

The electrical energy saving in power systems of enterprises through the optimal placement of compensating devices using the Lagrange uncertain multipliers method.

Rational power consumption is not a trivial question. Power saving is everyday task of energy control engineering service of enterprises. Power saving task through optimal placement of compensating devices is investigated in article. The method of optimal placement of compensating devices through uncertain Lagrange multipliers was investigated in article

Promised power saving in result of optimization reach 2,9 kWt, also promised power saving per year reaching 25400 kWt-h/year.

**compensating devices, electrical power, stochastic characteristics, optimization methods**

Одержано 24.04.14

УДК 681.516.54

**О. П. Голик, доц., канд. техн. наук, Р. В. Жесан, доц., канд. техн. наук**  
*Кировоградський національний технічний університет*

## Критерій послідовності вмикання енергоустановок при автономному електропостачанні

Запропоновано критерій послідовності вмикання енергоустановок в системах електропостачання з автономними джерелами енергії.

**відновлюване джерело енергії, електропостачання, енергоустановка, функція мети, коефіцієнт ваги показника**

**Е. П. Голик, доц., канд. техн. наук, Р. В. Жесан, доц., канд. техн. наук**  
*Кировоградский национальный технический университет*

**Критерий последовательности включения энергоустановок при автономном электроснабжении**

Предложен критерий последовательности включения энергоустановок в системах электроснабжения с автономными источниками энергии.

**возобновляемый источник энергии, электроснабжение, энергоустановка, целевая функция, весовой коэффициент показателя**

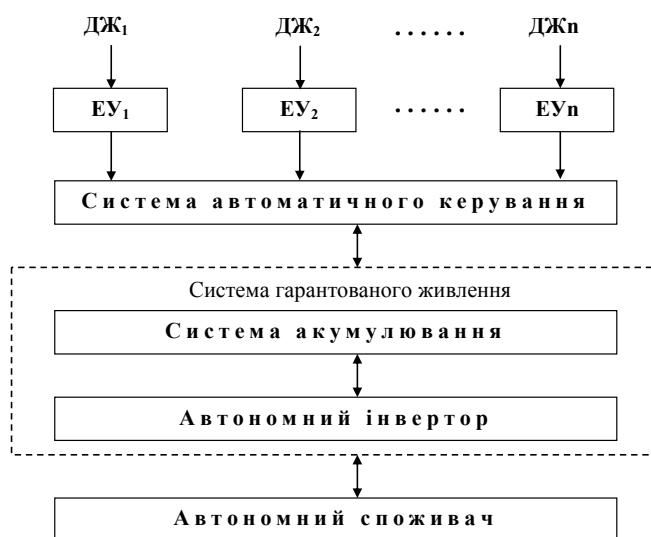
**Вступ.** Автономні енергоустановки потужністю від декількох сотен ват до декількох сотен кіловат є широко розповсюдженими в різних галузях господарства, де поза систем централізованого електропостачання знаходяться багато автономних споживачів. Зараз електропостачання автономних споживачів забезпечується в основному за допомогою бензинових та дизель-генераторів, експлуатація яких вимагає значних витрат на періодичне завезення пального та обслуговування установок. Додатковими негативними факторами використання таких установок є викиди продуктів згорання в навколишнє середовище та шум.

Наразі все більш широкого використання знаходять комбіновані системи, до складу яких входять як резервні електростанції (бензинові, дизельні генератори, тощо) так і відновлювані джерела енергії (ВДЕ). Використання ВДЕ в таких системах дозволяє економити пальне. Проте такі технічні рішення не завжди призводять до

кардинального вирішення проблеми, оскільки ВДЕ, як правило, мають стохастичний характер надходження.

Тому актуальним є аналіз можливості створення систем електропостачання (СЕР) автономних споживачів, які використовують як традиційне пальне так і ВДЕ.

**Постановка задачі.** Спрощену структуру СЕР автономних споживачів показано на рис. 1. До складу даної СЕР входять первинні джерела енергії (наприклад, фотоелектричні перетворювачі, вітроустановка та резервна електростанція). Генерація енергії від сонячної та вітрової енергії, як правило, істотно не співпадає з графіками споживання енергії споживачем. В такій ситуації ключовим компонентом СЕР є система гарантованого живлення, яка призначена для надання електроенергії належної якості. Система акумулявання, яка входить до складу системи гарантованого живлення, необхідна для перетворення та вторинної генерації енергії. З метою забезпечення найбільш ефективного перетворення первинних джерел енергії та задоволення потреб споживача, СЕР повинна мати систему автоматичного керування. В джерелах [1, 2] запропоновано підхід до автоматизації процесу енергопостачання від автономних джерел енергії.



Дж<sub>1</sub>, Дж<sub>2</sub>, ..., Дж<sub>n</sub> – джерела енергії; ЕУ<sub>1</sub>, ЕУ<sub>2</sub>, ..., ЕУ<sub>n</sub> – енергетичні установки

Рисунок 1 – Структура СЕР автономних споживачів

Для короткострокового акумулявання електроенергії (до декількох годин), зазвичай використовують електрохімічні акумулятори. Згідно з [3], для СЕР, які мають в своєму складі ВДЕ, доцільно використовувати свинцево-кислотні акумуляторні батареї. Однак їх розмір, вартість та надійність, як правило, не дають змогу використовувати їх для довгострокового зберігання енергії. Тому їх використовують в якості буферного елемента.

Таким чином, розробка СЕР автономних споживачів, яка використовує в якості первинних джерел енергії ВДЕ та резервну електростанцію, пов'язана з пошуком та обґрунтуванням її оптимальної конфігурації і складу з урахуванням реальних кліматичних умов експлуатації, характеристик обладнання, а також особливостей споживача (очікувані графіки споживання енергії).

Критерієм оптимальності повинна бути мінімальна вартість складових системи при гарантованому електропостачанні. Тобто, необхідно забезпечити такий алгоритм роботи системи, щоб енергетичні потреби споживача були максимально задоволені за

рахунок використання ВДЕ та мінімальним використанням резервної електростанції, з урахуванням умов експлуатації СЕП.

**Аналіз останніх досліджень.** В роботі [4] запропоновано алгоритм роботи блоку керування автономної енергоустановки, який полягає у використанні критерію максимального сукупного ККД енергоустановки. З цією метою було розроблено та використано принцип пріоритетного використання джерел енергії. Енергопостачання споживача здійснюється безпосередньо від первинного джерела (з максимальним ККД). При надлишковій потужності первинного джерела електроенергія накопичується в електрохімічних акумуляторах.

Однак в даному критерії не враховано такі показники роботи енергоустановок: ресурс роботи, готовність установки до вмикання, питома вартість 1 кВт · год. енергії та ін. Таким чином, даний критерій не враховує всі експлуатаційні умови системи.

Для ефективного використання енергетичних установок в роботі [5] запропоновано наступний критерій:

$$J = \frac{E_1 \cdot W_1 + E_2 \cdot W_2 + E_n \cdot W_n}{N_\Sigma} \rightarrow \min, \quad (1)$$

де  $N_\Sigma$  – загальна кількість виробленої енергії енергетичними установками за певний період часу;

$E_1, E_2, \dots, E_n$  – відповідно, питомі вартості 1 кВт · год. електричної енергії;

$W_1, W_2, \dots, W_n$  – кількість виробленої енергії енергоустановкою за певний період часу.

Проте даний критерій також не враховує повністю всі експлуатаційні умови СЕП (ресурс роботи, тривалість технічних перерв, тощо).

**Метою роботи** є розробка критерію послідовності вмикання енергоустановок, який враховує експлуатаційні умови СЕП автономних споживачів.

**Розв'язання задачі.** Для досягнення поставленої мети необхідно щоб критерій послідовності вмикання енергоустановок враховував експлуатаційні умови системи та показники роботи кожної енергоустановки:

- питома вартість 1 кВт · год. енергії, виробленої  $i$ -ою енергоустановкою  $E_i$ ;
- кількість виробленої  $i$ -ою енергоустановкою енергії за певний період часу  $W_i$ ;
- ресурс роботи  $i$ -ої енергоустановки  $r_i$ ;
- готовність  $i$ -ої енергоустановки до вмикання  $L_i$ ;
- тривалість технічних перерв в роботі  $i$ -ої енергоустановки  $B_i$ .

Крім того, необхідно кожному показнику, що входить до критерію, надати відповідний ваговий коефіцієнт. Тоді критерій визначення пріоритетів послідовності вмикання енергоустановок буде мати наступний вигляд:

$$J = E_i \cdot a + \frac{b}{W_i} + \frac{c}{r_i} + L_i \cdot d + B_i \cdot e \rightarrow \min, \quad (2)$$

де  $a, b, c, d, e$  – ваговий коефіцієнт показника в критерії.

Наприклад, для енергоустановки з ВДЕ питому вартість можна визначити за допомогою наступного виразу [5]:

$$E_i = \frac{S_i}{W_i \cdot T_i}, \quad (3)$$

де  $S_i$  – вартість енергоустановки, грн.;

$T_i$  – кількість годин роботи енергоустановки в певному періоді, год.

Аналогічним чином можна визначити питому вартість електростанції, при цьому необхідно також враховувати вартість пального.

Ресурс роботи енергоустановки, як правило, наводиться в паспорті технічних характеристик, який надається виробником даної енергоустановки. Готовність енергоустановки до вмикання визначається принципом роботи даної енергоустановки, наприклад, наявність двигунів вимагає певного часу для запуску енергоустановки та генерування електроенергії. Тривалість технічних перерв – це час при якому енергетична установка не зможе генерувати електричну енергію, внаслідок будь-яких технічних поломок, які призводять до неможливості роботи енергоустановки.

В різних джерелах [6-8] наводяться рекомендації по визначенню вагових коефіцієнтів в критерії. Для цього можна використати багатопараметричну оптимізацію.

Багатопараметрична оптимізація представляє собою спробу знайти деякий компроміс між параметрами за якими необхідно оптимізувати розв'язок. Важливим елементом при такій оптимізації є присвоєння коефіцієнтів ваги кожному параметру. Серед найвідоміших методів є визначення коефіцієнтів ваги за допомогою експертів.

Розглянемо основні методи визначення експертних оцінок.

*Безпосереднє присвоєння коефіцієнтів ваги.*

При даному методі кожний 1-ий експерт для кожного  $k$ -го параметра повинен присвоїти коефіцієнт ваги  $\alpha_{ik}$  таким чином, щоб сума всіх коефіцієнтів ваги, присвоєних одним експертом для різних параметрів, дорівнювала одиниці:

$$\sum_{i=1}^k \alpha_{ik} = 1; \quad i = \overline{1, n}, \quad (4)$$

де  $n$  – кількість експертів.

Використовують наступний алгоритм.

1. Визначити кількість параметрів  $k$ , які будуть включені до функції мети.
2. Створити таблицю для експертів. В даній таблиці вказують кількість експертів, параметри, середнє значення коефіцієнта ваги, середнє квадратичне відхилення та дисперсію.
3. Визначити коефіцієнт варіабельності:

$$v = \frac{\sigma}{\alpha_{cp}}, \quad (5)$$

де  $\sigma$  – середнє квадратичне відхилення;

$\alpha_{cp}$  – середнє значення коефіцієнта ваги.

При  $v < 0,2$  оцінки експертів можна вважати узгодженими. У випадку  $v > 0,2$  доцільно провести з експертами обговорення важливості оцінювання параметрів після чого повторити експертизу.

Досвід показує, що задоволення експертами вимоги при  $k > 3$  викликає труднощі. Тому можна використати інші методи.

*Оцінка важливості параметрів в балах.*

При даному методі кожний експерт оцінює параметри за десятибальною шкалою. При цьому оцінка, яка присвоюється кожним експертом кожному параметру,

не пов'язана з оцінками, які він вже присвоїв іншим параметрам. Наприклад, всім параметрам можна присвоїти однакову оцінку.

Визначення експертних оцінок в балах виконують за наступним алгоритмом.

1. Сформуванати таблицю в яку вносять оцінки всіх параметрів в балах.

2. Перейти від оцінок параметрів в балах до значень коефіцієнтів ваги, сума яких для всіх параметрів дорівнює одиниці у кожного експерта.

*Метод парних порівнянь.*

Цей метод реалізується за допомогою наступного алгоритму.

1. Визначити кількість параметрів  $k$  та кількість експертів  $n$ .

2. Для кожного експерта створити окрему таблицю. В цій таблиці експерт повинен ввести оцінку парних порівнянь, яка полягає в наступному. Якщо  $k$ -ий параметр важливіший  $j$ -го, то в комірці, що належить  $k$ -му рядку та  $j$ -му стовпчику, присвоюється 1, інакше – 0.

Таким чином, для визначення параметрів коефіцієнтів ваги в критерії послідовності вмикання енергоустановок, вираз (2), доцільно використовувати методи визначення експертних оцінок. Найбільш доцільним є використання методу парних порівнянь та оцінка важливості параметрів в балах.

**Висновки.** Використання запропонованого критерію дає змогу визначити умови ефективного використання автономних джерел енергії та послідовності вмикання енергоустановок, при цьому враховуються умови експлуатації СЕП автономних споживачів. Критерій пріоритетів послідовності вмикання енергоустановок в СЕП дає можливість ефективно використовувати енергію від ВДЕ у відповідності до енергетичних потреб автономного споживача.

## Список літератури

1. Голик О. П. Підхід до розв'язання задачі автоматичного керування процесом автономного енергопостачання в умовах невизначеності / О. П. Голик, Р. В. Жесан, Ю. Б. Беляєв // Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту: Матеріали міжнародної наукової конференції. – Херсон: ХНТУ, 2013. – С. 94-96.
2. Голик О. П. Підхід до розв'язання задачі автоматизації процесу керування електропостачанням автономних споживачів в умовах невизначеності / О. П. Голик, Р. В. Жесан, І. А. Березюк // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. / Вип. 26 – Кіровоград: КНТУ, 2013. – С. 218-224.
3. Голик О. П. Аналіз основних характеристик електрохімічних акумуляторів, що впливають на можливість та ефективність їх використання в автоматизованих системах енергопостачання автономного споживача на основі відновлювальних джерел енергії / О. П. Голик, Р. В. Жесан, В. О. Дудник // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України” / Вип. 73, Том 1. – Харків: ХНТУСГ, 2008. – С. 120-127.
4. Попель О. С. Автономные энергоустановки на возобновляемых источниках энергии / О. С. Попель // Энергосбережение. – 2006. – № 3. – С. 70-76.
5. Голик О. П. Моделі прийняття рішень для систем автоматизації процесу керування енергопостачанням автономних споживачів в умовах невизначеності вхідної інформації / О. П. Голик, Т. В. Міняйчева // Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту: Матеріали міжнародної наукової конференції. – Херсон: ХНТУ, 2012. – С. 252-254.
6. Черноуцкий И. Г. Методы принятия решений / Черноуцкий И. Г. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.
7. Казаков И. Е. Методы оптимизации стохастических систем / Казаков И. Е., Гладков Д. Я. – М.: Наука, 1987. – 304 с.
8. Сергиенко И. В. Математические модели и методы решения задач дискретной оптимизации / Сергиенко И. В. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Наукова думка, 1988. – 472 с.

**Elena Golik, Roman Zhesan**

*Kirovograd National Technical University*

**Criterion of sequence of including of the power settings at an autonomous power supply**

The purpose of work is development of criterion of sequence of including of the power settings, which takes into account the operating terms of the system of power supply of autonomous users.

The criterion of sequence of including of the power settings is offered in the systems of power supply with the autonomous sources of energy. The criterion of optimum must be a minimum cost of constituents of the system at the assured power supply. That, it is necessary to provide such algorithm of work of the system, that power consumer need were maximally satisfied due to the use of refurbishable energy sources and by the minimum use of reserve power-station, taking into account external of the system of power supply environments.

The criterion of priorities of sequence of including of the power settings in the systems of power supply enables effectively to use energy of refurbishable energy sources in accordance with the power necessities of autonomous user.

**renewable energy source, power supply source, power plant, goal function, coefficient of weight of index**

Одержано 29.04.14

**УДК 621.315.175:536.246**

**О. А. Козловський, асист., А. Ю. Орлович, проф., канд. техн. наук,**

**В. В. Клименко, проф., д-р техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет*

## **Експериментальні дослідження нестационарних теплових режимів неізолюваних проводів повітряних ліній перед процесом обледеніння**

Для визначення діапазонів уставок системи технічної діагностики проводів при обледенінні проведені лабораторні дослідження.

Описані умови і методи експериментальних досліджень, лабораторне обладнання та конструкція досліджуваних зразків проводу. Діапазон потужності охолодження зразка неізолюваного проводу АС-50/8, необхідної для утворення на ньому штучних ожеледно-паморозевих відкладень, при найбільш ймовірних метеорологічних умовах для його природнього обледеніння склав 0,25-0,17 Вт/см.

Отримані експериментальні дані дозволять підвищити точність роботи систем технічної діагностики проводів в умовах обледеніння.

**обледеніння проводів, нестационарний тепловий режим, технічна діагностика проводів**

**А.А. Козловский, асист., А. Ю. Орлович, проф., канд. техн. наук, В. В. Клименко, проф., д-р техн. наук**

*Кировоградский национальный технический университет*

**Экспериментальные исследования нестационарных тепловых режимов неизолированных проводов воздушных линий перед процессом обледенения**

Для определения диапазонов уставок системы технической диагностики проводов при обледенении проведены лабораторные исследования.

Описанные условия и методы экспериментальных исследований, лабораторное оборудование и конструкция исследуемых образцов провода. Диапазон мощности охлаждения неизолированного образца провода АС -50 /8, необходимый для образования на нем искусственных гололедно-изморозевых

© О. А. Козловський, А. Ю. Орлович, В. В. Клименко, 2014