

**В.Я. Жуйков, д.т.н., проф.**  
**Ю.С. Ямненко, д.т.н., проф.**  
**І.Ю. Бойко, аспір.**  
**Л.Є. Клепач, магістрант**

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»*

## **СТАТИЧНА ТА ДИНАМІЧНА ТАРИФІКАЦІЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ АВТОНОМНИХ MICRO GRID**

*Наведено статичну модель розрахунку ціни від різних альтернативних джерел електроенергії, яка містить у собі техніко-економічні показники різних джерел електроенергії для систем гарантованого електроживлення, та приведена таблиця з розрахованими техніко-економічними показниками для різних альтернативних джерел електроенергії. Крім того, наведена динамічна модель, яка поєднує, з одного боку, енергетичні показники енергогенеруючої системи, а з іншого – економічні показники замкненої макроекономічної системи, оскільки регулювання ціни на енергоринку України наразі відбувається в статистиці, що не дозволяє здійснювати оцінку динамічної зміни тарифної ціни електроенергії у локальних ізольованих системах. При стрибкоподібній зміні потужності ізольованої енергогенеруючої системи відбувається зміна тарифної ціни електроенергії, яка не може бути врахована при використанні статичних моделей. Розглянуто приклад ізольованої системи, що складається із дизельного генератора та споживача. Створена модель, яка промодельована в середовищі Matlab, дозволяє досліджувати вплив перехідних процесів генератора на зміну вартісних показників економічної системи, а також оцінювати адекватну тарифну ціну як для виробника, так і для споживачів електроенергії.*

**Ключові слова:** статична та динамічна модель; ціна; ізольована система; рівняння Фішера; перехідний процес.

**Вступ. Постановка проблеми.** Під час розробки системи керування електроживленням вузлів розподіленої генерації поєднання централізованого та децентралізованого керування може призвести до протиріч з задачами, які мінімізують споживання інших ресурсів (вода, газ тощо) [5, 15]. Тому необхідно обрати критерій ефективності, який був би спільним для різних завдань керування і дозволяв проводити комплексну оцінку стану системи електроспоживання локального об'єкта Micro Grid. Таким критерієм є інтегральний вартісний параметр, який дозволяє оцінити безпосередні та опосередковані витрати, необхідні для вироблення та споживання електричної енергії, та збитки від її неефективного використання.

У зв'язку з тим, що в якості критерію використовується вартість, для реалізації оптимальної поведінки системи доцільно застосовувати теорії, розроблені у економічних галузях [2, 6, 10]. Тоді завдання оптимізації зводиться до сумісного розв'язання рівнянь, які описують електромагнітні процеси у технічних пристроях, та рівнянь, що враховують вартісні фактори [4, 7]. Як цільовий функціонал, значення якого має бути мінімізоване, обирається вартість енергії, яка розраховується як кількість енергії, помножена на відповідний тариф, що діє у даний інтервал часу. Врахування тарифів необхідно, оскільки лише наявність багатотарифної системи оплати дає можливість знизити витрати шляхом переносу інтервалів роботи окремих навантажень у інтервали більш низьких тарифів, а моментів вмикання альтернативних генераторів – у інтервали більш високих тарифів мережі. Сучасний рівень науково-технічного розвитку дозволяє застосовувати поточні тарифи на електроенергію мережі [1] для реалізації формування більш гнучкого керування зі зворотними зв'язками та оцінкою стану керованих об'єктів.

**Постановка завдання.** Результатом розв'язання задачі є оптимальна функція керування, яка дозволяє забезпечити виконання заданої корисної роботи навантаженнями з мінімізацією витрат. Оптимальна функція керування являє собою сукупність значень керуючих параметрів у задані інтервали часу.

З метою урахування вартісних факторів (процесів споживання, виробництва, бюджетних обмежень) при розробці систем керування електроживленням вузлів розподіленої генерації електротехнічні рівняння поєднуються з рівняннями, запозиченими з економічної теорії [2, 3,

4, 6, 7, 11–13]. Таке поєднання призводить до побудови електро-вартісних моделей, які, крім визначення струмів і напруг електротехнічних об'єктів Micro Grid, дозволяють вирішити задачу мінімізації вартісних витрат на обслуговування і використання цих об'єктів.

Модель загальної рівноваги дозволяє описати і вирішувати широкий спектр завдань, що виникають під час керування електроспоживанням на спільному ринку Micro Grid.

**Загальні принципи побудови електро-вартісних моделей.** При побудові алгоритмів керування електроживленням вузла розподіленої генерації з урахуванням вартісних факторів найбільший інтерес викликає теорія загальної рівноваги [6], яка дозволяє сформулювати умови найбільш ефективного керування електроживленням із забезпеченням мінімальних вартісних витрат на спільному ринку виробництва і споживання. З позицій економічної теорії продукцією, що виробляється та споживається на ринку локальної системи (рис. 1), є електрична енергія. Електрична мережа та альтернативні генератори, що входять до складу системи, виконують роль виробників продукції, а навантаження – її споживачів.

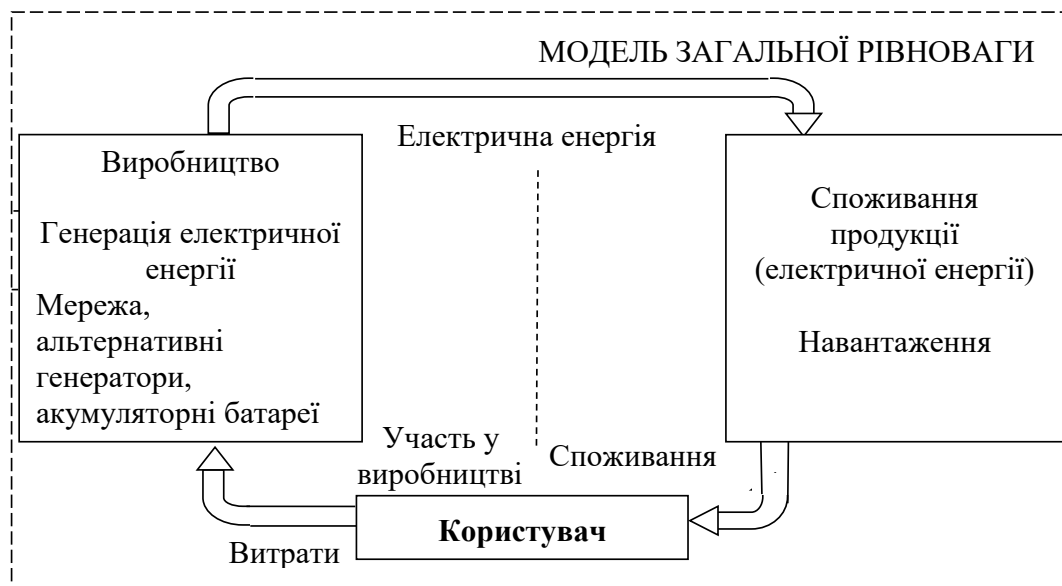


Рис. 1. Рівновага виробництва та споживання електроенергії

Для кожного електротехнічного пристрою (генератора або споживача енергії) необхідно вирішувати своє оптимальне завдання в області мінімізації витрат із забезпеченням ефективності функціонування. Сукупність окремих оптимізаційних завдань дозволяє сформулювати задачу загальної рівноваги та визначити найбільш доцільні стратегії адаптації керування як окремих пристроїв, так і всієї системи з урахуванням витрат, необхідних для підтримки цієї рівноваги у системі, що забезпечує оптимальне використання енергії [6].

*Електро-вартісна модель загальної рівноваги на спільному ринку виробництва та споживання електричної енергії:*

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dX(t, \Delta W, \Delta \$)}{dt} = A(t, \Delta W, \Delta \$)X(t, \Delta W, \Delta \$) + U(t, \Delta W, \Delta \$) \\ \Delta W = \sum_{f=1}^F W_j^f - \sum_{h=1}^H W_j^h \rightarrow 0, \quad j = \overline{1, n} \\ \Delta \$ = \sum_{f=1}^F r_i^f - \sum_{h=1}^H r_j^h \rightarrow 0, \quad i = \overline{1, m} \end{array} \right. , \quad (1)$$

де  $H$  та  $F$  – кількість споживачів та джерел відповідно;  $W_j^f$  та  $W_i^h$  – кількість енергії, що виробляє кожен генератор  $f$  та споживає кожен споживач  $h$  відповідно,  $\Delta W$  – надлишок виробленої енергії, яка не може бути використана, що визначає умову  $\Delta W \rightarrow 0$ ;  $r_j^f$  та  $r_i^h$  – обсяги витрат  $i$ -го виду,  $i = \overline{1, m}$ , необхідні для виробництва електроенергії кожним генератором  $f$  та для функціонування споживача  $h$ .

Під спільним ринком виробництва та споживання в даному контексті мається на увазі сукупність пристроїв, що виробляють та споживають енергію, а також каналів обміну енергією за певними тарифними ставкам (цінам).

Використання наведених моделей дозволяє описати технічні й економічні процеси, що протікають у окремих складових електротехнічного об'єкта Micro Grid, взаємодію між ними, а також загальну поведінку об'єкта, що реалізується для досягнення загальної мети забезпечення ефективного керування електроживленням.

**Статична модель ізольованої електро-вартісної системи.** Для розрахунку статичної ціни на електроенергію необхідно враховувати такі техніко-економічні показники різних джерел електричної енергії для систем гарантованого електроживлення [14]:

- питома вартість обладнання (тис. грн./кВт);
- термін експлуатації (роки);
- зведені річні затрати на генерацію 1 кВт встановленої потужності системи енергозабезпечення (грн./кВт);
- собівартість генерації енергії (грн./кВт\*год.);
- термін окупності (роки);
- можливий прибуток від функціонування (тис. грн.).

**Питома вартість обладнання** енергетичної установки обчислюється за наступною формулою:

$$V_{\text{пит}} = \frac{K_{\text{уст}}}{P_{\text{н}}}, \quad (2)$$

де  $K_{\text{уст}}$  – вартість комплексу обладнання;  $P_{\text{н}}$  – номінальна потужність енергетичної установки.

**Термін експлуатації енергетичної установки** дається виробником обладнання і задається для кожної конкретно взятої установки окремо. В середньому термін експлуатації фото-батареї та вітро-генераторів складає приблизно 15–30 років. Термін використання та дизельних генераторів обмежується кількістю напрацьованих годин і залежить від моделі установки, умов її використання тощо.

Одними із критеріїв економічної ефективності можна вважати **зведені річні витрати** на генерацію 1 кВт встановленої потужності системи енергозабезпечення за рік, які можна отримати з виразу:

$$Z = \frac{p_{\text{н}} \cdot K_3 + C}{P}, \quad (3)$$

де  $P$  – встановлена потужність об'єкта енергозабезпечення (кВт);  $K_3$  – загальні капіталовкладення;  $p_{\text{н}}$  – нормативний коефіцієнт рентабельності;  $C$  – вартість витрат на технічне обслуговування, експлуатацію, ремонт.

Загальні капіталовкладення  $K_3$ , в свою чергу, обчислюються як:

$$K_3 = K_{\text{уст}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{мон}}, \quad (4)$$

де  $K_{\text{уст}}$  – вартість комплексу обладнання;  $K_{\text{пр}}$  – вартість проектних робіт, визначення місця встановлення на місцевості;  $K_{\text{мон}}$  – вартість будівельних та монтажних робіт, вартість встановлення.

Нормативний коефіцієнт рентабельності в (3) обчислюється як:

$$p_{\text{н}} = \frac{1}{T_{\text{експ}}}, \quad (5)$$

де  $T_{\text{експ}}$  – гарантований термін експлуатації системи енергозабезпечення;

**Собівартість** 1 кВт\*год. електроенергії, генерованої енергоустановкою на базі альтернативних джерел енергії можна обчислити за допомогою наступної формули:

$$C_{\text{уст}} = \frac{K(t) + C(t)}{W_{\text{ген}}(t)}, \quad (6)$$

де  $W_{\text{ген}}$  – сумарна згенерована потужність енергоустановкою за деякий термін  $t$ ;  $K(t)$  – затрати на генерацію енергії протягом часу  $t$ ;

Затрати на генерацію енергії протягом часу  $t$  рівні:

$$K(t) = \frac{K_3}{T_{\text{експ}}} \cdot t, \quad (7)$$

В свою чергу, сумарна згенерована потужність енергоустановкою за деякий термін  $t$  обчислюється як:

$$W_{\text{ген}}(t) = \int_0^t P_{\text{ген}}(t) dt, \quad (8)$$

де  $P_{\text{ген}}(t)$  – потужність, що генерується у момент  $t$ ;

Отже, на основі наведених вище рівнянь за умови  $t < T_{\text{експ}}$  собівартість 1 кВт\*год. електроенергії, генерованої енергоустановкою на базі альтернативних джерел енергії обчислюється за допомогою такої формули:

$$C_{\text{уст}}(t) = \frac{\frac{K_3}{T_{\text{експ}}}t + C(t)}{\int_0^t P_{\text{ген}}(t)dt}, \quad (9)$$

**Термін окупності** енергетичної установки за умови  $P_{\text{ген}} < P_{\text{н}}$  можна обчислити як:

$$T_{\text{окуп}}(t) = \frac{K_3 + C(t)}{C_{\text{ел}} \cdot W_{\text{ген}}(t)}, \quad (10)$$

де  $C_{\text{ел}}$  – діючий тариф на електроенергію від мережі 220 В;

За означенням можливий **прибуток** від функціонування системи (англ. Profit) – сума, на яку доходи перевищують пов'язані з ними витрати. Тому, прибуток від функціонування енергетичної установки можна обчислити як:

$$T_{\text{окуп}}(t) = \frac{K_3 + C(t)}{C_{\text{ел}} \cdot W_{\text{ген}}(t)}, \quad (11)$$

де  $C_{\text{М}}$  – тариф на електроенергію державної мережі загального користування [14].

Порівняльна таблиця ефективності використання системи гарантованого електроживлення на основі різних альтернативних джерел енергії наведена у таблиці 1.

Таблиця 1

## Порівняння системи гарантованого живлення на основі АДЕ

Тип альтернатив, джерела	Фотогенератор	Вітрогенератор	Мікротурбіна (газогенератор)	Дизельгенератор
Показник				
Вартість обладнання, тис. грн.	72,56	87,6	528,5	9,8
Номинальна потужність установки, кВт	2,3	5,1	30	4,5
Питома вартість обладнання (тис.грн./кВт)	31,568	17,176	17,6	2,1
Термін експлуатації (роки)	25	25	-	-
Середня собівартість генерації енергії (грн./кВт*год.)	1,21	0,895	0,32	2,6
Термін окупності (роки)	0/16	20/18	-	-
Можливий прибуток від функціонування (тис. грн.)	-42,58/ 46,12	61,8/97,57	187,3	-

Отже, на основі наведених даних можна зробити висновок, що найбільш економічно доцільним є використання системи гарантованого електроживлення на основі вітрогенератора чи фотогенератора у поєднанні з дизельним генератором, який забезпечить безперервне функціонування усієї системи незалежно від погодних умов та гарантує якість електропостачання.

Для розрахунку ціни були розглянуті такі методи ціноутворення [8, 9], які показані на рисунку 2.

Аналіз методів ціноутворення показав, що найефективнішим для розрахунку вартості електроенергії - метод максимізації поточного прибутку, оскільки оснований на законі попиту. За даним методом ціна розраховується за такою формулою [9]:

$$Ц = C_{\text{уст}}(t) + \frac{N_{\text{пр}} \cdot K_{\text{інв}}}{100 \cdot N}, \quad (12)$$

де  $N_{\text{пр}}$  – бажана норма прибутку у відсотках;

$K_{\text{інв}}$  – величина інвестованого капіталу;  $N$  –запланований обсяг збуту.



Рис. 2. Методи ціноутворення

**Динамічна модель ізольованої електро-вартісної системи.** Із розвитком технології Micro Grid [16] широке розповсюдження отримали ізольовані системи, зокрема енергогенеруючі системи на основі дизельного генератора [17]. Зазвичай такі системи мають обмежену потужність та обмежене навантаження. Регулювання ціни на електроенергію наразі відбувається не динамічно, а виходячи зі встановленої вартості. За фіксованої погодинно тарифній ціні, наявність значної частини перехідних процесів у базовому проміжку часу спричиняє значне відхилення реальної тарифної ціни від встановленої, що призводить або до нестачі, або до надлишку коштів у системі. Очевидна актуальність створення гнучкої динамічної тарифікації, що дозволить забезпечити баланс коштів між споживачем та виробником електроенергії.

У межах впровадження гнучкої тарифікації потрібне створення динамічної електро-вартісної моделі, яка поєднує енергетичні та економічні показники вузла розподіленої генерації, що складається з генератора та споживача, за допомогою якої можливо досліджувати вплив перехідних процесів генератора на зміну вартісних показників об'єкта Micro Grid, а також вираховувати адекватну тарифну ціну для виробників та споживачів електроенергії.

Систему «виробник – споживач електроенергії» схематично наведено на рисунку 3 як замкнену макроекономічну систему [18], яка поєднує динамічну та економічну частини ізольованої системи.

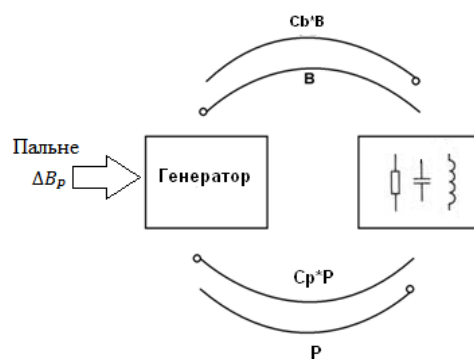


Рис. 3. Система «виробник – споживач електроенергії»

Генератор забезпечує споживача електроенергією потужністю  $P$ , натомість споживач сплачує її вартість  $C_p \cdot P$ , де  $C_p$  – ціна одиниці потужності. Генеруюча система витрачає певну кількість отриманих коштів на закупівлю пального  $C_B \cdot V$ , де  $C_B$  – ціна одиниці пального, та на власні потреби енергогенератора. Залишок отриманих коштів складає прибуток системи. Рівновага замкненої макроекономічної системи описується рівнянням Фішера [19]:

$$M \cdot V = C \cdot Q, \quad (13)$$

де  $M$  – грошова маса, що робить один оберт за час  $T_V$ , [грн];  $V = \frac{T}{T_V}$  – кількість обертів грошової маси  $M$  за досліджуваний період часу  $T$ ;  $C$  – ціна одиниці продукції, [грн./шт];  $Q$  – кількість виготовленої продукції [шт] за час  $T$ .

Для вузла розподіленої генерації продукцією є електроенергія, яка вимірюється в кВт\*год. (у системі  $C_i$  – кВт\*сек). Рівняння Фішера для такої системи матиме вигляд:

$$M \cdot V = C_B \cdot V + C_p \cdot P, \quad (14)$$

Оскільки споживач залежно від потреб може збільшувати або зменшувати обсяг споживаної електроенергії, що характеризується рівнем потужності, то за деякий тарифний проміжок часу  $\Delta t$  відбувається зміна рівня виробленої потужності, при цьому рівнянні балансу прийме вигляд:

$$M \cdot V = C_B \cdot V + (C_p + \Delta C_p) \cdot (P + \Delta P), \quad (15)$$

де  $\Delta C_p = (M \cdot V - C_B \cdot V - C_p \cdot P - C_p \cdot \Delta P - \Delta C_p \cdot \Delta P) / P$  – відповідна зміна тарифної ціни при зміні рівня потужності. Значення  $\Delta C_p \cdot \Delta P$  не враховується, як мала величина другого порядку.

Прийнявши зміну тарифної ціни як:  $\Delta C_p = (M \cdot V - C_B \cdot V) / P - C_p \cdot (1 + \Delta P / P)$  та враховуючи, що  $\Delta C_p = (dC_p / dt) \cdot \Delta t$  отримано рівняння:

$$dC_p / dt = (M \cdot V - C_B \cdot V) / (P \cdot \Delta t) - (C_p \cdot (1 + \frac{\Delta P}{P})) / (P \cdot \Delta t), \quad (16)$$

яке описує динамічну зміну  $C_p$  залежно від потужності, що забезпечує посекундну тарифікацію при  $\Delta t = 1$  сек.

Рівняння приросту потужності для дизельного генератора наведено у такому вигляді:

$$dP / dt = -P / \tau + (\eta_B / \tau) \cdot \gamma \cdot V, \quad (17)$$

де  $\eta_B$  – ККД генератора,  $\gamma$  – коефіцієнт перетворення пального у вироблену потужність,  $\tau$  – стала часу генератора.

Звівши разом рівняння (16) та (17) отримаємо динамічну систему:

$$\begin{cases} \frac{dC_p}{dt} = \frac{M \cdot V - C_B \cdot V}{P} - C_p \cdot (1 + \frac{\Delta P}{P}) \\ \frac{dP}{dt} = -\frac{P}{\tau} + \frac{\eta_B}{\tau} \cdot \gamma \cdot V \end{cases}, \quad (18)$$

де  $C_B \cdot V = \beta \cdot C_p \cdot P$ ,  $\frac{1}{\beta}$  – коефіцієнт прибутку системи.

Для відображення зміни вихідного рівня генерованої потужності у отриманій електро-вартісній моделі використовується складова  $\Delta B$ , при тому, що  $M$  і  $V$  незмінні. Система (18) матиме вигляд:

$$\begin{cases} \frac{dC_p}{dt} = \frac{M \cdot V - C_B \cdot (\beta \cdot C_p \cdot P + \Delta B)}{P} - C_p \cdot (1 + \frac{\Delta P}{P}) \\ \frac{dP}{dt} = -\frac{P}{\tau} + \frac{\eta_B}{\tau} \cdot \gamma \cdot (\beta \cdot C_p \cdot P + \Delta B) \end{cases}, \quad (19)$$

Прийнято, що  $\frac{\Delta B}{P}$  – кількість пального  $\Delta B_p$  необхідна для переходу енергогенератора на новий, заданий рівень потужності:

$$\frac{dC_p}{dt} = \frac{M \cdot V}{P} - C_p \cdot (1 + \beta + \frac{\Delta P}{P}) - \Delta B_p \cdot C_B. \quad (20)$$

Аналогічно,

$$\frac{dP}{dt} = -\frac{P}{\tau} + \frac{\eta_B \cdot \gamma \cdot (\beta \cdot C_p \cdot P)}{\tau \cdot C_B} + \frac{\eta_B \cdot \gamma \cdot \Delta B}{\tau}, \quad (21)$$

У результаті рівняння (20) і (21) складають систему (22), у якій  $\Delta B_p$  та  $\frac{\eta_B \cdot \gamma \cdot \Delta B_p}{\tau \cdot C_B}$  – відповідні впливи, що задають величину динамічного приросту тарифної ціни та потужності генератора.

$$\begin{cases} \frac{dC_p}{dt} = \frac{M \cdot V}{P} - C_p \cdot (1 + \beta + \frac{\Delta P}{P}) - \Delta B_p \cdot C_B \\ \frac{dP}{dt} = -\frac{P}{\tau} + \frac{\eta_B \cdot \gamma \cdot (\beta \cdot C_p \cdot P)}{\tau \cdot C_B} + \frac{\eta_B \cdot \gamma \cdot \Delta B}{\tau} \end{cases}. \quad (22)$$

Тобто, отримано систему, яка поєднує електротехнічні та економічні параметри вузла розподіленої генерації із дизель-генератором, та дозволяє розраховувати динамічну зміну тарифної ціни при зміні рівня генерованої потужності, або навпаки [20, 21].

**Дослідження перехідних процесів у системі.** Моделювання перехідних процесів в системі, коли зміна тарифної ціни  $C_p$  та потужності  $P$  відбувається відносно відомих початкових значень, при параметрах, наведених у таблиці 2, показує, що задля зберігання балансу макроекономічної системи, при зниженні (зростанні) виробничої потужності генератора, ціна одиниці потужності буде відповідно зростати (зменшуватися). За відсутності обмежень для приростів  $P$  і  $C_p$ , після завершення перехідного процесу відповідні величини знаходяться на рівнях, що відповідають виконанню умови балансу у рівнянні Фішера. Результати моделювання наведені на рисунку 4.

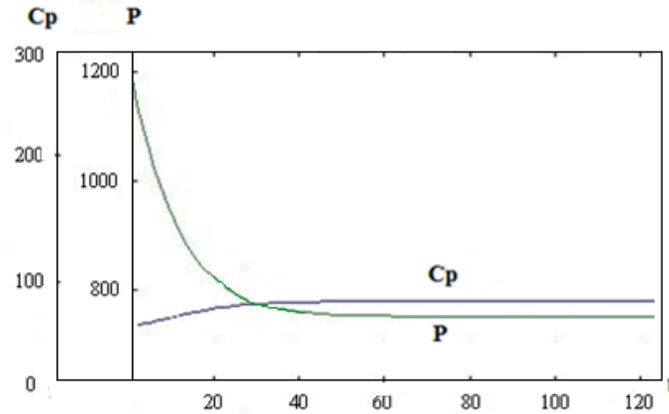


Рис. 4. Моделювання перехідних процесів

Таблиця 2

## Параметри динамічної моделі

Параметр	$\tau$	$\eta_B$	$\gamma$	$C_B$	$M$	$V$	$\Delta B_P$	$\beta$	$\Delta P$	$P_0$	$C_{P0}$
Значення	15	0.5	1	50 грн./л грн./л	100000 грн.	1	0	1	-500 Вт	1250 Вт	750 грн

У період часу  $t = 0$  відбувається зниження виробленої потужності на 500 Вт. Під впливом перехідного процесу при зміні рівня потужності, тарифна ціна зростає на 50 грн., задля виконання умови балансу.

**Висновки.**

Запропоновано статичну модель розрахунку ціни для різних альтернативних джерел. Представлена електро-вартісна модель ізольованої енергогенеруючої системи, що дозволяє розраховувати як динамічну зміну генерованої потужності, так і динамічну зміну тарифної ціни електроенергії, з урахуванням статичних величин цих параметрів після завершення перехідних процесів.

**Список використаної літератури:**

1. Гребенюк Г.Г. Непрерывное тарифное регулирование для формирования желаемого графика загрузки энергосистем // Г.Г. Гребенюк, М.Н. Соловьев // Автоматика и телемеханика. – 2004. – № 6. – С. 166–169.
2. Жуйков В.Я. Керування енергоспоживанням локальних об'єктів з урахуванням економічних моделей // В.Я. Жуйков, Ю.С. Петергеря // Технічна електродинаміка. – Тематичний випуск «Силова електроніка та енергоефективність». – 2000. – Ч. 2. – С. 131–136.
3. Жуйков В.Я. Керування споживанням електроенергії в локальному об'єкті з використанням вартісних електротехнічних моделей // В.Я. Жуйков, Ю.С. Петергеря, Р.В. Садрицький // Технічна електродинаміка. – Тематичний випуск «Силова електроніка та енергоефективність». – 2003. – Ч. 4. – С. 49–53.

4. Жуйков В.Я. Нова концепція побудови систем керування перетворювачами електричної енергії / В.Я. Жуйков, Ю.С. Петергеря // Технічна електродинаміка. – 1998. – № 4. – С. 33–37.
5. Гермейер Ю.Б. Игры с противоположными интересами / Ю.Б. Гермейер. – М. : Гл. ред. физ.-мат. литературы изд-ва «Наука», 1976. – 328 с.
6. Интрилигатор М. Математические методы оптимизации и экономическая теория / М.Интрилигатор ; пер. с англ. – М. : Прогресс, 1975. – 606 с.
7. Інтелектуальні системи керування потоками електроенергії у локальних об'єктах / О.В. Кириленко, Ю.С. Петергеря, Т.О. Терещенко, В.Я. Жуйков. – К. : Медіа ПРЕС, 2005. – 212 с.
8. Клепач Л.Є. Керування електроспоживанням за техніко-економічними показниками / Л.Є. Клепач // VIII Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених «Електроніка-2015» / Збірник статей. – К., 2015. – С. 227–231.
9. Мороз Л.А. Маркетинг : підручник / Л.А. Мороз, Н.І. Чухрай. – Львів : Інтелект-Захід, 2002. – 244 с.
10. Неймарк Ю.И. Модель ценообразования / Ю.И. Неймарк // Известия вузов. – Прикладная нелинейная динамика. – 1996. – № 6. – С. 35–42.
11. Петергеря Ю.С. Електро-вартісні моделі генераторів і навантажень для керування електроспоживанням локального об'єкта / Ю.С. Петергеря / Електроніка та зв'язок. – 2006. – № 2. – С. 33–39.
12. Петергеря Ю.С. Принципи побудови інтелектуальних систем керування перетворювачами у локальних об'єктах / Ю.С. Петергеря // Зб. праць науково-технічної конференції «Екотехнологии и ресурсосбережение. Энергоэффективность и охрана окружающей среды». – К. : 2001. – С. 17–21.
13. Петергеря Ю.С. Принципы эффективного интеллектуального управления потреблением энергии в локальных объектах / Ю.С. Петергеря, В.Я. Жуйков // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск «Проблеми сучасної електротехніки». – 2002. – Ч. 1. – С. 90–96.
14. Ушаков Д.Р. Оцінка вартісних характеристик джерел електричної енергії для систем гарантованого електроживлення / Д.Р. Ушаков // VI Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених «Електроніка-2013» / Збірник статей. – К., 2013. – С. 319–322.
15. Методы оценки степени противоречивости знаний с помощью отношения диссонанса / В.Е. Ходаков, В.Г. Шерсток, К.Г. Степанский, А.А. Дидак, А.М. Мартынов // Радиоэлектроника и информатика. – 1998. – № 1. – С. 129–132.
16. European Smart Grids Technology Platform. – Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future. – Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities, 2006.
17. Ledin S.V. Концепція «jelektrojenergija – tovar» kak katalizator razvitija Smart Grid. Avtomatizacija v promyshlennosti / S.V. Ledin. – 2012. – № 4.
18. Michael D. Bordo «Equation of exchange» / Michael D. Bordo // The New Palgrave: A Dictionary of Economics. – Vol. 2. – Pp. 175–77.
19. Post D.L. «Application of Auctions as a Pricing Mechanizm for the Interchange of Electric Power» / D.L. Post, S.S. Coppingier, G.B. Sheble // IEEE Transactions on Power Systems. – 1995. – Vol. 10. – № 3.
20. Zhuikov V. Electro-cost models of sources and loads for Local object power control / V.Zhuikov, J.Petergerya, O.Ivanin // 10th International Workshop «Computational Problems of Electrical Engineering». – At Waplewo. – Poland. – Vol. 3.
21. Zhuikov V. Price formation in the energy markets of Ukraine / V.Zhuikov, I.Pichkalov, I.Boyko, I.Blinov // Electronics and Nanotechnology (ELNANO). – 2015 IEEE 35th International Conference.

## References:

1. Grebenyuk, G.G. and Solovyov, M.N. (2004), “Nepreryvnoe tarifnoe regulirovanie dlya formirovaniya zhelaemogo grafika zagruzki energosistem” [Continuous tariff regulation for



- the formation of the desired schedule download Power Systems], *Avtomatika i telemekhanika*, No. 6, pp. 166–169.
2. Zhujkov, V.J. and Petergerja, J.S. (2000), “Keruvannja energospozhyvannjam lokal'nyh ob'ektiv z urahuvannjam ekonomichnyh modelej” [Managing local power facilities on the basis of economic models], *Technical electroynamics. Power Electronics and Energy Efficiency*, special issue, Vol. 2, pp. 131–136.
  3. Zhujkov, V.J., Petergerja, J.S. and Sadryc'kyj, R.V. (2003), “Keruvannja spozhyvannjam elektroenergii' v lokal'nomu ob'jekti z vykorystannjam vartisnyh elektrotehnichnyh modelej” [Managing energy consumption in the local cost objects using electrical models], *Technical electroynamics. Power Electronics and Energy Efficiency*, special issue, Vol. 4, pp. 49–53.
  4. Zhujkov, V.J. and Petergerja, J.S. (1998), “Nova koncepcija pobudovy system keruvannja peretvorjuvachamy elektrychnoi' energii” [The new concept of building control systems of electric power converters], *Technical electroynamics*, No. 4, pp. 33–37.
  5. Germeier, Y.B. (1976), *Igry s neprotivopolozhnyimi interesami* [Game nonconflicting interests], Science, Moscow, 328 p.
  6. Intriligator, M. (1975), *Mathematical methods of optimization and economic theory*, Progress, Moscow, 606 p.
  7. Kyrylenko, O.V., Petergerja, J.S., Tereschenko, T.O. and Zhujkov, V.J. (2005), *Intelektual'ni systemy keruvannja potokamy elektroenergii' u lokal'nyh ob'jektah* [Intelligent control system flows of electricity in local facilities], Media Press, Kyiv, 212 p.
  8. Klepach, L.E. (2015), “Keruvannja elektrospozhyvannjam za tehniko-ekonomichnymy pokaznykamy” [Managing power consumption on techno-economic parameters], *Proceedings of the VIII International Scientific Conference of Young Scientists “Electronics-2015”*, pp. 227–231.
  9. Moroz, L.A. (2002), *Marketing*, Intel'ekt-West, Lviv, 244 p.
  10. Neumark, Y.I. (1996), “Model' cenoobrazovannya” [Pricing model], *Proceedings of the universities. Applied Nonlinear Dynamics*, No. 6, pp. 35–42.
  11. Petergerja, J.S. (2006), “Elektro-vartisni modeli generatoriv i navantazhen' dlja keruvannja elektrospozhyvannjam lokal'nogo ob'jekta” [Electro-cost models of generators and loads to control the power consumption of the local object], *Electronics and Communications*, No. 2, pp. 33–39.
  12. Petergerja, J.S. (2001), “Pryncypy pobudovy intelektual'nyh system keruvannja peretvorjuvachamy u lokal'nyh ob'jektah” [Principles of intelligent control systems converters in local facilities], *Proceedings of the scientific conference “Ekotekhnologii i resursoberezhenie. Energoeffektivnost' i okhrana okruzhayushchey srody”*, pp. 17–21.
  13. Petergerja, J.S. and Zhujkov, V.J. (2002), “Printsipy effektivnogo intelektual'nogo upravleniya potrebleniyem energii v lokal'nykh ob'ektakh” [Principles of effective intelligent energy management in local facilities], *Technical electroynamics. Problems of modern electrical engineering*, special issue, Vol. 1, pp. 90–96.
  14. Ushakov, D.R. (2013), “Ocinka vartisnyh harakterystyk dzherel elektrychnoi' energii' dlja system garantovanogo elektrozhylennja” [Of the value of the power for the guaranteed power supply], *Proceedings of the VI International Scientific Conference of Young Scientists “Electronics-2013”*, pp. 319–322.
  15. Hodakov, V.E., Sherstok, V.G., Stepansky, K.G., Didak, A.A. and Martynov, A.M. (1998), “Metody otsenki stepeni protivorechivosti znaniy s pomoshch'yu otnosheniya dissonansa” [Methods of assessing the contradictory knowledge through relationship discord], *Electronics and Computer Science*, No. 1, pp. 129–132.
  16. European Smart Grids Technology Platform (2006), *Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future*, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
  17. Ledin, S.V. (2012), “Koncepcija “elektrojenergija – tovar” kak katalizator razvitiya Smart Grid”, *Avtomatizacija v promyshlennosti*, Vol. 4, p. 4.
  18. Bordo, M.D. (1987), “Equation of exchange”, *The New Palgrave: A Dictionary of Economics*, Vol. 2, pp. 175–77.

19. Post, D.L., Coppinger, S.S. and Sheble, G.B. (1995), "Application of Auctions as a Pricing Mechanism for the Interchange of Electric Power", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 10, No. 3.
20. Zhuikov, V., Petergerya, J. and Ivanin, O. (2008), "Electro-cost models of sources and loads for Local object power control", *Proceedings of the 10th International Workshop "Computational Problems of Electrical Engineering"*, At Waplewo, Poland, Vol. 3.
21. Zhuikov, V., Pichkalov, I., Boyko, I. and Blinov, I. (2015), "Price formation in the energy markets of Ukraine", *Proceedings of the Electronics and Nanotechnology (ELNANO) 2015, IEEE 35th International Conference*.

ЖУЙКОВ Валерій Якович – доктор технічних наук, професор, декан Факультету Електроніки Національного технічного університету України «Київського політехнічного інституту».

Наукові інтереси:

– чисельно-аналітичні і топологічні методи процесів аналізу і синтезу в напівпровідникових перетворювачах електроенергії.

E-mail: valery.zhuikov@gmail.com.

ЯМНЕНКО Юлія Сергіївна – доктор технічних наук, професор кафедри промислової електроніки Національного технічного університету України «Київського політехнічного інституту».

Наукові інтереси:

– інтелектуальні системи керування генерацією та споживанням електричної енергії у локальних об'єктах з відновлювальними джерелами, Smart Grid та Micro Grid з урахуванням вартісних факторів, передавання та обробка сигналів з використанням дискретних спектральних та вейвлет-перетворень;

– віртуальний ринок електричної енергії у Micro Grid та Smart Grid;

– моніторинг фізіологічного стану людини з використанням біотелеметричних сенсорів.

E-mail: petergerya@yahoo.com.

БОЙКО Іван Юрійович – аспірант кафедри промислової електроніки Національного технічного університету України «Київського політехнічного інституту».

Наукові інтереси:

– динамічна тарифікація автономних систем електроживлення.

E-mail: catbug1488@gmail.com.

КЛЕПАЧ Любов Євгеніївна – магістрант кафедри промислової електроніки Національного технічного університету України «Київського політехнічного інституту».

Наукові інтереси:

– розробка методу керування електроспоживання за вартісним критерієм в Micro Grid.

E-mail: luibaklepach@gmail.com.

Стаття надійшла до редакції 12.09.2016.