

4. Zakladnyi O.O. Prohramne zabezpechennya funktsional'noho diahnostuvannya enerhoeffektivnosti elektromekhanichnykh system z asynkhronnymy dvyhunamy / O.O. Zakladnyi, O.M. Zakladnyi // Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohiia, ekolohiia. 2011. #2. S. 102-108.

УДК 621.311.001.57(063)

О.А. ЗАКЛАДНОЙ

### МЕТОДИКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

В статье приведена методика функционального диагностирования энергоэффективности, процессов энергопотребления и энергоиспользования асинхронного электропривода, а также результаты аналитической проверки методики для асинхронных двигателей новой промышленной серии 5А.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, асинхронный двигатель, диагностирование, коэффициент полезного действия, коэффициент мощности.

УДК 621.311

Р.О. БУЙНИЙ

### ВРАХУВАННЯ РОЗПОДІЛУ ПОТУЖНОСТІ СПОЖИВАЧІВ ВЗДОВЖ ЛЕП ПІД ЧАС ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ МІСЦЬ ВСТАНОВЛЕННЯ СЕКЦІОНУЮЧИХ КА В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ НАПРУГОЮ 10 КВ

Запропоновано підхід щодо лінеаризації цільової функції «недовідпуск електричної енергії споживачам» для розподільних електричних мереж напругою 10кВ, який дозволить аналітично визначати раціональні місця встановлення секціонуючих комутаційних апаратів і запропонувати рекомендації щодо місць їх встановлення.

**Ключові слова:** секціонуючий комутаційний апарат, цільова функція, недовідпуск електричної енергії, залежність розподілу потужності.

**Вступ.** В даний час існує досконалий математичний апарат, який дозволяє вирішувати задачу підвищення надійності електропостачання споживачів в розподільних електричних мережах напругою 10 кВ за рахунок вибору раціональних місць встановлення секціонуючих комутаційних апаратів (КА) [1-4]. Проте існуючі методи, зокрема метод нормованих функцій [1] та метод зонних структур [3], дозволяють визначати раціональні місця встановлення КА методом цілеспрямованого перебору можливих місць їх встановлення за значенням найменшого недовідпуску електричної енергії. Тобто розв'язок оптимізаційної задачі відноситься до задач дискретного програмування. Оскільки розподільні мережі напругою 10 кВ мають складнорозгалужену деревоподібну структуру то це призводить до ускладнення розв'язку оптимізаційної задачі навіть із застосуванням сучасною комп'ютерної техніки.

**Мета статті.** Запропонувати підхід щодо лінеаризації цільової функції «недовідпуск електричної енергії споживачам» для узагальненої електричної мережі довільної конфігурації, що дозволить аналітично визначати раціональні місця встановлення секціонуючих КА.

**Основні матеріали дослідження.** Значення недовідпуску електричної енергії споживачам залежить від місця встановлення КА, а отже від сумарних потужностей  $P_{i\Sigma}$  та сумарних довжин  $L_{i\Sigma}$  ділянок (зон) електричної мережі, обмежених секціонуючими КА. Тобто цільова функція недовідпуску електричної енергії нелінійна. Для її лінеаризації можна скористатися функцією, яка в загальному вигляді може бути представлена у вигляді [5]:

$$\Delta W = F(x_1, x_2, \dots, x_n) = a_0 + \sum_{k=1}^m a_k \prod_{i_k=1}^{n_k} X_{i_k}, \text{ при } m \leq \sum_{k=1}^n C_n^k. \quad (1)$$

Проте використання даного підходу призводить різкого зростання розмірності моделі як за кількістю змінних, так і за кількістю обмежень.

Сумарна потужність зон електричної мережі  $P_{i\Sigma}$ , обмежених секціонуючими КА, зв'язана з їх

довжиною  $L_{i\Sigma}$  деякою дискретною залежністю. Отже для лінеаризації цільової функції «недовідпуск електричної енергії споживачам» необхідно лінеаризувати графік залежності  $P_{i\Sigma} = f(L_{i\Sigma})$ .

Структура та параметри діючих розподільних електричних мереж напругою 10 кВ знаходяться в широкому діапазоні значень сумарних потужностей  $P_{\Sigma}$  та довжин  $L_{\Sigma}$ , що викликає доцільність переходу до відносних значень параметрів електричної мережі під час аналітичного розв'язку оптимізаційної задачі:

$$P_{i\Sigma}^* = \frac{P_{i\Sigma}}{P_{\Sigma}}, \tag{2}$$

$$L_{i\Sigma}^* = \frac{L_{i\Sigma}}{L_{\Sigma}}, \tag{3}$$

де  $P_{i\Sigma}$ ,  $L_{i\Sigma}$  – сумарна потужність та сумарна довжина  $i$ -ї зони мережі, яка обмежена секціонуючими КА;

$P_{\Sigma}$ ,  $L_{\Sigma}$  – сумарна потужність та сумарна довжина електричної мережі.

У випадку встановлення в електричній мережі тільки одного секціонуючого КА для головної зони електричної мережі, яка обмежена ввідним вимикачем та секціонуючим КА, можна побудувати залежності  $P_{i\Sigma}^* = f(L_{i\Sigma}^*)$ , змінюючи місце його встановлення (рис. 1).

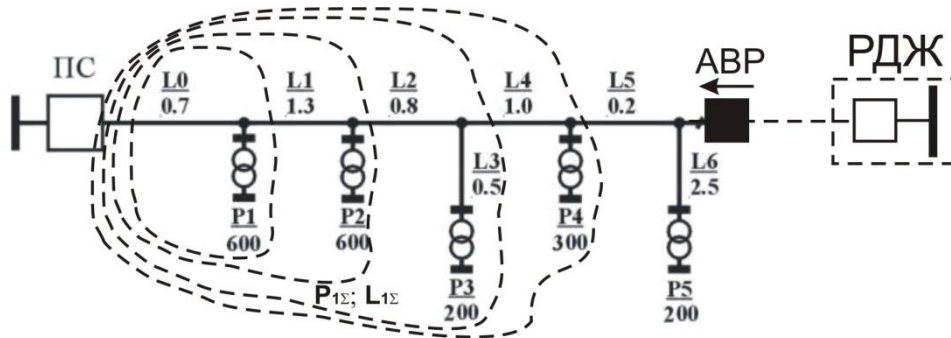


Рис. 1. Ілюстрація визначення сумарної потужності  $P_{1\Sigma}$  та довжини  $L_{1\Sigma}$  головної зони електричної мережі в залежності від місця встановлення секціонуючого КА

На рис. 2 приведені залежності, що характеризують розподіл потужності вздовж електричних мереж, представлених типовими моделями, які приведені в [6].

З рис. 2 видно, що для всіх типових моделей потужність можна вважати рівномірно розподіленою по довжині. Такі типові моделі були характерні для розподільних мереж напругою 10 кВ України у 70-80-х роках ХХ століття. Проте, з розпадом СРСР, змінилася структура навантаження та розподіл потужностей в таких електричних мережах, що викликає необхідність уточнення характеристик наявних (або отримання нових) узагальнених моделей.

В наш час можна спостерігати такі випадки, коли розміщення ТП 10/0,4кВ в електричній мережі можна охарактеризувати наступними законами  $P_{1\Sigma}^* = f(L_{1\Sigma}^*)$  (рис. 3):

- потужність більшості ТП (споживачів) зосереджена на початку лінії;
- потужність ТП (споживачів) рівномірно розподілена по довжині лінії;
- потужність більшості ТП (споживачів) зосереджена в кінці лінії.

У випадку, коли потужність більшості ТП (споживачів) зосереджена на початку лінії, відносна потужність першої зони характеризується залежністю  $P_{1\Sigma}^* = f(L_{1\Sigma}^*)$  виду:

$$y = k_1 \cdot \ln(k_2 \cdot x + 1), \tag{4}$$

де  $k_1$ ,  $k_2$  – емпіричні коефіцієнти, які залежать від розподілу потужностей.

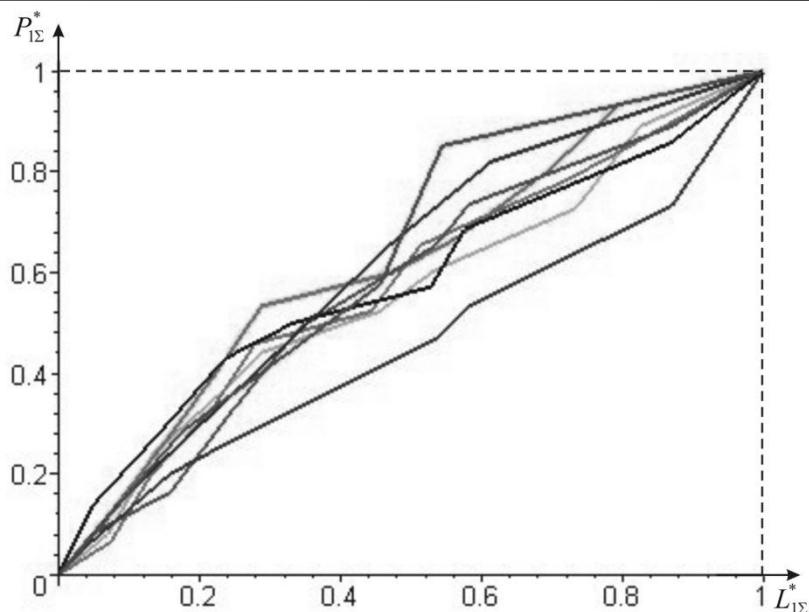


Рис. 2. Залежності розподілу потужності вздовж магістралі типових моделей ліній електропередавання №1-№9

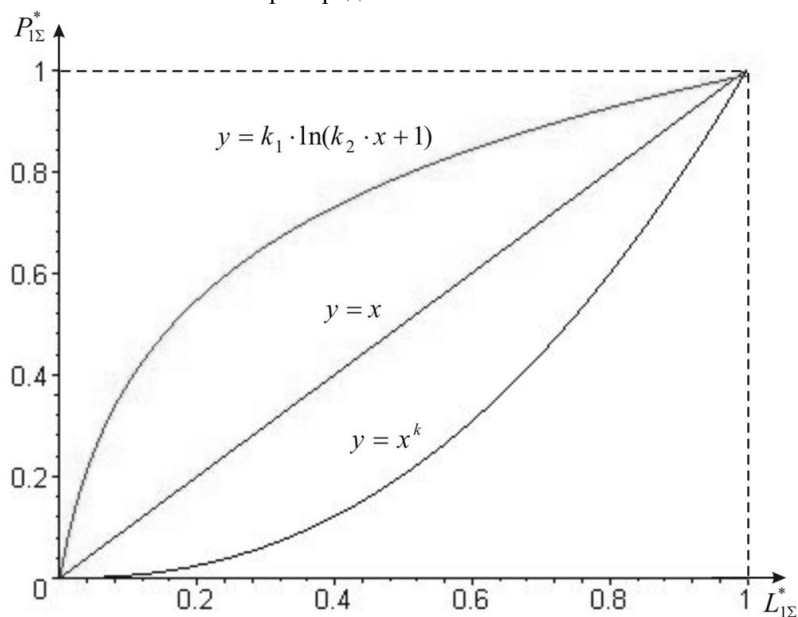


Рис. 3. Залежності, що характеризують розміщення ТП/10/0,4кВ в електричних мережах

У випадку, коли потужність ТП (споживачів) рівномірно розподілена по довжині лінії:

$$y = x, \quad (5)$$

а коли потужність більшості ТП (споживачів) зосереджена в кінці лінії:

$$y = x^k, \quad (6)$$

де  $k$  – емпіричний коефіцієнт, який залежить від розподілу потужності в мережі.

Для аналітичного розв'язку оптимізаційної задачі з мінімізації цільової функції невідпуску електричної енергії у разі зосередження споживачів на початку або в кінці лінії необхідно задатися коефіцієнтами  $k_1$ ,  $k_2$  і  $k$ .

На рис. 4 приведені залежності виду (4), які характеризують ЛЕП, у яких: 1 – 80% потужності зосереджено на відносній довжині 20% від початку лінії; 2 – 80% потужності зосереджено на відносній довжині 30% від початку лінії; 3 – 80% потужності зосереджено на відносній довжині 40% від початку лінії; 4 – 80% потужності зосереджено на відносній довжині 50% від початку лінії. Величини коефіцієнтів у залежності  $y = k_1 \cdot \ln(k_2 \cdot x + 1)$  для кожного з випадків наведені у таблиці 1.

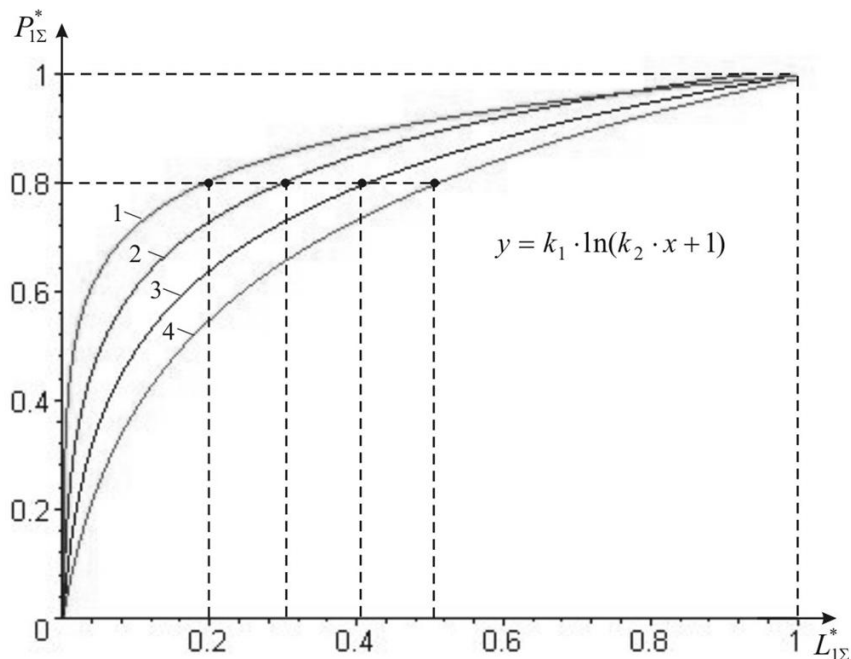


Рис. 4. Залежності, що характеризують ЛЕП, у яких основна потужність зосереджена на їх початку

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів  $k_1, k_2$  для залежностей виду  $y = k_1 \cdot \ln(k_2 \cdot x + 1)$ , які зображені на рис. 4

№ залежності на рисунку 4	Характеристика залежності	Значення коефіцієнту	
		$k_1$	$k_2$
1	80% потужності на 20% довжини	0,12	4000
2	80% потужності на 30% довжини	0,177	300
3	80% потужності на 40% довжини	0,23	75
4	80% потужності на 50% довжини	0,3	26

На рис. 5 приведені залежності виду (6), які характеризують ЛЕП, у яких: 1 – 20% потужності зосереджено на відносній довжині 40% від початку лінії; 2 – 20% потужності зосереджено на відносній довжині 50% від початку лінії; 3 – 20% потужності зосереджено на відносній довжині 60% від початку лінії; 4 – 20% потужності зосереджено на відносній довжині 70% від початку лінії. Величина коефіцієнта  $k$  у залежності  $y = x^k$  для кожного з випадків наведена у таблиці 2.

Таблиця 2

Значення коефіцієнта  $k$  для залежностей виду  $y = x^k$ , які зображені на рисунку 5

№ залежності на рисунку 5	Характеристика залежності	Значення коефіцієнту $k$
1	20% потужності на 40% довжини	1,8
2	20% потужності на 50% довжини	2,35
3	20% потужності на 60% довжини	3,2
4	20% потужності на 70% довжини	4,5

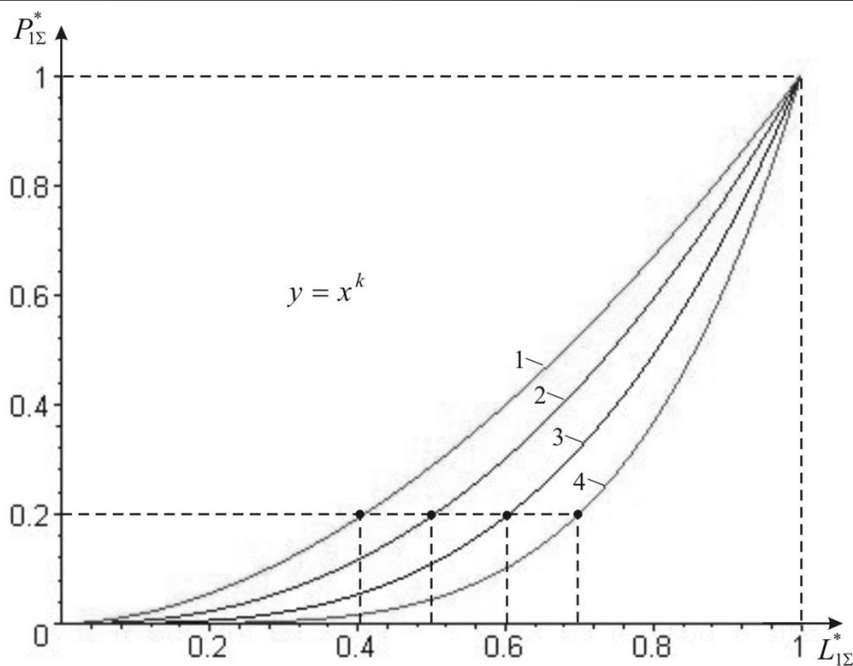


Рис. 5. Залежності, що характеризують ЛЕП, у яких основна потужність зосереджена на їх кінці

Побудувавши залежність розподілу потужності вздовж магістралі електричної мережі будь-якої конфігурації  $P_{1\Sigma}^* = f(L_{1\Sigma}^*)$  можна віднести цей розподіл до одного з законів (4)-(6), з параметрами, приведеними в таблицях 1-2. Використовуючи отриману функцію  $y = f(x)$ , як  $P_{1\Sigma}^* = f(L_{1\Sigma}^*)$  можна спростити рівняння недовідпуску електричної енергії споживачам  $\Delta W_{\Sigma}^*$  [3], виразивши його через один параметр  $L_{1\Sigma}^*$ . Це дозволить аналітично визначити раціональні місця встановлення секціонуючих КА і запропонувати рекомендації щодо місць їх встановлення, які будуть корисними організаціям, що займаються проектами перспективного розвитку електричних мереж.

### Висновки

1. Запропоновано підхід щодо лінеаризації цільової функції «недовідпуск електричної енергії споживачам», що дозволить аналітично визначити раціональні місця встановлення секціонуючих КА і запропонувати рекомендації щодо місць їх встановлення.
2. Показано, що розподіл потужності споживачів вздовж електричної мереж можна охарактеризувати залежностями виду:  $y = x$  – для рівномірного розподілу споживачів по довжині мережі;  $y = k_1 \cdot \ln(k_2 \cdot x + 1)$  – у разі зосередження споживачів на початку та  $y = x^k$  – у разі зосередження споживачів в кінці розподільної мережі.

### Література

1. Надежность систем электроснабжения / В.В. Зорин, В.В. Тисленко, Ф. Клеппель, Г. Адлер. – К.: Вища школа, 1984. – 192с.
2. Козирський В.В., Гай О.В. Вибір оптимальної кількості секціонуючих пристроїв для розподільних мереж 10кВ // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2004. – №2(7). – С.12-20.
3. Буйный Р.А., Зорин В.В., Тисленко В.В. Метод зонных структур в оптимизации надежности распределительных сетей 10кВ // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2004. – №2(7). – С.30-35.
4. Козирський В.В., Гай О.В., Костюк В.А., Петров П.В. Підхід щодо розміщення реклоузерів у розподільних мережах // Енергетика та електрифікація. – 2012. – №6. – С.6-12.
5. Таха Х. Введение в исследование операций: Пер. с нем. – М.: Мир, 1985. – 479с.
6. Прусс В.Л., Тисленко В.В. Повышение надежности сельских электрических сетей. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 209 с.

R. BUINYI

**HOW TO TAKE INTO ACCOUNT THE DISTRIBUTION OF LOAD IN DISTRIBUTION LINES 10KV FOR OPTIMAL ALLOCATION OF SWITCHES**

Described an approach for linearization of objective function "underdelivery of power to consumers" for distribution power networks 10kV. A method for taking into account the load distribution along power lines is described for several cases such as 1) uniform distribution of load; 2) concentration of load at the beginning of the line; 3) concentration of load at the end of the line. The parameters of proposed distribution function are estimated. The results can be used to determine analytically the optimal allocation of switches in order to reduce the underdelivery of electric power. Also, the approach will allow developing recommendations for the process of choosing optimal places for switch installation in power lines.

**Key words:** switching device, target function, underdelivery of power to consumers, power distribution.

1. Reliability of electric power supply systems / V.V. Zorin, V.V. Tislenko, F. Kleppel, G. Adler. – K.: Vishcha shkola, 1984. – 192p.
2. Kozyrskiy V.V., Gay O.V. The optimal number of switches in power distribution networks 10kV // Electrification and automatization of agriculture. – 2004. – №2(7). – С.12-20.
3. Buinyi R.A., Zorin V.V., Tislenko V.V. Zone structure method for reliability optimization of distribution lines 10kV // Electrification and automatization of agriculture. – 2004. – №2(7). – С.30-35.
4. Kozyrskiy V.V., Gay O.V., Kostiuk V.A., Petrov P.V. An approach for recloser placement in distribution networks // Electrification and automatization of agriculture. – 2012. – №6. – С.6-12.
5. Taha H. Operations research: An Introduction. – M.: Mir, 1985. – 479p.
6. Pruss V.L., Tislenko V.V. Reliability improvement of rural electric power distribution networks. – L.: Energoatomizdat, 1989. – 209p.

УДК 621.311

Р.А. БУЙНЫЙ

**УЧЕТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ВДОЛЬ ЛЭП ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ РАЦИОНАЛЬНЫХ МЕСТ УСТАНОВКИ СЕКЦИОНИРУЮЩИХ КА В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 10 КВ**

Предложено подход по линейаризации целевой функции «недоотпуск электрической энергии потребителям» для распределительных электрических сетей напряжением 10 кВ, который позволит аналитически определять рациональные места установки секционирующих коммутационных аппаратов и разработать рекомендации по выбору мест их установки.

**Ключевые слова:** секционирующий коммутационный аппарат, целевая функция, недоотпуск электрической энергии, зависимость распределения мощности.

УДК 622.276

Т.О. РИНКОВА, М.Ю. ВАСИЛЬЧЕНКО, Т.М. КОВТАНЮК

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ГАЗЛІФТНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГЕОТЕРМАЛЬНИХ СВЕРДЛОВИН**

Проблема інтенсифікації робочих процесів при газліфтній експлуатації геотермальних свердловин є актуальною і важливою задачею. У статті проаналізовано зв'язки між основними параметрами, які характеризують роботу газліфта. Отримані результати порівнюються з даними, що наведені у технічній літературі. При певній глибині занурення змішувача газліфта побудовані залежності висоти підйому повітряно-водяної суміші, потужності компресора і коефіцієнта корисної дії газліфта від масової частки повітря в емульсії. Характер залежностей відповідає фізичним уявленням про процес газліфтною експлуатації геотермальних свердловин.

**Ключові слова:** газліфт, геотермальна свердловина, коефіцієнт корисної дії газліфта, енергетичні характеристики, математичне моделювання.

**Вступ та постановка проблеми.** Процеси, які відбуваються під час газліфтною експлуатації геотермальних свердловин, є складними та багатofакторними. Дослідження цих процесів неможливо без