

УДК 631.2:621.1

## ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУР КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ЗА НАДІЙНІСНО-ВАРТІСНИМ КРИТЕРІЄМ

В.В. КАПЛУН

Київський національний університет технологій та дизайну

*В статті наведені результати структурної оптимізації комбінованих систем електроживлення з автономними (традиційними та поновлюваними) джерелами для обраних інваріантних структур за надійнісно-вартісним критерієм*

Аналіз, оцінка та забезпечення надійності таких відповідальних систем як комбінована система електроживлення (КСЕ) є необхідною і важливою складовою частиною їх створення [1]. Аналіз надійності КСЕ, передусім, дає можливість визначити особливі чинники та специфіку системи. КСЕ відноситься до класу складних систем з ієрархічною структурою [2,3].

Як відомо, системою є об'єкт, що піддається декомпозиції і має декілька функцій, що виконуються. Для складних систем надійнісно-вартісні показники оцінюються за кожною з функцій, що виконуються, на всіх етапах життєвого шляху виробів: на стадії проектування, виготовлення, експлуатації. Показники надійності КСЕ визначаються з метою підтвердження відповідності вимогам технічної документації енергооб'єктів, де вони встановлені. Ці показники повинні бути визначені на стадії розробки та аванпроекування КСЕ і забезпечені на стадії технічної реалізації.

### *Постановка завдання*

Одним з найважливіших критеріїв оцінки ефективності КСЕ є собівартість електроенергії, що генерується нею. На базі цього будемо в подальшому проводити порівняльну оцінку різних реалізацій КСЕ: з точки зору забезпечення параметрів і функціональних властивостей та оптимального розподілу виробництва електроенергії між джерелами, що входять до складу КСЕ [1].

Для розрахунку собівартості електроенергії КСЕ необхідно визначити встановлену розрахункову потужність:

$$P_{KCE} = \varepsilon_1 P_{уст} + \varepsilon_2 P_{уст} + \dots + \varepsilon_m P_{уст} + P'_{ЗП}, \quad (1)$$

де  $P_{уст}$  – сумарна розрахункова потужність споживачів  $C_1 \dots C_m$ , які живляться від КСЕ,

$P'_{ЗП}$  – потужність основного джерела для зарядних пристроїв джерел з накопичувачами типу  $D_1$  та  $D_2$ ;

$\varepsilon_1 \dots \varepsilon_m$  – коефіцієнт попиту на сумарну розрахункову потужність споживачів  $C_1 \dots C_m$  відповідно.

Розрахунковий об'єм електроенергії АСЕ будемо визначати:

$$W_{KCC} = \varepsilon_1 P_{уст} t_1 + \varepsilon_2 P_{уст} t_2 + \dots + \varepsilon_m P_{уст} t_m + P'_{ЗП} t'_{ЗП}, \quad (2)$$

де  $W_i = \varepsilon_m P_{уст} t_m$  – об'єм виробництва енергії  $i$ -тим джерелом  $W_i$  для  $m$ -го споживача  $C_m$ .

Тоді формула для визначення собівартості електроенергії КСЕ буде мати вигляд:

$$e_{КСЕ} = \frac{w_1 B_{11} + w_2 B_{22} + w_3 B_{33} + \dots + w_i B_i}{W_{КСЕ}}, \quad (3)$$

де  $B_i$  характеризує питому вартість енергії від  $i$ -го (резервного) джерела енергії при живленні  $n$ -го споживача.

За прийнятою умовою такий режим електроживлення матиме місце лише в ті проміжки часу, коли основне джерело (або джерело, обране за алгоритмом роботи комбінованої системи буде визначене пріоритетним) з якої-небудь причини не зможе забезпечити задекларованим об'ємом електроенергії потреби споживачів певної технологічної групи.

Запропонований підхід структурної оптимізації комбінованих систем електроживлення з автономними традиційними та поновлюваними джерелами, що дозволяє здійснювати комплексне енергозабезпечення в залежності від можливих інваріантних структур системи з урахуванням надійнісно-вартісних показників.

#### **Результати та їх обговорення.**

У загальному випадку процес функціонування джерел є альтернуючим процесом відновлення [4,5]. У випадку відмови джерела  $D_1$  функцію електроживлення деякий час виконує одне з працездатних джерел з множини  $D_2^1, \dots, D_2^{n_1}$ . У загальному випадку послідовність активації джерел  $D_2^1, \dots, D_2^{n_1}$ , у разі відмови джерела  $D_1$ , задається загальним алгоритмом роботи АСЕ. У ненавантаженому резерві з витримкою часу, необхідною для активації, функціонують джерела множини  $D_3^1, \dots, D_3^{n_2}$ . У випадку відмови джерела  $D_1$  (джерело  $D_1$  завжди доступне), через деякий час (витримка часу обумовлюється ступенем автоматизації джерел множини  $D_3^1, \dots, D_3^{n_2}$ ) одне з джерел  $D_3$  починає виконувати основну функцію електроживлення (звільняючи від цього джерела з множини  $D_2^1, \dots, D_2^{n_1}$ ) аж до відновлення  $D_1$  або у відповідності до загального алгоритму функціонування КСЕ.

Граничні ймовірності напівмарковського процесу у станах  $d = \langle d_1, d_2, d_3 \rangle$  визначаються співвідношенням

$$p(d_1, d_2, d_3) = \frac{\rho(d_1, d_2, d_3) m(d_1, d_2, d_3)}{\sum_{d \in D} \rho(d_1, d_2, d_3) m(d_1, d_2, d_3)} \quad (4)$$

Ймовірності  $p \langle d_1, d_2, d_3 \rangle$  дають змогу визначати деяку частку часу з досить великого проміжку часу функціонування системи, протягом якого вона знаходиться у стані  $\langle d_1, d_2, d_3 \rangle$ .

Тобто, якщо розглянути величину

$$\frac{t\rho(d)m(d)}{\sum_{d \in D} \rho(d)m(d)},$$

то вона наближено дає середній час перебування напівмарковського процесу в стані  $\langle d_1, d_2, d_3 \rangle$  за великий час  $t$ .

Припустимо, що нам відомі середні питомі витрати  $c(d_1, d_2, d_3)$  від перебування системи у стані  $\langle d_1, d_2, d_3 \rangle \in D$ . Так для станів  $(0,0,2), (0,0,0)$  величина  $c(d_1, d_2, d_3)$  відповідає питомим збиткам, які несе споживач електроенергії у разі відмови системи (знеструмлення електроустановки); для станів  $(0,1,2), (0,1,3), (0,1,0)$  величина  $c(d_1, d_2, d_3)$  відповідає додатковим витратам системи, що виникають внаслідок зростання вартості електроенергії за час автономної роботи КСЕ при живленні від джерела  $D_2$ ; для стану  $(0,0,3)$   $c(d_1, d_2, d_3)$  відповідає додатковим витратам системи, що виникають внаслідок зростання вартості електроенергії за час автономної роботи АСЕ при живленні від джерела  $D_3$ . Для станів, у яких одне з джерел поновлюється, відповідна величина  $c(d_1, d_2, d_3)$  може враховувати вартість поновлення.

Тоді вираз

$$\frac{t \sum_{d \in D} c(d) \rho(d) m(d)}{\sum_{d \in D} \rho(d) m(d)}$$

дає змогу визначити середні збитками системи за великий час  $t$ , а величина

$$C = \frac{\sum_{d \in D} c(d) \rho(d) m(d)}{\sum_{d \in D} \rho(d) m(d)} \tag{5}$$

дорівнює середнім питомим витратам системи.

Вважаємо, що всі величини  $c(d)$ ,  $m(d)$ ,  $\rho(d)$  є функціями від  $x_1, x_2, x_3, x_4$ ,

де  $x_i, i = \overline{1,3}$  – ціле число, що характеризує обрану модель джерела  $D_i$ ;

$x_4$  – ціле число, що характеризує обране значення витримки часу при активації джерела  $D_3$ .

Таблиця 1. Складові середніх питомих вартостей електроенергії у працездатних станах системи

Стан $\langle d_1, d_2, d_3 \rangle$	Витрати $c \langle d_1, d_2, d_3 \rangle$	Коментарій
1,1,1	0	$D_1$ працює
1,1,0		
1,0,1		
1,0,0		
0,1,0	$e_2$	$D_1$ відновлюється, $D_2$ працездатне (працює), $D_3$ відновлюється
0,1,2	$e_2$	$D_1$ відновлюється, $D_2$ працездатне (працює), $D_3$ загаюється
0,1,3	$e_3$	$D_1$ відновлюється, $D_2$ працездатне (не задіяне), $D_3$ працює
0,0,3	$e_3$	$D_1, D_2$ відновлюються, $D_3$ працює
0,0,2	– (збитки споживача внаслідок перерви електроживлення)	Система непрацездатна
0,0,0	– (збитки споживача внаслідок перерви електроживлення)	

Виходячи з викладеного, важливим з точки зору моделювання є вирішення оптимізаційної задачі, при якій знаходимо значення  $x_i, i = \overline{1,4}$ , при яких середня питома вартість генерованої електроенергії КСЕ при відмові джерела  $D_1$  досягає мінімуму

$$e_{КСЕ} \rightarrow \min, \quad (6)$$

при обмеженнях на надійність системи: коефіцієнт готовності  $K_G$  (коефіцієнт оперативної готовності  $K_{ГО}$ ) системи був би не менший ніж задана (нормована) величина  $K_G$  ( $K_G > K$ ).

Числовим моделюванням встановлено, що найкращий варіант структури з точки зору забезпечення мінімуму питомої собівартості  $e_{АСЕ}$  належить деякій множині варіантів структур. На рис. 1

та рис. 2 показані еволюції  $e_{ACE}$  та  $K_G$ , в залежності від варіанту реалізації структури КСЕ без урахування збитків споживача при відмові КСЕ.



Рис. 1. Залежність  $e_{KSE}$  від обраного варіанту структури КСЕ з динамічним та статичним джерелами



Рис. 2. Залежність  $K_G$  від обраного варіанту структури АСЕ з динамічним та статичним джерелами

Відзначимо незначну (порівняно з  $e_{KSE}$ ) чутливість  $K_G$  до зміни структури КСЕ. Як бачимо, при двократному резервуванні джерел КСЕ її надійність, з точки зору забезпечення безперервності електроживлення, є задовільною на всьому інтервалі досліджень (всіх досліджуваних структур), а сформульоване раніше припущення про вибір у якості основного характеристичного критерію оцінки ефективності КСЕ питомої собівартості генерованої електроенергії є вірним.

**Висновки.**

Таким чином, шляхом чисельного моделювання досліджена питома собівартість електроенергії КСЕ з динамічним та статичним джерелами, яка в межах масиву чисельного моделювання змінюється в широких межах від \$1,42 до понад \$100 за кВт×год. і є особливо чутливою до показників надійності системи централізованого електропостачання. Показники надійності, зокрема стаціонарний коефіцієнт готовності  $K_T$  змінюється в незначних межах у всьому масиві варіантів структури КСЕ, тому для оцінки та аналізу КСЕ з точки зору надійності слід перейти до іншого комплексного показника надійності. Таким показником може бути обраний коефіцієнт оперативної готовності  $K_{ГО}$ , оскільки КСЕ відноситься до об'єктів, що відновлюються.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Каплун В.В. Показники надійності та ефективності як чинники структурно-алгоритмічного синтезу гетероструктурних автономних систем електроживлення// Відновлювана енергетика. – 2008. –№1(12) –с.12–21.
2. ДСТУ 2862-94 Надежность техники. Методы расчета показателей надежности. Общие требования. - Введен в действие 08.12.94.- К.: Изд-во Госстандарта, –1994.– 35 с.
3. ДСТУ 3433-96 (ГОСТ 27.005-79) Міждержавний стандарт. Державний стандарт України. Надійність техніки. Моделі відмов. Основні положення. - Введено вперше. Введ. 05.12.97.- Вид. Держстандарту України, –1996.– 46 с.
4. Корлат А.Н., Кузнецов В.Н., Новиков М.М., Турбин А.Ф. Полумарковские модели восстанавливаемых систем и систем массового обслуживания. Кишинев., Штиинца.–1991.–276 с.
5. Шишенок Н.А., Репкин В.Ф., Барвинский Л.Л. Основы теории надежности и эксплуатации радиоэлектронной техники // –М.: Советское радио, –1965. –265 с