

**С. П. ДЕНИСЮК**

доктор технічних наук,  
професор кафедри електропостачання  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0002-6299-3680

**Г. С. БЄЛОХА**

кандидат технічних наук,  
доцент кафедри електропостачання  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0003-4277-367X

**І. С. ЧЕРНЕЦУК**

аспірант кафедри електропостачання  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0001-6895-7843

## ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОПРОЦЕСІВ В СИСТЕМАХ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З НЕІНТРУЗИВНИМ МОНІТОРИНГОМ

*Розвиток децентралізованих систем розширює можливості місцевих громад, переорієнтовуючи виробництво енергії з великих централізованих комунальних підприємств на локальні системи, керовані громадою. Традиційні системи керування енергією та методи оптимізації використання електроенергії споживачем контролюють електроприймачі за допомогою інтрузивних лічильників електроенергії. Для децентралізованих використовується техніка неінтрузивного моніторингу навантаження, яка є популярним підходом для моніторингу споживання енергії приладами або електромережами в будівлях за допомогою єдиного Smart-лічильника енергії. Необхідність розробки відповідних алгоритмів оптимізації, побудова систем моніторингу та систем керування для керування енергією є актуальною задачею. Для вирішення задач балансування та оптимізації навантаження в локальних електроенергетичних системах переважно використовуються системи Smart-моніторингу. Використання модифікованої потужності Фризе дозволяє аналізувати енергетичні процеси в децентралізованих системах. В роботі представлена оцінка енергетичних процесів за даними отриманими з використання неінтрузивного моніторингу, розроблено покроковий алгоритм моніторингу балансування у вузлі для оптимізації споживання енергії в будівлі та мережі. Балансування енергоспоживання у вузлі при зазначених умовах може бути представлений двома етапами: вирівнювання графіків за рахунок механізмів керування попитом та взаємобалансування у вузлі із врахуванням спільної роботи всієї множини підключених до вузла споживачів. Використання наведеного алгоритму моніторингу балансування за отриманими даними з неінтрузивного моніторингу надає можливість оцінки потенційних можливостей оптимізації енергопостачання; контролю споживання енергії будівлями; впровадження програм попиту, для отримання економічної вигоди споживачам.*

**Ключові слова:** smart-моніторинг, децентралізовані енергетичні системи, Smart-лічильники, неінтрузивний моніторинг.

**S. P. DENYSIUK**

Doctor of Technical Sciences,  
Professor at the Department of Power Supply  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0002-6299-3680

**H. S. BIELOKHA**

PhD, Associate Professor at the Department of Power Supply  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0003-4277-367X

I. S. CHERNESHCHUK

Postgraduate Student at the Department of Power Supply  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0001-6895-7843

## OPTIMIZATION OF ENERGY PROCESSES IN ENERGY SUPPLY SYSTEMS WITH NON-INSTRUTIVE MONITORING

*The development of decentralized systems empowers local communities by reorienting energy production from centralized to local, community-driven systems. Traditional energy management systems for optimizing the use of electricity by consumers control electricity receivers with the help of intrusive electricity meters. For decentralized, the technique of non-intrusive load monitoring is used, which is a popular approach for monitoring the energy consumption of appliances or electrical networks in buildings using a single Smart energy meter. The need to develop appropriate optimization algorithms, build monitoring systems and control systems for system management is an urgent task. Smart monitoring systems are mainly used to solve load balancing and optimization problems in local power systems. The use of modified Friese power allows the analysis of energy processes in decentralized systems. The paper presents the assessment of energy processes based on data obtained from the use of non-intrusive monitoring, and developed a step-by-step algorithm for monitoring balancing in the node to optimize energy consumption in the building and network. Balancing energy consumption in the node under the specified conditions can be represented by two stages: schedule alignment due to demand management mechanisms and mutual balancing in the node taking into account the joint work of the entire set of consumers connected to the node. The use of the given balancing monitoring algorithm based on the data obtained from non-intrusive monitoring provides opportunities to assess potential opportunities for energy supply optimization; control of energy consumption by buildings; implementation of demand programs to obtain economic benefits for consumers.*

**Key words:** smart monitoring, decentralized energy systems, Smart meters, non-intrusive monitoring.

### Постановка проблеми

Існуючі електроенергетичні системи переходять до децентралізованих систем з меншими викидами через широку інтеграцію відновлюваних джерел енергії. Ці системи розширюють можливості місцевих громад, переорієнтовуючи виробництво енергії з великих централізованих комунальних підприємств на локальні системи, керовані громадою.

Децентралізовані системи дають можливість окремим особам і громадам брати активну участь у виробництві енергії. Мешканці будівель можуть контролювати свій вибір енергії, розвиваючи почуття власності та залученості. Енергія стає інструментом самозабезпечення та розвитку громади [1,2].

Традиційні централізовані схеми керування потужністю не підходять для децентралізованих систем. Розробляються нові алгоритми керування, системи енергетичного менеджменту та системи моніторингу. Спільне використання даних, як невід’ємна частина сучасного розподілу електроенергії, змушує мережу живлення тісно поєднуватися з мережею даних, це означає, що керування енергетичною системою залежить від спільного використання даних про електроенергію.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для задоволення постійно зростаючих потреб в електроенергії розробляються програми реагування на попит. Традиційні системи керування енергією, які реагують на програми для оптимізації використання електроенергії споживачам контролюють електроприймачі за допомогою інтрузивних лічильників електроенергії. Децентралізовані (локальні) енергосистеми дозволяють розподіляти та споживати енергетичні ресурси більш ефективним та економічним шляхом. Smart-лічильники є невід’ємною частиною вимірювальної інфраструктури SmartGrid, яка дозволяє здійснювати моніторинг навантаження забезпечуючи звітність про енергоспоживання в реальному часі та зворотний зв’язок [3].

Останніми роками техніка неінтрузивного моніторингу навантаження (NILM) стала популярним і новим підходом для моніторингу подій (увімкнення/вимкнення) та споживання енергії приладами або електромережами в будівлях за допомогою єдиного Smart-лічильника енергії [4-6]. Неінтрузивний моніторинг навантаження є процесом оцінки споживання енергії приладами в приміщеннях споживача (наприклад, житлового або промислового).

Переваги використання неінтрузивного моніторингу включають: енергоефективність (знаючи, які прилади споживають найбільше енергії, можливе вживання заходів для заощадження на рахунках за електроенергію); реагування на попит (ідентифікація пристроїв з високим попитом і моделей їх використання для запровадження програми реагування на попит); аналіз поведінки мешканців; балансування та оптимізація навантаження.

Використання систем керування на попит змінило структуру передачі потужності в мережі низького рівня напруги з однонаправленого зверху вниз на більш розподілений спосіб. Зокрема, електроенергія може також переходити від домогосподарств до енергокомпаній, або між кількома домогосподарствами без взаємодії з вищим рівнем. Гнучкість передачі енергії ускладнює управління всією енергосистемою. Отже, необхідність розробки

відповідних алгоритмів оптимізації, побудова систем моніторингу для керування системою набуває все більшого інтересу. Виникає актуальна задача балансування енергоспоживання у вузлі системи як для централізованих, так і локальних електроенергетичних систем.

**Формулювання мети дослідження**

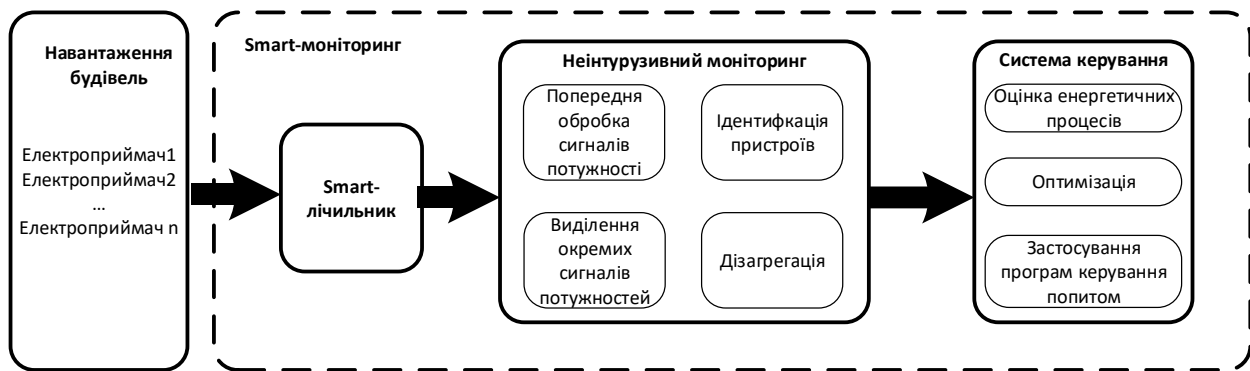
Метою роботи є оцінка енергетичних процесів за даними отриманими з використання неінтрузивного моніторингу і представлення алгоритму моніторингу для оптимізації споживання енергії в будівлі та мережі.

**Викладення основного матеріалу дослідження**

При вирішенні задач балансування та оптимізації навантаження в децентралізованих системах використовуються Smart-моніторинг [7]. Smart-моніторинг розглядається як цільовий з визначенням цілей моніторинг – в залежності від сфери застосування, зокрема, запропоновано здійснювати оцінку поточної економічної ефективності елементів системи.

Smart-моніторинг здійснює моніторинг якості енергопостачання, перевіряє на відповідність стандартам всіх параметрів електромережі та організовує обмін електроенергією між елементами системи. На основі отриманих даних формується інформація для взаємодії об’єктів (наприклад, участі на ринках електроенергії). Система Smart-моніторингу з неінтрузивним моніторингом представлена на рис. 1.

Неінтрузивний моніторинг є процесом ідентифікації навантажень та їх споживаної потужності від джерела живлення за допомогою алгоритму розділення. Моніторинг споживання енергії будівлями дозволяє завчасно виявити та запобігти втратам енергії, а система керування енергією надає керуючі сигнали для застосування заходів для оптимізації споживання енергії.



**Рис. 1. Система Smart-моніторингу**

Отримання сигналу потужності є першим кроком у дезагрегації енергії та відповідає за отримання сукупних вимірювань навантаження. Одной із складових неінтрузивного моніторингу є попередня обробка сигналів потужностей та аналіз потужностей, дані якого передаються до системи керування енергією.

Розглянемо детально одну з оцінок енергетичних процесів та оптимізаційну процедура керування навантаженнями та виділено покроковий алгоритм аналізу енергетичних процесів.

Система складається із генератора з напругою  $u(t)$  та паралельно включених навантажень, із яких  $n'$  керованих та  $m'$  некерованих. Інтервал оптимізації процесів в системі позначимо як  $T_{\Pi}$ .

Під керованим навантаженням будемо розуміти  $i$ -е навантаження  $i_i^{(k)}(t; t_i^{(k)})$  та періодом енергетичних процесів  $T_i^{(k)}$ , для якої можлива зміна часового зсуву  $t_i^{(k)}$  умовного початку періоду  $T_i^{(k)}$  відносно початку інтервалу  $T_{\Pi}$ .

Під некерованим навантаженням будемо розуміти  $j$ -е навантаження  $i_j^{(h)}(t; t_j^{(h)})$  та періодом енергетичних процесів  $T_j^{(h)}$ , для якої величина  $t_j^{(h)}$  має аналогічний з  $t_i^{(k)}$  сенс та є незмінною для  $j$ -го некерованого навантаження. Тоді струм генератора

$$i(t) = \sum_{i=1}^{n'} i_i^{(k)}(t; t_i^{(k)}) + \sum_{j=1}^{m'} i_j^{(h)}(t; t_j^{(h)}) \tag{1}$$

Вид кривої  $i(t)$  залежить від кожної із складових  $i_i^{(k)}(t; t_i^{(k)})$  та  $i_j^{(h)}(t; t_j^{(h)})$ .

Оптимізаційну задачу на інтервалі часу  $T_{\Pi}$  у загальному випадку можемо представити у вигляді:

$$i(t) = \sum_{i=1}^{n'} i_i^{(k)}(t; t_i^{(k)}) + \sum_{j=1}^{m'} i_j^{(h)}(t; t_j^{(h)}) \rightarrow \min \tag{2}$$

де величини  $i_i^{(k)}(t; t_i^{(k)})$  та  $i_j^{(h)}(t; t_j^{(h)})$  змінюються в заданих (допустимих) межах.

Для уточнення оптимізаційної задачі  $i_i^{(k)}(t; t_i^{(k)})$  та  $i_j^{(h)}(t; t_j^{(h)})$  множини величин  $\{i_i^{(k)}(t; t_i^{(k)}), i = 1, \dots, n'\}$   $\{i_j^{(h)}(t; t_j^{(h)}), j = 1, \dots, m'\}$  розбиваються на кластери в залежності від виду (типу) електроприймача (ця інформація отримується за результатами неінтрузивного моніторингу):

$$i(t) = \sum_{l=1}^{n_l} \sum_{p=1}^{n_{p,l}} i_{lp}^{(k)}(t; t_{lp}^{(k)}) + \sum_{r=1}^{m_r} \sum_{s=1}^{m_{s,r}} i_{rs}^{(H)}(t; t_{rs}^{(H)}), \tag{3}$$

де виконуються умови

$$n' = \sum_{l=1}^{n_l} n_{p,l}, \quad m' = \sum_{r=1}^{m_r} m_{s,r}. \tag{4}$$

Оцінемо енергетичні процеси в системі з застосування модифікованої потужності Фрізе, як квадратичної нев'язки, на лінійні та складені функції струму споживання [8].

Для режиму, що характеризується діючими значеннями напруги  $U_i$  та струму  $I_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ , де  $t_i$  – тривалість  $i$ -го інтервалу, та  $P = U_0 \cdot I_0$ , де  $U_0, I_0$  – усереднені значення напруги та струму, інтервалу часу  $T$ , вираз для модифікованої потужності Фрізе  $Q_\Phi$ :

$$Q_\Phi = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n U_i^2 \frac{\Delta t_i}{T}\right) \left(\sum_{j=1}^n I_j^2 \frac{\Delta t_j}{T}\right) - U_0^2 I_0^2}, \tag{5}$$

який при умовах  $\delta_i = \Delta t_i / T$ ;  $\sum_{i=1}^n \delta_i = 1$  набуває вигляду:

$$Q_\Phi = \sqrt{\sum_{i=1}^n U_i^2 \delta_i \cdot \sum_{i=1}^n I_i^2 \delta_i - \left(\sum_{i=1}^n U_i I_i \delta_i\right)^2}. \tag{6}$$

Розглянемо розбіжності потужності Фрізе для наявних графіків змінення струму в системі (рис. 2).

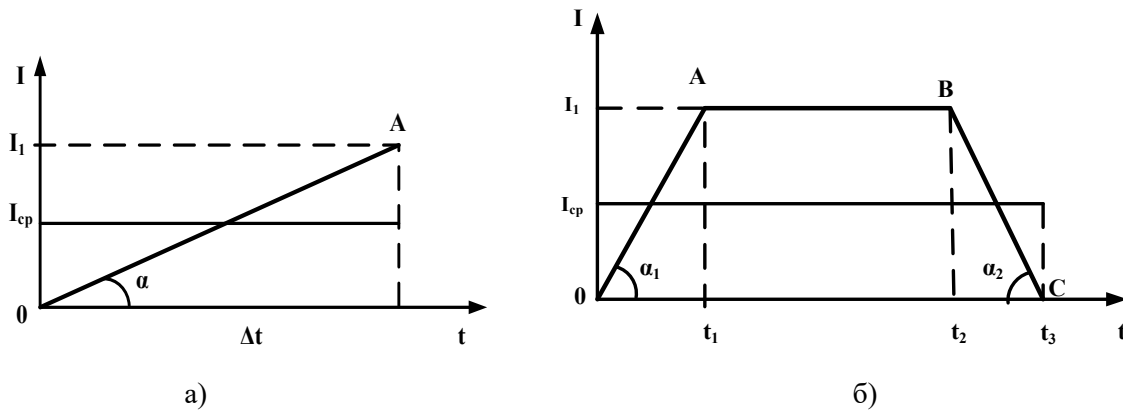


Рис. 2. Графіки струму

Розрахунок  $Q_\Phi$  для графіка представленого на рис. 2а:

$$I_0 = I_{cp} = \frac{I_1}{2}, \quad I_D^2 = \frac{I_1^2}{3}, \tag{7}$$

$$Q_\Phi^2 = U_D^2 I_D^2 - (U_0 I_0)^2. \tag{8}$$

При умові  $U_D \approx U_0$  можемо записати:

$$Q_\Phi^2 = U_D^2 I_1^2 \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{4}\right) \approx 0,083 U_D^2 I_1^2, \tag{9}$$

$$Q_\Phi \approx 0,287 U_D I_1. \tag{10}$$

Розрахунок  $Q_\Phi$  для графіка рис. 2б, на інтервалі  $[0, t_3] = T$ :

$$I_0 = I_{cp} = \frac{I_1 t_1}{2T} + \frac{I_1(t_2 - t_1)}{T} + \frac{I_1(t_3 - t_2)}{2T} = I_1 \frac{t_1/2 + (t_2 - t_1) + (t_3 - t_2)/2}{T}, \tag{11}$$

$$I_D^2 = I_1^2 \left(\frac{t_1}{3T} + \frac{t_2 - t_1}{T} + \frac{t_3 - t_1}{3T}\right) = I_1^2 \left(\frac{t_1/3 + (t_2 - t_1) + (t_3 - t_1)/3}{T}\right). \tag{12}$$

При умові  $U_D \approx U_0$  можемо записати вираз (8):

$$Q_{\Phi}^2 = \frac{U_D^2 I_1^2}{T} \left[ (t_1/3 + (t_2 - t_1) + (t_3 - t_2)/3) - (t_1/2 + (t_2 - t_1) + (t_3 - t_2)/2)^2 \right]. \quad (13)$$

При  $(t_2 = t_1)$  вираз для  $Q_{\Phi}^2$  матиме вигляд:

$$Q_{\Phi}^2 = \frac{U_D^2 I_1^2}{T} \left[ 1/3 - (t_1/2 + (t_3 - t_1)/2)^2 \right]. \quad (14)$$

Діюче значення  $I_D$  складеної функції  $i(t) = i_1(t) + i_2(t)$ :

$$I_D^2 = \frac{1}{T} \int_0^T i(t)^2 dt = \frac{1}{T} \int_0^T (i_1(t) + i_2(t))^2 dt = \frac{1}{T} \left[ \int_0^T i_1(t)^2 dt + \int_0^T i_2(t)^2 dt + 2 \int_0^T i_1(t) i_2(t) dt \right] \quad (15)$$

Розглянемо використання модифікованої потужності Фризе згідно співвідношень (5) та (6) для системи, що складається з кількох регульованих споживачів (багатофункціональних будівель), підключених до однієї підстанції (живляться від одного джерела з паралельним підключенням).

У цьому випадку при  $U_D = U_0$  можемо записати:  $Q_{\Phi}^2 = U_D^2 \cdot (I_D^2 - I_0^2)$ .

$K_n$  – критерій нерівномірності електроспоживання:

$$K_n = \frac{I_D^2 - I_0^2}{I_0^2} = \frac{I_D^2}{I_0^2} - 1. \quad (16)$$

Нехай задача балансування енергоспоживання у вузлі розглядається для  $n$  споживачів, що можуть регулювати своє енергоспоживання (згідно співвідношень (1) – (4)). На наш погляд, балансування енергоспоживання у вузлі при зазначених умовах може бути представлений двома етапами:

1-й етап: вирівнювання графіків енергоспоживання  $j$ -м ( $j=1, \dots, n$ ), наприклад, за рахунок механізмів керування попитом з використанням еталонних графіків енергоспоживання;

2-й етап: взаємобалансування у вузлі із врахуванням спільної роботи всієї множини підключених до вузла споживачів.

Критерії балансування:

1-й етап:

$$K_{Hj} = \frac{I_{Dj}^2 - I_{0j}^2}{I_{0j}^2} = \frac{I_{Dj}^2}{I_{0j}^2} - 1; j = 1, \dots, n. \quad (17)$$

2-й етап:

$$K_{H,\Sigma} = \sum_{j=1}^n \left( \frac{I_{Dj}^2 - I_{0j}^2}{I_{0j}^2} \right) = \sum_{j=1}^n \left( \frac{I_{Dj}^2}{I_{0j}^2} - 1 \right); j = 1, \dots, n. \quad (18)$$

Особливості оцінки балансування енергоспоживання (оцінки впливів) у вузлі системи розглянемо для підключення до вузла живлення двох споживачів, графіки навантажень цих споживачів апроксимовані кусочно-постійними функціями при виділенні двох інтервалів  $\Delta t_1$  та  $\Delta t_2$ , де  $\Delta t_1 + \Delta t_2 = T$ ;  $\delta_1 = \Delta t_1 / T$ ;  $\delta_2 = \Delta t_2 / T$ . Струми, що споживаються 1-м та 2-м споживачем (перший індекс) на кожному із інтервалів (другий індекс), позначимо наступним чином:  $I_{1,1}$  та  $I_{1,2}$ ;  $I_{2,1}$  та  $I_{2,2}$ ;  $I_1 = I_{1,1} + I_{1,2}$ ;  $I_2 = I_{2,1} + I_{2,2}$ .

Згідно співвідношень (5) та (6) для діючих (індекс «D») та середніх (індекс «0») значень струму на вході споживачів можемо записати:

$$I_{1,D}^2 = I_{1,1}^2 \delta_1 + I_{1,2}^2 \delta_2 \quad I_{1,0} = I_{1,1} + I_{1,2} \quad I_{2,D}^2 = I_{2,1}^2 \delta_1 + I_{2,2}^2 \delta_2 \quad I_{2,0} = I_{2,1} + I_{2,2}. \quad (19)$$

Для діючого (індекс «D») та середнього (індекс «0») значень струму на виході вузла живлення (індекс «Σ»):

$$I_{\Sigma,D}^2 = I_{1,D}^2 + I_{2,D}^2 + 2I_{1,1}I_{2,1}\delta_1 + 2I_{1,2}I_{2,2}\delta_2 \quad I_{\Sigma,0} = I_{1,0} + I_{2,0}. \quad (20)$$

Вирази для квадратів модифікованої реактивної потужності Фризе на вході кожного із споживачів ( $Q_{\Phi,1}$  та  $Q_{\Phi,2}$ ) та на виході вузла живлення  $Q_{\Phi,\Sigma}$ :

$$Q_{\Phi,1}^2 = U^2 (I_{1,D}^2 - I_{1,0}^2), \quad Q_{\Phi,2}^2 = U^2 (I_{2,D}^2 - I_{2,0}^2), \quad Q_{\Phi,\Sigma}^2 = U^2 (I_{\Sigma,D}^2 - I_{\Sigma,0}^2). \quad (21)$$

Згідно (6), (19) та (20) вирази (21) набувають вигляду:

$$Q_{\Phi,1}^2 = U^2 \delta_1 \delta_2 (I_{1,1} - I_{1,2})^2 \quad Q_{\Phi,2}^2 = U^2 \delta_1 \delta_2 (I_{2,1} - I_{2,2})^2 \quad Q_{\Phi,\Sigma}^2 = U^2 \delta_1 \delta_2 (I_1 - I_2)^2. \quad (22)$$

Нерівномірність енергоспоживання у даному випадку з використанням виразів (19) – (21) оцінюється співвідношенням:

$$\Delta Q_{\phi,1}^2 = Q_{\phi,\Sigma}^2 - (Q_{\phi,1}^2 + Q_{\phi,2}^2) = U^2 \delta_1 \delta_2 [(I_1 - I_2)^2 - ((I_{1,1} - I_{1,2})^2 + (I_{2,1} - I_{2,2})^2)]. \quad (23)$$

Вираз (23) з врахуванням складових струму на кожному із інтервалів апроксимації набуде вигляду:

$$\Delta Q_{\phi,1}^2 = 2U^2 \delta_1 \delta_2 [I_{1,1} I_{2,1} + I_{1,2} I_{2,2} + I_{1,1} I_{1,2} + I_{2,1} I_{2,2} + I_{1,1} I_{1,2} I_{2,1} I_{2,2}]. \quad (24)$$

Співвідношення (22), (23) визначають складові, які необхідно враховувати при балансуванні енергоспоживання у вузлі. Сумарна (загальносистемна) оптимальність системи може передбачати «неоптимальність» роботи окремих підсистем.

Наведемо алгоритм моніторингу балансування у вузлі з використання зазначених етапів та можливості керування попитом.

Крок 1. Побудова графіків енергоспоживання кожним  $j$ -м ( $j = 1, \dots, n$ ) споживачем. Оцінка потенційних можливостей оптимізації енергопостачання (наприклад, з використання механізмів керування попитом).

Крок 2. Вирівнювання графіків енергоспоживання  $j$ -м ( $j = 1, \dots, n$ ), наприклад, за рахунок механізмів керування попитом (етап 1). Визначення  $K_{H,j}^1$  та  $K_{H,\Sigma}^1$  згідно співвідношень (17) та (18).

Крок 3. Перевірка умови  $K_{H,\Sigma}^1 \leq K_{H,\Sigma}^{гр}$ . Якщо умова виконується, то перехід на Крок 6; у протилежному випадку перехід до Кроку 4.

Крок 4. Взаємобалансування у вузлі із врахуванням спільної роботи всієї множини підключених до вузла споживачів. Визначення  $K_{H,j}^2$  та  $K_{H,\Sigma}^2$  згідно співвідношень (17) та (18).

Крок 5. Перевірка умови  $K_{H,\Sigma}^2 \leq K_{H,\Sigma}^{гр}$ . Якщо умова виконується, то перехід на Крок 6; у протилежному випадку перехід до Кроку 2.

Крок 6. Завершення оптимізаційного процесу балансування енергоспоживання у вузлі системи.

Можлива ситуація, коли споживачі (будівля) можуть також реалізувати взаємобалансування окремих груп електроприймачів, що підключені до одного вводу. Для будівлі такими групами споживачів можуть розглядатися: секції будівлі; блоки поверхів (різне призначення); поверх / секція; сукупність квартир на поверсі.

#### Висновки

1. Для оцінки використання енергії в житлових та комерційних будівлях обрано неінтрузивний моніторинг, який надає дані щодо споживання енергії дозволяючи системам Smart-моніторингу точно визначити області для підвищення енергозбереження та оцінити ефективність впроваджених заходів з енергоефективності.

2. Оцінено енергетичні процеси в системі з генератором та навантаженнями (будівлями) з застосування модифікованої потужності Фризе.

3. Використання розробленого алгоритму моніторингу балансування за отриманими даними з неінтрузивного моніторингу надає можливості оцінити потенційні можливості оптимізації енергопостачання, контроль споживання енергії будівлями та впровадження програм попиту, для отримання економічної вигоди споживачем.

#### Список використаної літератури

1. Roger Achkar. Decentralized Energy Systems: Empowering Local Communities <https://www.linkedin.com/pulse/decentralized-energy-systems-empowering-local-dr-roger-achkar-lemuyf> [дата звернення 20.09.2024]
2. Seyed Amir Mansouri, Amir Ahmarinejad, Emad Nematbakhsh, Mohammad Sadegh Javadi, Ahmad Rezaee Jordehi, João P.S. Catalão, Energy management in microgrids including smart homes: A multi-objective approach, *Sustainable Cities and Society*, Vol. 69, 2021, 102852, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102852>
3. Bakare, M.S., Abdulkarim, A., Zeeshan, M. et al. A comprehensive overview on demand side energy management towards smart grids: challenges, solutions, and future direction. *Energy Inform* 6, 4. 2023. <https://doi.org/10.1186/s42162-023-00262-7>
4. R.V.A. Monteiro; J.C.R. de Santana; R.F.S. Teixeira; A.S. Bretas; R. Aguiar; C.E.P. Poma;. Non-intrusive load monitoring using artificial intelligence classifiers: Performance analysis of machine learning techniques. *Electric Power Systems Research*, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2021.107347>
5. Desai S, Alhadad R, Mahmood A, Chilamkurti N, Rho S. Multi-State Energy Classifier to Evaluate the Performance of the NILM Algorithm. *Sensors (Basel)*. 2019 Nov 28;19(23):5236. <https://doi.org/10.3390/s19235236>
6. Чернещук І. С. Неінтрузивний моніторинг навантаження – перспективний напрямок моніторингу електроспоживання будівель. *Енергетика: економіка, технології, екологія: науковий журнал*. 2024. № 2. С. 106-118. <https://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2024.303119>
7. Кириленко, О., Стогній, Б., Денисюк, С. і Сопель, М. Smart-моніторинг електроенергетичних систем. *Технічна електродинаміка*. 2024. № 5. С. 048. <https://doi.org/10.15407/techned2024.05.048.4>
8. Bielokha, H.S., Denysiuk, S.P. & Khilenko, V.V. Analyzing Metabolic Processes to Optimize the Technical and Economic Indicators of Microgrid Systems. *Cybern Syst Anal*. 58, 818–824. 2022. <https://doi.org/10.1007/s10559-022-00514-6>

## References

1. Roger Achkar. Decentralized Energy Systems: Empowering Local Communities <https://www.linkedin.com/pulse/decentralized-energy-systems-empowering-local-dr-roger-achkar-lemyf> [date of application 20.09.2024]
2. Seyed Amir Mansouri, Amir Ahmarinejad, Emad Nematbakhsh, Mohammad Sadegh Javadi, Ahmad Rezaee Jordehi & João P.S. Catalão, (2021) Energy management in microgrids including smart homes: A multi-objective approach, *Sustainable Cities and Society*, Vol. 69. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102852>
3. Bakare, M.S., Abdulkarim, A. & Zeeshan, M. (2023). A comprehensive overview on demand side energy management towards smart grids: challenges, solutions, and future direction. *Energy Inform* 6, 4 <https://doi.org/10.1186/s42162-023-00262-7>
4. R.V.A. Monteiro; J.C.R. de Santana; R.F.S. Teixeira; A.S. Bretas; R. Aguiar & C.E.P. Poma (2021) Non-intrusive load monitoring using artificial intelligence classifiers: Performance analysis of machine learning techniques. *Electric Power Systems Research*, Vol. 198. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2021.107347>
5. Desai, S., Alhadad, R., Mahmood, A.N., Chilamkurti, N.K., & Rho, S. (2019). Multi-State Energy Classifier to Evaluate the Performance of the NILM Algorithm. *Sensors (Basel)*, 19. <https://doi.org/10.3390/s19235236>
6. Cherneshchuk I.S. (2024) (Neintruzyvnyi monitorynh navantazhennia – perspektyvnyi napriamok monitorynhu elektrospozhyvannia budivel [Non-intrusive load monitoring – a promising direction of building electricity consumption monitoring] *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohiyi, ekolohiya: naukovyy zhurnal* [Energy: economy, technology, ecology: scientific journal]. Vol 2. P. 106-118. <https://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2024.303119> (in Ukrainian)
7. Kyrylenko, O., Stogniy, B., Denysiuk, S. & Sopol, M. (2024) Smart-monitorynh elektroenerhetychnykh system. [Smart-monitoring of electric power systems]. *Tekhnichna Elektrodynamika*. [Technical electrodynamics]. Vol 5. P. 048. <https://doi.org/10.15407/techned2024.05.048>. (in Ukrainian)
8. Bielokha, H.S., Denysiuk, S.P. & Khilenko, V.V. (2022) Analyzing Metabolic Processes to Optimize the Technical and Economic Indicators of Microgrid Systems. *Cybern Syst Anal*. Vol 58, 818–824. <https://doi.org/10.1007/s10559-022-00514-6>