи автоматизованого керування за участю користувача у реальному часі. Вважаємо, що поточна вартість електроенергії x_0 (УДТ) для кожного сценарію обчислюється за певною процедурою і є цільовою ознакою при розпізнаванні образів та об'єктивно залежить від факторів X , відома для всіх визначених сценаріїв, які є актуальними з точки зору функціонування системи енергоменеджменту. При цьому ω – певний формалізований показник, який будемо застосовувати далі.

Позначимо поточну ситуацію як $\omega^* = X^* \equiv \{x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*\}$, де вектор $X^* = \{x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*\}$ складається з незалежних факторів $x_i^*, i = 1, \dots, n$, згаданих вище. На відміну від попереднього, для даного моменту (поточної ситуації) значення x_0^* невідоме і його необхідно визначити.

Таким чином, загальний масив вхідних даних у нашій задачі має формалізований вигляд:

$$\omega_{ij} \in \Omega \equiv X = (x_{0j} : x_{ij} \in X), j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n} \quad (1)$$

де, у нашому випадку, x_{0j} характеризує поточну вартість електроенергії; x_{ij} відповідає x_{1j}, x_{2j}, x_{3j} .

Для подальшого розгляду необхідно класифікувати всі об'єкти $k < m, k = 1, \dots, K$ на однорідні групи (приймаємо до розгляду всі вхідні параметри x_1, x_2, x_3) і побудувати вирішальне правило для розпізнавання сценарію та прийняття рішення в реальному часі шляхом ідентифікації детермінованого рівня енергоефективності функціонування ЛЕС на основі оцінювання поточної вартості електроенергії.
Место для уравнения.

Коротко проілюструємо наш підхід до моделювання:

крок 1 - попереднє статистичне дослідження для формування набору значень поточної вартості електроенергії для характерних станів локального об'єкта $\omega_k \in \Omega$;

крок 2 – використання однієї з відомих процедур кластеризації, наприклад [13]. Вибір може визначатися головним чином процедурою усереднення на обраному інтервалі і кластеризацією за допомогою вибраних об'єктів алгоритму $\omega_{ij} \in \Omega, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m$ у множині X .

Формалізуємо границі зміни поточної вартості електроенергії наступним чином:

$$x^{min} \leq x_i \leq x^{max}, \quad (2)$$

де $x(t)$ – поточна вартість електроенергії (УДТ) на обраному часовому інтервалі, яка формує еластичність попиту $g(t)$ як адаптивного узгодження зміни графіка навантаження, в тому числі і за участю користувача і є лінійною до УДТ для будь-якого $t \in [0, T]$. При цьому еластичність попиту при максимальному УДТ x^{max} позначимо через $g(x^{max}, t)$. Будемо вважати, що коли УДТ буде знижений до деякого x_j , то $g(x_j; t)$ можна буде визначити наступним чином:

$$g(x_j; t) = g(x^{max}, t) + (x^{max} - x_j)h,$$

де h – коефіцієнт еластичності зміни попиту на зміну УДТ.

Тоді завдання пошуку оптимального УДТ зводиться до застосування наступного функціоналу:

$$F(x) = x_j \int_0^T g(x^{max}, t) dt + x \int_0^T (x^{max} - x) h dt \rightarrow \min, \quad (3)$$

Позначимо через $I = \int_0^T g(x^{max}, t) dt$ і перепишемо вираз (2), інтегруючи другу складову виразу:

$$F(a) = xI + x \cdot x^{max} hT - x^2 kT.$$

Враховуючи, що в точці екстремуму перша похідна $\frac{dF(a)}{da} = 0$, одержуємо:

$$I + x^{max} hT - 2xhT = 0, \text{ звідки}$$

$$x = \frac{I + x^{max} hT}{2hT}, \quad (4)$$

Оскільки $F'' = -2hT$, враховуючи що $h > 0, T > 0$, приходимо до висновку, що УДТ, заданий формулою (3) дає оптимум функціоналу (2).

Якщо УДТ буде заданий деякою функцією $x_j(t)$, а прогнозований час, при якому $x(t) = const$, то у формалізованому вигляді вирішення може бути записане у вигляді:

$$F(a) = \int_0^T a(t) \cdot g(t, a(t)) dt - b \int_0^T g(t, a(t)) dt \rightarrow \min, \quad (5)$$

де b – базова (усереднена або гранична, визначена користувачем) вартість електричної енергії, при обмеженнях:

$$x(0) + \int_0^t (t') dt \geq \int_0^t g(t', x(t)) dt' \quad \text{при} \quad \forall t \in [0, T]. \quad (6)$$

З точки зору динамічного енергоменеджменту необхідно знати, до якого кластера вартості електроенергії буде належати поточна ситуація з урахуванням значень параметрів, визначених у реальному часі. Під поточною ситуацією розглядається певний півгодинний інтервал часу доби.

Припустимо, що для нового стану системи $\omega_i^* \neq \Omega$ (цей стан не належить до множини Ω) належність кластеру визначається у відповідності до певного ступеня близькості, який можна сформулювати так: об'єкт ω_i^* належить до k -го кластера, $k = 1, \dots, K$, якщо

$$d(\omega_i^*, m_k) < d(\omega_i^*, m_s), \quad k, s = 1, \dots, K, \quad k \neq s \quad (7)$$

і достатній для набору ознак і відповідної кластеризації $S(X)$. Враховуючи, що розрахунок за формулою (7) необхідно проводити тільки на осі цільових значень x_0 , а результуючі центри кластерів з простору R^n проєктувати в простір R^1 , то отримаємо $m_k^0, k = 1, \dots, K$.

Таким чином, на основі рішення, отриманого за допомогою (7), на основі використання результатів попереднього кластерного аналізу $S(X)$ та процедури прогнозування рішень R^n in R^1 із цільового показника x_0^* (УДТ) можна розпізнати для нової ситуації, яка не брала участі в навчанні. Формально це можна записати так:

$$\underset{K}{\text{mind}} \left[(\omega^*, m_k), k = 1, \dots, \frac{K}{S(X)}, R^n \Rightarrow R^1 \right] \rightarrow x_0^* \quad (8)$$

У нашому підході цей критерій точності розпізнавання сценарію розглядається як мінімізація функціоналу:

$$\Delta^2(\Omega_\Delta) = \sum_{\Omega_\Delta} \delta_i^2 \rightarrow \min, \quad (9)$$

$$\delta_i = \begin{cases} 1, & d(\omega^*, m_k) > d(\omega^*, m_s) \\ 0, & d(\omega^*, m_k) < d(\omega^*, m_s) \end{cases}, k, s = 1, \dots, K, s \neq k \quad (10)$$

Таким чином, можна адаптивно застосовувати у системі динамічного енергоменеджменту з відновлюваними джерелами змінну у часі вартість електроенергії, вирішуючи завдання підвищення енергоефективності ЛЕС.

Для узгодження генерації електроенергії від традиційних і відновлюваних джерел, які входять до структури ЛЕС, та наперед заданого добового графіка споживання електроенергії запропонований підхід дозволяє ідентифікувати поточний сценарій в системі динамічного енергоменеджменту, для якого відомі значення $x_i, i = 1, \dots, n$.

Для реалізації обчислювального експерименту обрана структура джерел ЛЕС у складі основної мережі, сонячної електростанції (СЕС) встановленою потужністю 3,0 кВт, вітроелектростанції (ВЕС) встановленою потужністю 7,0 кВт, автономної електростанції з двигуном внутрішнього згорання (АЕДВЗ) встановленою потужністю 3,0 кВт. Сформовані статистичні дані були використані для формування масиву вхідних даних:

x_1 – усереднена вартість кількості електроенергії від СЕС з дискретністю 0,5 год.;

x_2 – усереднена вартість кількості електроенергії від ВЕС з дискретністю 0,5 год.;

x_3 – усереднена вартість кількості електроенергії від АЕДВЗ;

x_4 – усереднена вартість кількості електроенергії від зовнішньої мережі з урахуванням трьох тарифних зон.

Складові формування умовного динамічного тарифу в локальній мікроенергетичній системі впродовж доби з дискретністю 0,5 год представлені у таблиці 1.

Таблиця 1. Складові формування умовного динамічного тарифу в локальній мікроенергетичній системі

Час доби ω_{ij}	Структура усередненої вартості електроенергії ЛЕС у розподілі між джерелами			Вартість електроенергії спожитої із зовнішньої мережі (\$)	УДТ (\$)
	СЕС, (\$)	ВЕС, (\$)	АЕДВЗ, 3 кВт (\$)		
	x_1	x_2	x_3		
0:30	0	0,0161	0,006	0,42	0,0219
1:00	0	0,016	0,006	0,42	0,0224
...
6:30	0,0011	0,0152	0,026	0,42	0,0421
7:00	0,0025	0	0,105	0,42	0,1074
...
11:30	0,037	0,0288	0,032	0,42	0,0976
12:00	0,0368	0,0281	0,012	0,42	0,0765
...
16:30	0,0099	0,0236	0,051	0,42	0,0848
17:00	0,0058	0,0207	0,122	0,42	0,1489
...
22:00	0	0,0067	0,121	0,42	0,1279
22:30	0	0,0138	0,048	0,42	0,0614
...
24:00	0	0,0184	0,005	0,42	0,0236

Добові графіки УДТ в локальній мікроенергетичній системі з СЕС та ВЕС впродовж доби з дискретністю 0,5 год для характерних днів календарного місяця та результати кластеризації УДТ (К1-К4) показані на рис.1. та рис.2 відповідно.

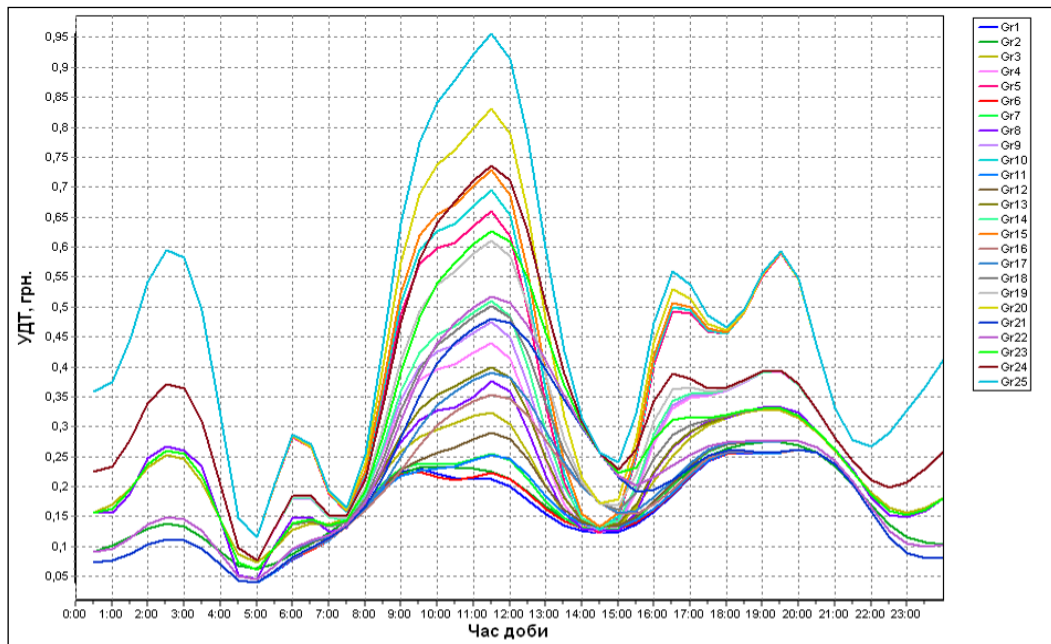


Рис. 1 – Довбі графіки умовного динамічного тарифу для структури ЛЕС з відновлюваними джерелами.

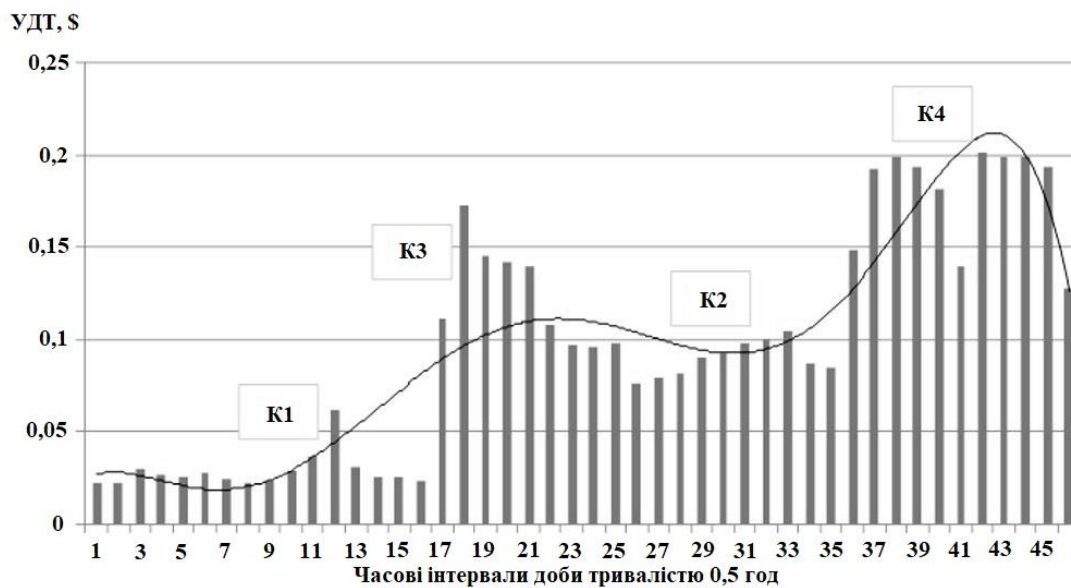


Рис. 2 – Варіант кластеризації усередненої на часовому інтервалі 0,5 год вартості електроенергії, виробленої традиційними та відновлюваними джерелами ЛЕС.

Отримані результати показали, що запропоновані сценарії з використанням цінових кластерів на основі умовного динамічного тарифу дають змогу розробити послідовність реалізації сценаріїв енергетичного менеджменту для підвищення енергоефективності такого роду мікроенергетичних систем (рис.3).

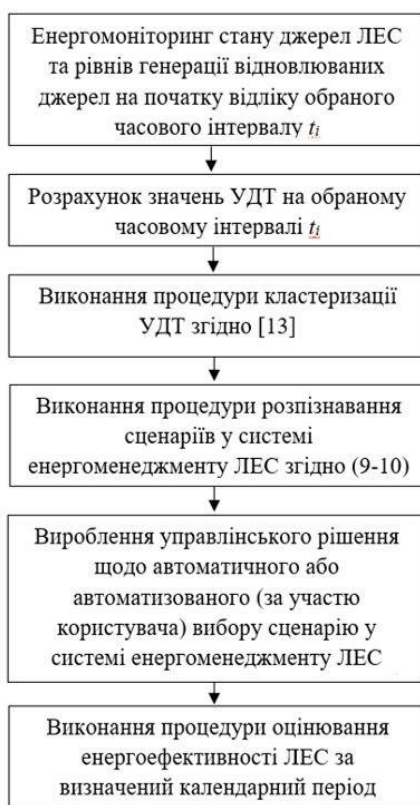


Рис.3 – Діаграма послідовності управління електроспоживанням у системі енергоменеджменту локальної мікроенергосистеми з полігенерацією на основі кластеризації умовного динамічного тарифу.

Зрозуміло, що навіть при детермінованому графіку встановлені ліміти погодинного електроспоживання не співпадатимуть з графіком зміни УДТ. Зазвичай це свідчить про відсутність еластичності попиту до УДТ на інтервалі часу, коли поточна вартість перевищуватиме встановлений для обраного інтервалу часу рівень поточної вартості електроенергії у відповідності до процедури кластеризації.

Рівні генерації відновлюваних джерел мають явну циклічність і стохастичну складову, яка носить як добовий, так і сезонний характер. Наприклад, сезонна циклічність роботи СЕС обумовлена змінною кількістю сонячних днів і інтенсивністю випромінювання, добова - тривалістю світлового дня. Однак, поряд з циклічністю, в процесі зміни потужності сонячного випромінювання присутня випадкова складова, пов'язана з раптовою зміною погоди. Подібні міркування справедливі і для процесу генерації електроенергії вітроенергетичною установкою з тією лише різницею, що відсутня яскраво виражена добова циклічність. Ці чинники безпосередньо впливають на формування УДТ і, відповідно, є ключовими щодо вибору сценарію в системі енергетичного менеджменту при невідповідності встановленого рівня поточної вартості на електроенергію згідно кластеризації. В такому випадку система управління електроспоживанням повинна передбачати автоматичне обрання відповідного сценарію електроспоживання або автоматизоване (за участю користувача) адаптивне коригування рівня електроспоживання (знеструмлення споживачів) на цьому часовому інтервалі.

Висновки

Основними результатами дослідження є розширення функцій системи енергоменеджменту на основі компонентів інформаційного забезпечення про поточну вартість електроенергії у локальній мікроенергосистемі з полігенерацією. Проведений аналіз дає можливість узагальнити досвід створення інтелектуальних систем управління електрозабезпеченням локальних об'єктів у реальному часі.

Використання розробленого підходу дозволяє визначати структуру та пріоритетність функціонування обраного модельного ряду джерел, виявити закономірності складових витрат на електрозабезпечення локального об'єкта з декількома джерелами, що впливають на формування основного критерію оптимізації, встановлювати рівні еластичності показників функціонування мікроенергосистеми до УДТ. Результати моделювання та кластеризації УДТ дозволили визначити основні властивості, критерії оцінювання та межі управління енергоефективністю ЛЕС. Отримані результати показали, що запропоновані сценарії з використанням цінних кластерів на основі загальноприйнятого динамічного тарифу здатні підвищити енергоефективність подібних енергосистем, що працюють у режимі з'єднання із зовнішньою мережею.

Встановлено, що при експлуатації ЛЕС з полігенерацією можуть виникати так звані «флікери», які призводять до значних відхилень УДТ. Такий збурення можуть бути обумовлені ненормальними або аварійними режимами роботи мікроенергетичної системи, надійністю роботи та доступністю окремих джерел, різкою зміною рівнів електроспоживання і т. п. Такі порушення можуть бути викликані відмовами компонентів системи.

Важливим продовженням дослідження є вивчення функціональних зв'язків між традиційними та відновлюваними джерелами за умов невизначеності та нестационарності процесів генерації та споживання електроенергії. Розроблення та реалізація таких моделей дозволить формалізувати підходи щодо побудови інтелектуальних систем енергоменеджменту для управління енергоефективність в реальному часі.

Список використаної літератури.

1. G. E. Asimakopoulou, A. L. Dimeas, and N. D. Hatziargyriou, "Leader- follower strategies for energy management of multimicrogrids", IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 4, no. 4, pp. 1909–1916, 2013.
2. Z. Wang, B. Chen, J. Wang, M. M. Begovic, and C. Chen, "Coordinated energy management of networked microgrids in distribution systems", IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 6, no. 1, pp. 45–53, 2015.
3. A. Werth, N. Kitamura, I. Matsumoto, and K. Tanaka, "Evaluation of centralized and distributed microgrid topologies and comparison to Open Energy Systems (OES)", 15th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), pp. 492–497, IEEE, June 2015.
4. D. Gregoratti and J. Matamoros, "Distributed Energy Trading: The Multiple-Microgrid Case", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 62, no. 4, pp. 2551–2559, 2015.
5. H. Wang and J. Huang, "Bargaining-based energy trading market for interconnected microgrids", IEEE International Conference on Communications, vol. 2015–Sept, pp. 776–781, 2015.
6. H. S. V. S. Kumar Nunna and S. Doolla, "Energy management in microgrids using demand response and distributed storage - A multiagent approach", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 28, no. 2, pp. 939–947, 2013.
7. Структурно-параметричний синтез комбінованих систем електроживлення: колективна монографія / під наук. ред. проф. В. В. Каплуна. – К.: КНУТД, 2017. – 189 с.
8. Kaplun, V., Osypenko, V. About the intelligent decision making system for dynamic electricity pricing on renewable microgrids // Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, CSIT 2017.
9. A. Dimeas and N. Hatziargyriou, "A multiagent system for microgrids", in IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2004., vol. 2, pp. 55–58, IEEE, 2004.
10. A. Amato, B. D. Martino, M. Scialdone, and S. Venticinque, "A Negotiation Solution for Smart Grid Using a Fully Decentralized, P2P Approach", 2015 Ninth International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems, pp. 527–534, 2015.
11. H. Algarvio and F. Lopes, "Multi-agent Retail Energy Markets : Bilateral Contracting and Coalitions of End-use Customers", 12th International Conference on the European Energy Market (EEM), p. 5, 2015.
12. Каплун В. В. Умовний динамічний тариф як критерій ефективності функціонування мікроенергетичних систем локальних об'єктів / Вісник КНУТД. Серія: Технічні науки. - 2016. - № 3 (98). - С. 50-59.
13. Бьюл А., Цефель П. СПСС: Искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых законов: пер. с Нем. – СПб.: ДяСофтИуП, 2005. – 608 с. в таблицах и схемах. [Рус].

V. Kaplun¹, Dr. Sc. (Eng.), Prof. ORCID 0000-0001-7040-9344

S. Makarevych¹, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof. ORCID 0000-0002-9601-5156

A. Petrenko¹, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof. ORCID 0000-0002-8246-4911

H. Kruhliak¹, TF ORCID 0000-0003-2634-3856

Y. Kulybaba¹, TF ORCID 0000-0002-0417-293X

¹National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

ADAPTIVE CONTROL ELECTRICITY CONSUMPTION IN LOCAL MICROENERGY SYSTEM WITH POLYGENERATION BASED ON CLUSTERING OF A CONDITIONAL DYNAMIC TARIFF

The paper is devoted the increasing the efficiency to use of traditional and renewable sources in microenergy systems. The development of combined power supply systems of local objects with the stochastic nature generation of renewable sources has led to a number of fundamental problems.

It is associated with the lack of a decision-making system regarding the ratio of power sources of electricity and the coordination of their generation levels with the electricity consumption schedule at the stage of designing such microgrids. The development of microenergy systems with polygeneration is conditioned by the possibility of technical and information support for the formation of the energy balance of local objects to minimize the costs of their electricity supply.

By applying elements of inductive system-analytical technologies, an approach to solving the problem of modeling dynamic scenarios of energy management in local microgrids with polygeneration based on determining the cost of electricity and adaptive coordination of the electricity consumption schedule in real time is proposed.

On the basis of statistical data, modeling was carried out and daily graphs of changes in the current cost of electricity with half-hour discreteness of the calculation were obtained, and the clustering procedure of the conditional dynamic tariff was showed.

The results can be applied in the evaluation of electricity pricing in microgrid energy management systems or the development of control systems for Smart grids with renewable sources.

Keywords: *microgrid with traditional and renewable sources, clustering technology, conditional dynamic tariff, energy efficiency, energy management system.*

References

1. G. E. Asimakopoulou, A. L. Dimeas, and N. D. Hatziargyriou, «Leader- follower strategies for energy management of multimicrogrids», IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 4, no. 4, pp. 1909–1916, 2013.
2. Z.Wang, B.Chen, J.Wang, M.M.Begovic, and C.Chen, «Coordinated energy management of networked microgrids in distribution systems», IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 6, no. 1, pp. 45–53, 2015.
3. A. Werth, N. Kitamura, I. Matsumoto, and K. Tanaka, «Evaluation of centralized and distributed microgrid topologies and comparison to Open Energy Systems (OES)», 15th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), pp. 492–497, IEEE, June 2015.
4. D. Gregoratti and J. Matamoros, «Distributed Energy Trading: The Multiple-Microgrid Case», IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 62, no. 4, pp. 2551–2559, 2015.
5. H. Wang and J. Huang, «Bargaining-based energy trading market for interconnected microgrids», IEEE International Conference on Communications, vol. 2015–Sept, pp. 776–781, 2015.
6. H. S. V. S. Kumar Nunna and S. Doolla, «Energy management in microgrids using demand response and distributed storage - A multiagent approach», IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 28, no. 2, pp. 939–947, 2013.
7. Структурно-параметричний синтез комбінованих систем електроживлення: колективна монографія / під наук. ред. проф. В.В. Каплун. – К.: KNUTD, 2017. – 189 с
8. Kaplun, V., Osypenko, V. About the intelligent decision making system for dynamic electricity pricing on renewable microgrids // Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, CSIT 2017.
9. A. Dimeas and N. Hatziargyriou, «A multiagent system for microgrids», in IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2004., vol. 2, pp. 55–58, IEEE, 2004.
10. A. Amato, B. D. Martino, M. Scialdone, and S. Venticinque, «A Negotiation Solution for Smart Grid Using a Fully Decentralized, P2P Approach», 2015 Ninth International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems, pp. 527–534, 2015.
11. H. Algarvio and F. Lopes, «Multi-agent Retail Energy Markets : Bilateral Contracting and Coalitions of End-use Customers», 12th International Conference on the European Energy Market (EEM), p. 5, 2015.
12. Kaplun V.V. Umovnyi dynamichniy taryf yak kryterii efektyvnosti funktsionuvannya mikroenergetychnykh system lokalnykh ob'ektiv / Visnyk KNUTD. Seriya: Tekhnichni nauky. - 2016. - № 3 (98). - S. 50-59.
13. Byuyul A., Tsefel P. SPSS: Iskusstvo obrabotki informatsii. Analiz statisticheskikh dannykh i vosstanovleniye skrytykh zakonov: per. s Nem. – SPb.: DyaSoftIuP. 2005. – 608 s. v tablitsakh i skhemakh. [Rus]

Надійшла 15.11.2022

Received 15.11.2022