

ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ РАНЖОВАНИХ ЗМІННИХ ВЕКТОРА ПРОВІДНОСТЕЙ КОНДЕНСАТОРНИХ УСТАНОВОК ІЗ ЗАДАНИМ НЕЛІНІЙНИМ РОЗПОДІЛОМ

І.В.Трач, канд.техн.наук, **І.М.Севастюк**

Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ, 03580, Україна.

e-mail: trachi@ied.org.ua

Багатокритеріальну багатовимірну оптимізацію з заданим розподілом ранжованих змінних ємнісних провідностей конденсаторних установок використано для зменшення втрат в електричній мережі. Застосовано метод послідовних поступок. За першим критерієм використано загальні активні втрати. Для формування простору рішень за першим критерієм використовувався PSO-метод. Другим критерієм є належність ранжованого параметричного розподілу змінних вектора до класу нелінійного показового рівняння регресії. Проведено оцінку параметрів рівняння регресії для ранжованих змінних, що склалися з ємнісних провідностей конденсаторних установок. Показано статистичну надійність регресійної моделі. Підтверджено можливість встановлення конденсаторних установок в електричній мережі згідно з другим критерієм. Як приклади розглянуто багатокритеріальну багатовимірну оптимізацію для відомих тестових 34 та 69 вузлових радіальних мереж.

Бібл. 12, рис. 2, табл. 1.

Ключові слова: багатокритеріальна багатовимірна оптимізація, метод послідовних поступок, розподіл ранжованих змінних, оцінка параметрів регресії, втрати в електричній мережі.

Вступ. Багатокритеріальна багатовимірна оптимізація успішно використовується в електроенергетиці для оптимізації активних втрат. Зменшення втрат в електричній мережі (ЕМ) відбувається шляхом визначення потужності та місць встановлення конденсаторних установок (КУ) у певних точках розподільної електричної мережі. Як цільову функцію використовують критерії мінімізації вартісної функції, оптимізації профіля напруги, додаткові критерії та ін. При виборі місць розміщення КУ в ЕМ [4,6] зазвичай як перший критерій використовують загальні активні втрати ΔP_{Σ} у відносних одиницях, що підлягають мінімізації

$$\min(\Delta P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m \Delta P_i), \quad (1)$$

де ΔP_i – активні втрати в i -й ділянці ЕМ, m – кількість ділянок ЕМ. За базову величину приймають номінальну активну потужність ЕМ.

Функція (1) розраховується за цілої низки обмежень [4,12] – обмеження за допустимих значень напруги, коефіцієнта несинусоїдальності напруги, реактивної потужності КУ та інших. При оптимізації активних втрат у ЕМ встановлені КУ подаються у вигляді вектора ємнісних провідностей (далі провідностей) $y(y_1, y_2, \dots, y_n)$, де y_n – ємнісна провідність окремої КУ, n – кількість КУ.

У роботі [11] запропоновано два додаткові критерії багатокритеріальної оптимізації, які покращують роботу ЕМ у післяаварійних режимах: другий критерій – ранжований параметричний розподіл змінних шуканого вектора провідностей КУ, що належить до класу нелінійного показового рівняння регресії; третій – мінімум першої ранжованої змінної. Ці критерії дозволяють отримати деякі переваги для післяаварійних режимів роботи ЕМ.

Для розв'язання багатокритеріальної задачі за кількома критеріями застосовано метод послідовних поступок [2], коли вибирається послідовність критеріїв за важливістю. Метод еквівалентний багатоцільовій оптимізації з однаковими ваговими коефіцієнтами за кожним критерієм. Мінімальному значенню відповідного c -го критерію призначається поступка $\delta_c, \%$. Для першого критерію (1) визначається мінімальне значення цільової функції та призначається поступка $\delta_1, \%$. Формують простір рішень (ПР) за першим критерієм. ПР за 2-м критерієм є підмножиною ПР за 1-м критерієм. Визначається мінімальне значення за другим критерієм, призначається поступка δ_2 та формується ПР за 2-м критерієм. Далі процедура повторюється для наступного за важливістю критерію. ПР за 3-м критерієм є підмножиною ПР за 2-м критерієм. Перевагою методу поступок є те, що розрахунки за другим критерієм виконуються для малої кількості векторів, сформованих за першим критерієм і обмежені першою поступкою δ_1 . Це призводить до зменшення кількості векторів, вибраних за 2-м критерієм, та відповідно зменшення обчислювальних процедур. Іншою перевагою методу є можливість

оцінювати мінімальні значення цільової функції за першим критерієм, що має практичне значення для коригування експертом поступок і, відповідно, кінцевого результату. Якщо для критерію задана поступка $\delta = 0$, то ПР формується з одного вектора.

У роботі використано класичний алгоритм оптимізації безперервних нелінійних функцій, а саме, метод рою часток (*Particle Swarm Optimization-PSO*) [10]. Позиція частки x_h визначається при взаємодії з усіма іншими частками рою. На кожній ітерації для розрахунку напрямку та довжини вектора швидкості частки використовуються такі вихідні дані для пошуку цільової функції:

$$V_{h+1} = \omega V_h + a_1 \text{rnd}[(pbest_h - x_h)] + a_2 \text{rnd}[(gbest_h - x_h)], \quad x_{h+1} = x_h + V_{h+1},$$

де x_h – поточне положення h -ї частки; V_h – вектор швидкості h -ї частки; a_1, a_2 – постійні прискорення; $pbest$ – найкраща знайдена часткою точка; $gbest$ – найкраща точка, пройдена усіма частками; ω – коефіцієнт інерції; rnd – функція, яка повертає випадкове число від 0 до 1.

Як перший за важливістю критерій c_1 обрано активні втрати (1).

PSO-метод модифіковано в [11], як змінні x_h використовують провідності КУ y_n . Спочатку, застосовуючи *PSO*-метод, знаходиться вектор з мінімальним значенням активних втрат $\Delta P_{\Sigma \min}$ та запам'ятовуються проміжні результати ΔP_{Σ} кожної ітерації обчислень x_k , які не відкидаються, а групуються у відповідний ПР \mathbf{Y}_{Loss} , обмежений поступкою δ_1 першого критерію c_1 .

Перший критерій c_1 має вигляд

$$\Delta P_{\Sigma} / \Delta P_{\Sigma \min} - 1 < \delta_1. \quad (2)$$

Згідно з (2) формується багатовимірний ПР \mathbf{Y}_{Loss} , де кожній частці рою h відповідає вектор $\mathbf{y}(y_1, y_2, \dots, y_n)$ у складі n ємнісних провідностей КУ, встановлених у відповідних вузлах ЕМ. Параметричними змінними вектора \mathbf{y} є провідності КУ y_1, y_2, \dots, y_n у відносних одиницях.

Для формування другого за важливістю критерію c_2 висунута вимога належності ранжованого розподілу змінних вектора до класу нелінійного показового рівняння регресії (H -розподіл) [1]

$$H(r) = H_1 / r^\beta, \quad r = 1, 2, \dots, g, \quad (3)$$

де r – параметричний ранг; H_1 – значення параметра H з рангом $r=1$; β – ранговий коефіцієнт, що характеризує ступінь крутизни кривої розподілення; g – загальна кількість рангів (змінні вектора). Для визначення складу та розміщення КУ в ЕМ шуканий вектор \mathbf{y} ємнісних провідностей має належати до класу нелінійного показового рівняння регресії з рангами r

$$\mathbf{y}_H = y_{H(r=1)} / r^\beta, \quad r = 1, \dots, n. \quad (4)$$

Попередньо формується набір нормованих опорних кривих \mathbf{y}_H^{nor} (4) з різними значеннями $\beta = \beta_{\min} \dots \beta_{\max}$, з якими будуть порівнюватися вектори з багатовимірного ПР \mathbf{Y}_{Loss} [11]. З ПР \mathbf{Y}_{Loss} вибираються вектори, ранжовані змінні яких подібні до однієї з опорних кривих. Подібність векторів оцінювалася по евклідовій відстані $|y_{dif}|$ між шуканим $\text{rank}(\mathbf{y}^{nor})$ та опорними \mathbf{y}_H^{nor} векторами

$$y_{dif} = \sqrt{\sum (\mathbf{y}_H^{nor} - \text{rank}(\mathbf{y}^{nor}))^2} / \sqrt{\sum (\mathbf{y}_H^{nor})^2},$$

де $|\cdot|$ – символ евклідової відстані між двома векторами, $\text{rank}(\cdot)$ – оператор ранжування. Розмірність y_{dif} приведена до довжини опорного вектора $\sqrt{\sum (\mathbf{y}_H^{nor})^2}$ і є безрозмірною величиною.

Таким чином, за другим критерієм c_2 пропонується обрати відстань між шуканим $\text{rank}(\mathbf{y}^{nor})$ та опорними \mathbf{y}_H^{nor} векторами $|y_{dif}|$

$$|y_{dif}| \leq |y_{\max}|. \quad (5)$$

У результаті формується ПР \mathbf{Y}_H за другим критерієм c_2 з поступкою $\delta_2 = |y_{\max}|$. Вектори $\text{rank}(\mathbf{y}^{nor})$ та опорний \mathbf{y}_H^{nor} , які відповідають виразу (5), вважаються подібними.

Третій за важливістю критерій c_3 дає змогу мінімізувати першу ранжовану змінну шуканого вектора. ПР за 3-м критерієм Y_β є підмножиною ПР Y_H згідно з 2-м критерієм $Y_\beta \in Y_H$. За третім критерієм поступка $\delta_3 = 0$, відповідно третій ПР Y_β складається з одного вектора. Властивістю нормованих опорних кривих (4) є те, що меншим значенням β відповідають менші значення першого рангу опорних векторів $\beta \propto y_{H(r=1)}^{nor}$, відповідно шуканий вектор y подібний до опорної кривої $y_{H(\beta \rightarrow \min)}^{nor}$ з мінімальним значенням першого рангу $y_{H(r=1)}^{nor}$. Мінімуму значенню критерію відповідає поступка $\delta_3 = 0$. Також зменшується різниця між найбільшим $y_{H(r=1)}^{nor}$ та найменшим $y_{H(r=n)}^{nor}$ значеннями провідностей КУ. Третій критерій c_3 , який дозволяє вибрати вектор провідностей з малою крутизною кривої розподілу провідностей КУ, має вигляд

$$\begin{cases} y \in Y_H \\ \beta \rightarrow \min \end{cases} \quad (6)$$

Узагальнимо особливості нормованого вектора провідностей згідно з виразом (6):

- 1) крива ранжованих параметрів найбільш полого з усіх нормованих векторів ПР Y_H за першим та другим критеріями: $\beta \rightarrow \min$;
- 2) перший ранг провідності мінімальний $y_{H(r=1)}^{nor} \rightarrow \min$; далі буде показано, що потужності КУ пропорційні її провідностям, тому вираз (6) означає мінімізацію потужності КУ 1-го рангу вектора;
- 3) найменше співвідношення першого і останнього рангів вектора провідностей КУ $y_{H(r=1)}^{nor} / y_{H(r=n)}^{nor} \rightarrow \min$.

Таким чином, метод оптимізації з показовим рівнянням регресії (ОПРР) за трьома критеріями c_1, c_2, c_3 з відповідними поступками $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ дозволяє отримати вектор провідностей КУ, в якому: 1) активні втрати відмінні від мінімальних втрат не більше заданої поступки δ_1 ; 2) ранжовані змінні вектора належать до класу нелінійного показового рівняння регресії з заданою поступкою δ_2 ; 3) шуканий вектор подібний до опорного вектора, який має мінімальне значення першого рангу $y_{H(r=1)} \rightarrow \min$ та має найбільш пологу форму кривої з усіх векторів за критеріями c_1 та c_2 .

Як було показано в [11], використання трьох критеріїв дозволяє встановити в ЕМ вектор КУ, отримати квазіоптимальне значення активних втрат в ЕМ та покращити режим напруги ЕМ у післяаварійних режимах.

Метою роботи є оцінка параметрів показового рівняння регресії (4) для ранжованого розподілу змінних вектора провідностей КУ, а також підтвердження припущення про можливість встановлення в ЕМ КУ для зменшення активних втрат, для яких ранжований розподіл змінних вектора провідностей КУ належить до класу нелінійного показового рівняння.

Оцінка параметрів нелінійного показового рівняння для ранжованого розподілу змінних вектора ємнісних провідностей КУ. Для оцінки параметрів нелінійного показового рівняння регресії ранжованих змінних (4) використано аналіз регресії [7]. Шляхом логарифмічної лінеаризації рівняння нелінійної регресії перетворено в рівняння лінійної регресії першого порядку $z = a + bx$ з лінійним коефіцієнтом кореляції

$$H_{\ln}(q) = \ln(H_1 / r^\beta) = \ln(H_1) - \beta \ln(r), \quad (7)$$

де $q = \ln(r)$ – незалежна змінна, $r = 1, \dots, n$ – параметри моделі; $a = \ln(H_1)$ та $b = -\beta$.

Для оцінки параметрів моделі a та b використано метод найменших квадратів. Система нормальних рівнянь має наступний вигляд:

$$a \sum_{i=1}^n 1 + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n z_i, \quad a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n z_i x_i, \quad (8)$$

де x – незалежна змінна (фактор моделі), z – залежна змінна, n – розмір змінних. Статистична надійність регресійного моделювання здійснена за допомогою F -критерію Фішера [3], що дозволяє отримати довірчий інтервал прогнозу параметрів моделі $[a_1 \ a_2]$ та $[b_1 \ b_2]$ для рівня значущості α . Якщо при заданому α $F(\alpha, k_1, k_2) > F_{кр}(\alpha, k_1, k_2)$, то модель вважається значущою. Ступені свободи $k_1 = l$ та

$k_2 = n - l - 1$, число параметрів у моделі $-l$. З урахуванням виразу (7) оцінка параметрів для ранжованого розподілу змінних вектора ємнісних провідностей КУ має вигляд

$$\begin{cases} H_{\ln}(q) = \ln(H_1) + b \square q, & q = \ln(r), \quad r = 1, \dots, n, \\ F(\alpha, k_1, k_2) > F_{кр}(\alpha, k_1, k_2), \end{cases} \quad (9)$$

де $H_{\ln}(q) = \log(\text{rank}(y^{nor}))$ – результативна ознака, що підлягає визначенню, q – факторна ознака, $b = \beta$ характеризує нахил у рівнянні лінійної регресії першого порядку (5). Для конкретного вектора y ємнісних провідностей з ПР Y_H модель (4) вважається значущою, якщо $F > F_{кр}$. Робиться висновок, що вектор провідностей КУ належить до класу нелінійного показового рівняння (4).

Результати оцінки параметрів ранжованих змінних для тестових електричних мереж. Проведено дослідження відомих тестових схем радіальних електричних мереж.

Перша мережа напругою 11 кВ, описана у [8], з 34 вузлами та 29 навантаженнями; загальна потужність навантаження 4636 кВт, 2873 кВАр. Друга мережа напругою 12,66 кВ, описана у [5], з 69 вузлами та 27 навантаженнями; загальна потужність навантаження 3802 кВт, 2695 кВАр. Для формування ПР *PSO*-методом вектор провідностей КУ складався з $n=30$ змінних $y(y_1, y_2, \dots, y_n)$, а крок КУ $qc=100$ кВАр. Провідність y_r окремої КУ пропорційна кількості елементів N_{QC} окремої КУ

$$y_r = (qc * N_{QC}) / U_{nom}^2, \quad r = 1, \dots, n.$$

Результати багатоцільової багатопараметричної оптимізації ОППР для 34-вузлової схеми згідно з трьома критеріями (2), (5), (6) та відповідними поступками $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ зображені на рис. 1. На рис. 2 показано ті самі криві після логарифмічної лінеаризації (9). На рис. 1, 2 вектор ранжованих змінних $\text{rang}(y)$ провідностей КУ позначено зірочками, модель лінійної регресії – суцільною лінією, довірчий інтервал – переривчастою лінією.

Згідно з (8) отримано оцінку факторів моделі $a=1,923$ та $b=0,5841$. Емпіричне рівняння регресії має вигляд

$$Y = -0,5841 X + 1,923.$$

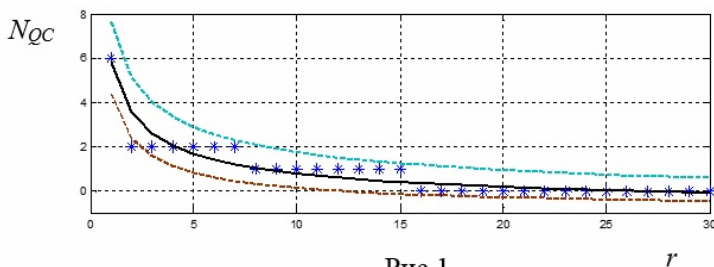


Рис.1

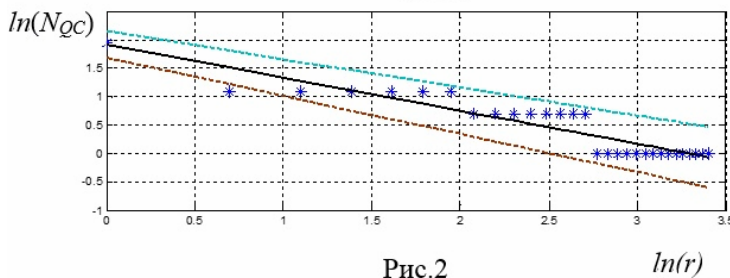


Рис.2

Перевірку значущості моделі регресії проведено з використанням F -критерію Фішера для моделі з ступенями свободи $k_1=1$ і $k_2=28$. Рівень значущості $\alpha=0,05$. Фактичне значення $F(\alpha, k_1, k_2)=181,4$ перевищує критичне $F_{кр}=4,196$ [9]. Оцінка рівняння регресії статистично надійна.

Результати багатоцільової багатопараметричної оптимізації для тестових 34-вузлової та 69-вузлової схем, виконаних згідно з трьома критеріями c_1, c_2, c_3 та відповідними поступками $\delta_1, \delta_2, \delta_3$, представлені у таблиці, де параметри моделі a та b та відповідні довірчі інтервали $[a_1 a_2]$ та $[b_1 b_2]$ для рівня значущості $\alpha=0,05$ та $F_{кр}(0,05;1,28)=4,196$. $QC = qc * N_{QC}$, кВАр – потужність КУ. Задана поступка $\delta_1=0,01$, тобто для шуканого вектора провідностей КУ загальні активні втрати ΔP_{Σ} можуть перевищувати мінімальні $\Delta P_{\Sigma \min}$ не більше, ніж на 1%. Для наведеного прикладу $\delta_2=0,1$.

Для обох варіантів коефіцієнт детермінації R^2 знаходиться у діапазоні $[0,866; 0,898]$, що вказує на високу точність підбору рівняння регресії для усіх варіантів розрахунків. F -критерій знаходиться у діапазоні $[181; 245]$ та значно перевищує $F_{кр}=4,196$. Тому для всіх варіантів розрахунків з вірогідністю $(1-\alpha) = 0,95$ приймається гіпотеза про статистичну значимість рівняння регресії (9).

параметр	схема 34 [8]				схема 69 [5]			
	ву-зол	QC, кВАр	ву-зол	QC, кВАр	ву-зол	QC, кВАр	ву-зол	QC, кВАр
QC	2	200	20	200	11	100	62	100
	4	100	21	100	21	200	64	100
	8	200	22	100	45	100	65	100
	9	200	24	600	48	100	69	100
	11	200	26	100	49	100		
	14	100	28	100	50	400		
	18	100	32	100	54	200		
	19	200			61	1100		
ΔP_{Σ} , кВт, без QC	221,17				225,1			
ΔP_{Σ} , кВт	159,50				144,20			
$b = \beta, [b_1 \ b_2]$	-0,5841, [0,6730; 0,4953]				-0,6656, [0,7526; 0,57856]			
$a, [a_1 \ a_2]$	1,9230, [1,690; 2,156]				2,0510, [1,8225; 2,2795]			
R^2 / F	0,866/181				0,898/245			

Результати, представлені у таблиці, дозволили зробити висновок, що встановлені в ЕМ ємнісні провідності КУ мають ранжований розподіл змінних вектора, який належить до класу показового рівняння (4). Іншою особливістю отриманого розподілу є зменшення потужності КУ 1-го рангу, яка пропорційна провідності КУ 1-го рангу.

Висновки. Для зменшення втрат в електричній мережі шляхом визначення потужності та місць встано-

влення КУ у певних точках розподільних ЕМ застосовано багатокритеріальну багатовимірну оптимізацію.

При використанні запропонованих трьох критеріїв отримуємо вектор провідностей КУ, в якому, по-перше, активні втрати відмінні від мінімальних втрат не більше заданої поступки, по друге, ранжовані змінні вектора належать до класу нелінійного показового рівняння регресії, по-третє, мінімізовано значення першого рангу вектора провідностей КУ.

Доведено, що в процесі багатокритеріальної багатовимірної оптимізації для зменшення активних втрат можливо використовувати КУ, для яких розподіл провідностей КУ належить до класу нелінійного показового рівняння регресії. Встановлено статистичну надійність нелінійного показового рівняння регресії для провідностей КУ, вибраних відповідно до запропонованих трьох критеріїв.

Розглянуто відомі тестові 34- та 69-вузлові радіальні мережі.

1. Гнатюк В.И. Закон оптимального построения техноценозов. – Вып. 29. Ценологические исследования. – М.: Издательство ТГУ–Центр системных исследований, 2005. – 384 с.
2. Зінько П.М. Математичні методи та числові алгоритми системного аналізу. – К.: КНУ ім. Т. Шевченка, 2006. – 243 с.
3. Иглин С.П. Теория вероятностей и математическая статистика на базе MATLAB. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2006. – 612 с.
4. Халил Т.М., Горпинич А.В. Выбор оптимальных сечений проводников и мест установки и мощности батарей конденсаторов в радиальных сетях с помощью селективного метода роя частиц // Наук. пр. Донецького нац. техн. ун-ту. Серія Електротехніка і енергетика. – 2011. – Випуск 11. – С. 406–413.
5. Aman M., Jasmon G., Bakar A., Mokhlis H., Karimi M. Optimum shunt capacitor placement in distribution system-A review and comparative study // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2014. – No 30. – Pp. 429–439.
6. Eajal A.A., El-Havary M.E. Optimal Capacitor Placement and Sizing in Distorted Radial Distribution Systems. Part II: Problem Formulation and Solution Method // 14-th IEEE Internat. Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP) Bergamo, Italy, 2010. – Pp. 1–6.
7. Chatterjee S., Hadi A.S. Influential Observations, High Leverage Points, and Outliers in Linear Regression // Statistical Science. – 1986. – Vol. 1. – Pp. 379–416.
8. Injeti S., Thunuguntla V., Shareef M. Optimal allocation of capacitor banks in radial distribution systems for minimization of real power loss and maximization of network savings using bio-inspired optimization algorithms // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. – 2015. – Vol. 69. – Pp. 441–455.
9. NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods. – NIST. [U.S. Department of Commerce](http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda3673.htm). – 2013. Available at: <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda3673.htm>
10. Shi Y., Eberhart. A modified particle swarm optimizer // The 1998 IEEE International Conference on Evolutionary Computation Proceedings, 1998. – Pp. 69–73.
11. Trach I., Zubiuk Yu. A combined approach to multi-objective optimization of capacitor placement in radial distribution networks // 3rd Internat. Conf. on Electric Power and Energy. Conversion Systems (EPECS 2013). Available at: <http://www.researchgate.net/publication/261312111.pdf>.
12. Vahid M., Hossein A.A., Kazem M. Maximum loss reduction applying combination of optimal conductor selection and capacitor placement in distribution systems with nonlinear loads // UPEC 2008. 43rd International. – 2008. – P. 1.

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ РАНЖИРОВАННЫХ ПЕРЕМЕННЫХ ПРОВОДИМОСТЕЙ КОНДЕНСАТОРНЫХ УСТАНОВОК С ЗАДАНЫМ НЕЛИНЕЙНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ

И.В. Трач, канд.техн.наук, И.М.Севастюк

Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина.

e-mail: trachi@ied.org.ua

Многокритериальную многомерную оптимизацию с заданным распределением ранжированных переменных проводимостей конденсаторных установок применено для уменьшения потерь в электрической сети. Применен метод последовательных уступок. В качестве первого критерия использованы общие активные потери. Для формирования пространства решений по первому критерию использован PSO-метод. Вторым критерием является принадлежность ранжированного параметрического распределения переменных вектора к классу нелинейного показательного уравнения регрессии. Проведена оценка параметров показательного уравнения регрессии для ранжированных переменных, состоящих из проводимостей конденсаторных установок. Показано статистическую надежность регрессионной модели. Установлено, что возможно установить в электрической сети КУ в соответствии со вторым критерием. В качестве примеров рассмотрена многокритериальная многомерная оптимизация для известных тестовых 34 и 69 узловых радиальных сетей. Библ. 12, рис. 2, табл. 1.

Ключевые слова: многокритериальная многомерная оптимизация, метод последовательных уступок, распределение ранжированных переменных, оценка параметров регрессии, потери в электрической сети.

MULTIDIMENSIONAL OPTIMIZATION WITH A GIVEN DISTRIBUTION OF RANKED VARIABLES FOR REDUCING ELECTRICAL LOSSES IN THE ELECTRICAL NETWORK

Trach I., Sevastjuk I.

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,

pr. Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine.

e-mail: trachi@ied.org.ua

For multi-criteria multidimensional optimization with a given distribution of ranked variables applied to reduce the loss in the electrical network. Optimization of losses was carried out by determining the placement of capacitor banks. The method of consecutive concessions was proposed. As the first criterion used by the active losses. A formation of the solution set by first criterion was performed using modernized PSO-method. The second criterion is the ranked parametric distribution of the variables of the vector belongs to a class of non-linear exponential regression equation. The estimation of the parameters of the exponential regression equation for the ranked variables consisting of capacitors conductivity. The statistical reliability of the regression model is established. It was found that it is possible to install capacitors in the electrical network, for which the distribution of the ranked variables vector conductivities refer to a class of nonlinear exponential equation. References 12, figures 2, table 1.

Key words: multi-criteria multidimensional optimization, method of consecutive concessions, distribution of ranked variables, loss of the electrical grid.

1. Gnatyuk V.I. The Law of Technocoenosis Optimum Construction. – Vol. 29. Coenosis Research. – Moskva: Tomskii gosudarstvennyi universitet – Tsentr Systemnykh Issledovaniy, 2005. – 384 p. (Rus)
2. Zinko P.M. Mathematical methods and numerical algorithms for system analysis. – Kyiv: Kyivskiy Natsionalnyi Universytet imeni Tarasa Shevchenko, 2006. – 243 p. (Ukr)
3. Iglin S.P. Mathematical calculations on base of MATLAB. – Sankt-Peterburg: BHV- Peterburg, 2005. – 640 p. (Rus)
4. Khalil T., Horpinich A. Selection of Optimal Conductors Sections and Capacitors Placement in Radial Distribution Systems by Selective Particle Swarm Optimization / Naukovi Pratsi Donetskooho Natsionalnoho Tekhnichnoho Universytetu. – 2011. – Iss. 11(186). – Pp. 406–413. (Rus)
5. Aman M., Jasmon G., Bakar A., Mokhlis H., Karimi M. Optimum shunt capacitor placement in distribution system-A review and comparative study // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2014. – No 30. – Pp. 429–439.
6. Ejajal A.A., El-Havary M.E. Optimal Capacitor Placement and Sizing in Distorted Radial Distribution Systems. Part II: Problem Formulation and Solution Method // 14th IEEE Internat. Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP) Bergamo, Italy, 2010. – Pp. 1–6.
7. Chatterjee S., Hadi A.S. Influential Observations, High Leverage Points, and Outliers in Linear Regression // Statistical Science. – 1986. – Vol. 1. – Pp. 379–416.
8. Injeti S., Thunuguntla V., Shareef M. Optimal allocation of capacitor banks in radial distribution systems for minimization of real power loss and maximization of network savings using bio-inspired optimization algorithms // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. – 2015. – Vol. 69. – Pp. 441–455.
9. NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods. – NIST. [U.S. Department of Commerce](http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda3673.htm). – 2013. Available at: <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda3673.htm> (accessed 08.12.2015)
10. Shi Y., Eberhart R. A modified particle swarm optimizer // The 1998 IEEE International Conference on Evolutionary Computation Proceedings, 1998. – Pp. 69–73.
11. Trach I., Zubiuk Yu. A combined approach to multi-objective optimization of capacitor placement in radial distribution networks // 3rd Internat. Conf. on Electric Power and Energy. Conversion Systems (EPECS 2013). Available at: <http://www.researchgate.net/publication/261312111.pdf> (accessed 09.12.2015)
12. Vahid M., Hossein A.A., Kazem M. Maximum loss reduction applying combination of optimal conductor selection and capacitor placement in distribution systems with nonlinear loads // UPEC 2008. 43rd International. – 2008. – P. 1.

Надійшла 20.04.2015

Остаточний варіант 08.12.2015