



Євтух П. Стохастичне оцінювання економічності системи електропостачання (ERP) [Електронний ресурс] / П. Євтух, І. Бендерська // Соціально-економічні проблеми і держава. — 2012. — Вип. 2 (7). — С. 61-66. — Режим доступу до журн. : <http://sepd.tntu.edu.ua/images/stories/pdf/2012/12ypse.pdf>.

УДК 338:658.5

JEL Classification: L23, C61

Петро Євтух, Ірина Бендерська

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001, Україна,
*д.т.н., проф., кафедра систем електропостачання та комп'ютерних технологій в
електроенергетиці;
аспірант*

СТОХАСТИЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ (ERP)

Анотація. У статті підібрано математичний апарат для застосування стохастичної моделі випадкового характеру електричного навантаження у системах електропостачання.

Ключові слова: : стохастична оцінка, модель, електричне навантаження, критерії.

Петр Евтух, Ирина Бендерская

СТОХАСТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ (ERP)

Аннотация. В статье подобран математический аппарат для применения стохастической модели случайного характера электрической нагрузки в системах электроснабжения.

Ключевые слова: стохастическая оценка, модель, электрическая нагрузка, критерии.

Petro Yevtukh, Iryna Benderska

Ternopil Ivan Puluj National Technical University,
Ruska str., 56, Ternopil, 46001, Ukraine
*Dr., Prof., Department of Power Systems and computer technologies in power industry;
Postgraduate student*

STOCHASTIC EVALUATION OF POWER SUPPLY SYSTEM EFFICIENCY (ERP)

Abstract. The body of mathematics for the application of stochastic model of random nature of electric load in the power consumption systems is chosen in the article.

Keywords: stochastic evaluation; model; the electric load; criteria.

Yevtukh, P., Benderska, I. (2012). Stochastic evaluation of power supply system efficiency (ERP) [Stokhastychnе otsynuyvannya ekonomichnosti systemy elektropostachannya (ERP)]. *Sotsial'no-ekonomichni problemy i derzhava - Socio-Economic Problems and the State* [online]. 7 (2), p.61-66. [Accessed December 2012]. Available from: < <http://sepd.tntu.edu.ua/images/stories/pdf/2012/12ypse.pdf> >.

Актуальність проблеми. Стохастичні критерії, як відомо, часто більш інформаційні порівняно з детермінованими особливо при аналізі взаємодії між елементами електроенергетичних систем.

Стохастична оцінка економічної системи чи процесу відображає зв'язки між вимірними величинами, причому хоча б деякі з цих зв'язків мають імовірнісний характер чи хоча б деякі з величин є випадковими. Самі зв'язки формалізуються як рівняння, нерівності чи умови оптимізації функцій змінних. Стохастична оцінка економічної динаміки враховує випадковість та невизначеність, що притаманні динамічним економічним процесам та системам та дозволяють більш адекватно описати існуючі складні економічні явища та процеси [1]. Появі стохастичних оцінок сприяло нагромадження статистичних даних, що дало дослідникам можливість працювати не лише з абстрактними моделями, але й з реальними параметрами і результатами економічних процесів. З'явилась можливість не тільки коригувати теоретичні оцінки, але й враховувати фактори, що мають випадковий характер. У рівняннях стохастичних моделей відсутня жорстка функціональна залежність між параметрами (змінними).

Врахування стохастичних складових дозволяє отримати нові результати, що більшою мірою відображають реальні явища та процеси в економічності I .

Постановка завдання. Метою даної статті є підвищення надійності економічного рішення, що приймається при проектуванні і експлуатації системи електропостачання (ЕСЕ), в багатьох випадках визначається підвищенням достовірної оцінки самого критерію економічності. В даний час в ЕСЕ часто використовується детермінована оцінка цього критерію, в якості якої зазвичай виступають мінімальні затрати. При випадкових змінах величин, що входять в постійні затрати (ПЗ) (на самперед при електричних навантаженнях), ці затрати носять випадковий характер. Тому об'єктивною і актуальною є тенденція їх стохастичної оцінки.

Виклад основного матеріалу. В основі моделі стохастичної мінімізації [1] використовується розгляд (ПЗ) для n порівняльних для n - мірної випадкової величини з n - мірної функції розподілу:

$$F(Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n) = \prod_{i=1}^n F_i(Z_i)$$

Вибраний в якості оптимального j -й варіант повинен з максимальною вірогідністю P_j - задовольняти вимоги, що ПЗ цього варіанту Z_j менше ПЗ всіх решта n - і варіантів:

$$P_j = \max_{i=1}^n p_i = \max_{i=1}^n \left\{ p \left[Z_i = \min_{V=1}^n Z_V \right] \right\} \quad (1)$$

де P - символ ймовірності.

Для ймовірності P_i - отримані наступні вирази:
у вигляді інтеграла Римана:

$$P_i = \int_{Z_{Min}}^{Z_{Max}} \prod_{V=1, V \neq i}^n [1 - F_V(Z)] f_i(Z) dZ \quad (2)$$

В вигляді інтеграла Стильєса

$$P_i = \int_{Z_{Min}}^{Z_{Max}} \prod_{V=1, V \neq i}^n [1 - F_V(Z)] df_i(Z) \quad (3)$$

де $Z_{Max} = \max_{V=1}^n Z_{V \max}$; $Z_{Min} = \min_{V=1}^n Z_{V \min}$

Обчислення інтегралів у виразах (2, 3) можливе чисельними методами [2]. В розробленій програмі аналітичного розрахунку для ЕОМ використовується метод Симпсона. Можливий і другий метод отримання ймовірності P_i - імітаційним моделюванням (ІМ). Об'єм розрахунків при виборі оптимального варіанту за умови вираження (І) значно зменшується при парному порівнянні варіантів.

При використанні запропонованої стохастичної оцінки мінімуму ПЗ не відіграє ролі величина абсолютного значення P_j : величина ймовірності P_i зменшується із збільшенням числа n при розглянутих варіантах, причому:

$$\sum_{i=1}^n P_i = 1 \quad (4)$$

Запропонована стохастична модель може бути використана для вибору оптимального варіанту, що визначається по критерію економічності та електричних втратах.

В процесі реалізації даної моделі роблять визначення функції розподілу $F_i(z_i)$ для ПЗ кожного i -го варіанту, що можна визначити двома способами: аналітичним (на основі функцій розподілу впливаючих змінних) і ІМ. Перший спосіб ефективний при врахуванні в складових ПЗ змінних величин тільки при навантаженні. Другий – являється універсальним і найбільш ефективним у нашому випадку, коли, окрім навантаження в ПЗ розглядаються зміни других складових.

Для розрахунку $F_i(z_i)$ однієї вітки не потрібно ніяких додаткових вихідних даних при порівнянні з детермінованою моделлю вибору оптимального варіанту. При цьому замість фіктивної величини максимального (розрахункового) струму, визначеного за іншими його параметрами розподілення - середньому значенню \bar{I} і середньоквадратичному відхиленню $\sigma[I]$ (або коефіцієнту варіації $V[I]$), використовується безпосередньо ці параметри. Методи визначення I відомі. В статті приведенні аналітичні вирази для визначення коефіцієнтів варіації $V[Q]$ реактивної потужності для n ідентичних електроприймачів. Ці вирази з допустимою похибкою можна використовувати і для n різних електроприймачів, використовуючи середнє значення їх коефіцієнтів варіації $V[P]$ і $V[Q]$, а також коефіцієнтів кореляції $r_{p_i, p_j}, r_{q_i, q_j}$ для кожного i -го і j -го електроприймача. Тоді величину $V[I]$ можна розрахувати за формулою:

$$V[I] = \sqrt{\frac{4(\bar{P}^2 + \bar{Q}^2)^3 (\bar{P}^2 + \bar{Q}^2 + V^2[P]\bar{P}^2 + V^2[Q]\bar{Q}^2)}{[2(\bar{P}^2 + \bar{Q}^2)^2 \bar{P}^2 \bar{Q}^2 (V^2[P] + V^2[Q] - 2r[P, Q]v[P]v[Q])]^2} - 1} \quad (5)$$

де $r[P, Q]$ - коефіцієнти кореляції групових активної і реактивної потужності. При відсутності інформації про коефіцієнти кореляції їх можна вибрати рівними за статистичними даними. Якщо інформація для аналітичного розрахунку $V[I]$ відсутня, можна скористатися середньостатистичними даними цих коефіцієнтів.

Для визначення $F_i(z_i)$ сумарних ПЗ додатковими вихідними даними являється коефіцієнт кореляції між струмом і навантаженням в визначених вітках. При відсутності відомостей про ці коефіцієнти можна використовувати раніше визначені їхні середньостатистичні данні або (як і при дослідженні детермінованої моделі вибору оптимального варіанту) ними залишається знехтувати.

Запропонована стохастична модель вибору оптимального варіанту може бути використана для вибору і оптимізації параметрів окремих елементів, а також їх режимів за критерієм економічності.

У таблиці в вигляді прикладу наведені результати розрахунку на ЕОМ по вибору поперечного перерізу заземленого кабелю 10 кВ, при використанні запропонованої моделі і моделі мінімуму маточікування ПЗ, що використовується в оптимізованих задачах. Вихідні данні: $\bar{I}=75$; $V[I]=0,3$; вартість втрат електроенергії $m_0=0,15$ грн./кВт год; час роботи кабелю під навантаженням $T_{P1}=4000\text{год}$ $T_{P2}=8760\text{год}$. Аналіз даних таблиці показує, що до установки слід застосовувати кабель поперечного перерізу $3\times 150\text{ мм}^2$ при T_{P1} і поперечним перерізом $3\times 185\text{ мм}^2$ при T_{P2} . Вибір по мінімуму маточікування ПЗ дає в обох випадках поперечний переріз кабелю на одну степінь менше оптимального.

Таблиця 1

Аналіз даних математичного очікування

Номер варіанту	F , мм^2	$T_{P1}=4000\text{г}$ $T_{P2}=8760\text{г}$			
		$M[3']$ $\frac{\text{грн}}{\text{г.км.кВа}}$	P_i	$M[3']$ $\frac{\text{грн}}{\text{г.км.кВа}}$	P_i
1	50	1,054	0,00	1,666	0
2	70	0,947	0,003	1,372	0
3	95	0,913	0,064	1,208	0
4	120	0,910	0,287	1,148	0,036
5	150	0,928	0,327	1,120	0,194
6	185	1,020	0,227	1,134	0,390
7	240	1,060	0,098	1,178	0,380

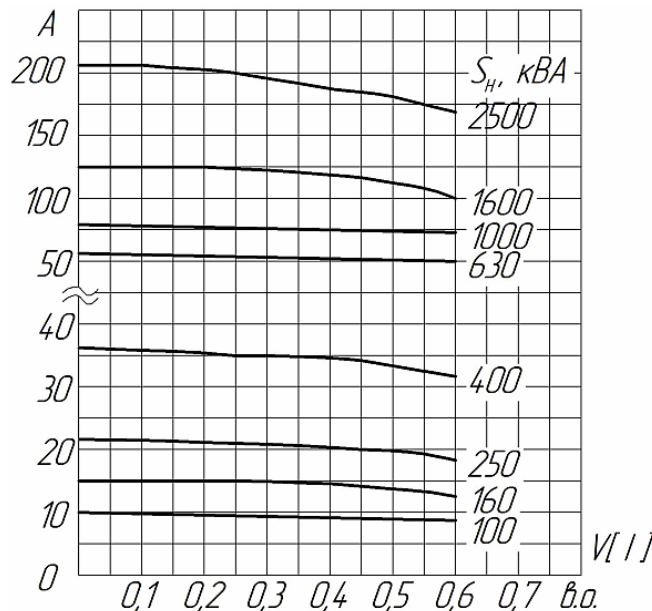


Рис. 1. Криві граничних параметрів розподілу струму навантаження трьохфазних масляних трансформаторів ТМ 10/0,4 кВ за критерієм економічності при $m_{0,6}=0,015\text{грн./кВт. год.}$ $T_{p.6}=4000\text{ год.}$

Для практичного вибору або оптимізації параметрів окремих елементів в ЕСЕ для кожного із них можна розрахувати і побудувати криві визначених параметрів розподілу навантаження струму за критерієм економічності (рис.1) або зоні економічних інтервалів цих параметрів (рис.2). Будь яка точка з кожної кривої або в будь якій зоні відповідає парі параметрів \bar{I} і $V[I]$, при яких виконується умова (1).

Криві на рис.1 або в зоні рис.2 розраховані для конкретних або базових значень вартості електроенергії $m_{o,б}$ і часу роботи під навантаженням $T_{p,б}$. При других значеннях m_o і T_p задане або шукане за рис.1, 2 значення \bar{I} приводить до нових вихідних даних \bar{I}_{np} за формулою:

$$\bar{I}_{np} = \bar{I} \sqrt{\frac{m_o T_p}{m_{o,б} T_{p,б}}} \quad (6)$$

Такий підхід до вибору параметрів окремих елементів ЕСЕ використовується при розробці припису по виборі трьохфазних силових масляних трансформаторів.

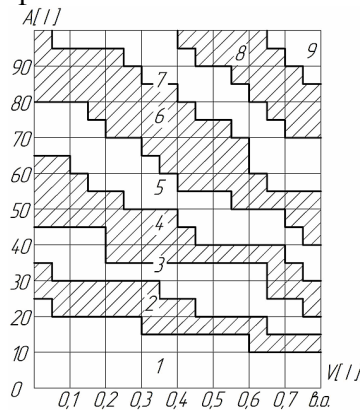


Рис.2. Зона економічних інтервалів розподілу навантаження кабелю ААШв/У 10 кВ, прокладеного в повітрі при

$m_{o,б} = 0,01 \text{ грн./кВт.год}$ і $T_{p,б} 4000 \text{ год.}$: $1 - F = 25 \text{ мм}^2$; $2 - F = 35 \text{ мм}^2$;; $9 - F = 240 \text{ мм}^2$.

На рис. 3 запропоновано три порівняльні варіанти схеми ділянок розподілу мережі 10 кВ. Варіанти відрізняються схемами, кількістю, січення і довжиною кабельних ліній. Електричні навантаження споживачів для всіх варіантів мають однакові статистичні характеристики. Статистичні характеристики електричного навантаження кабельних ліній отримані стохастичним розрахунком поточкорозподілу. Числовим рішенням інтеграла (3) були отримані наступні значення ймовірностей P_i для трьох варіантів:

$$P_1 = 0,4972 \quad P_2 = 0,2633 \quad P_3 = 0,2395$$

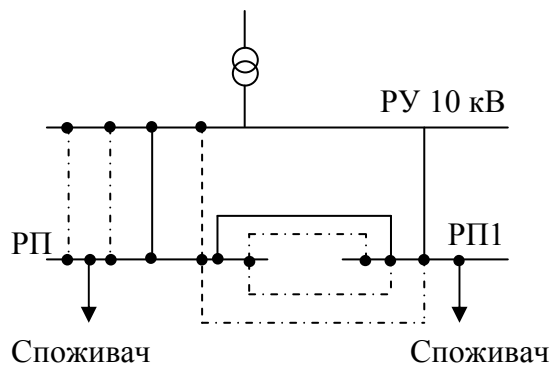


Рис. 3. Варіанти схеми розподілу мережі 10 кВ

Висновки. Для підвищення економічності ЕСЕ пропонується до застосування в інженерній практиці стохастична модель оцінки критерію економічності, найбільш повне відображення випадкового характеру цього критерію. Підібрано математичний апарат по застосуванню даної моделі при врахуванні випадкового характеру електричного навантаження. Для вибору і оптимізації параметрів окремих елементів ЕСЕ рекомендується використовувати криві або зони, допустимі по критерію економічності параметрів розподілу струму навантаження.

Список літератури

1. Жежеленко И.В. Показатели качества электроэнергии на промышленных предприятиях. – М. Энергия, 1977. – 128с.
2. Электротехнический справочник. Том 1. – Москва Энергия 1980 г. ст. 213

References:

1. Zhezhelenko I.V. Indicators of quality of electric energy at industrial predpreyatyah [*Pokazateli kachestva elektroenergii na promyshlennykh predpreyatiyakh*]. Moscow, Energy, 1977, p. 128.
2. Electrical Reference [*Elektrotekhnicheskij spravochnik*]. Moscow, Energy, 1980, Vol. 1, p. 213.

Рецензия: д.т.н., проф. Федорейко В. С.

Reviewed: Dr., Prof. Fedoreyko V. S.

Received: October, 2012

1st Revision: November, 2012

Accepted: November, 2012

