

УДК 621.311

П. Д. Лежнюк, д. т. н., проф.; О. О. Рубаненко

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ЛЕП КРИТЕРІАЛЬНИМ МЕТОДОМ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЧІТКОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Запропоновано алгоритм розрахунку оптимальних значень перерізів проводів і напруг ліній електропередачі критеріальним методом із застосування нечіткого моделювання в умовах невизначеності.

Ключові слова: критеріальний метод, нечітке моделювання, модель Мамдані, параметри ліній електропередачі.

Актуальність

Перед спорудженням нової електричної мережі, розширенням або реконструкцією існуючої проводяться проектні розробки. При проектуванні обирається найбільш раціональний варіант рішення задачі. Для кількісної оцінки економічності на сьогодні використовуються значення народногосподарських витрат на утримання й експлуатацію її окремих елементів. У практиці проектування електричних мереж застосовується метод варіантного зіставлення. При його застосуванні складається не один, а декілька можливих варіантів проектного рішення, кожен з яких докладно розглядається з метою виявлення його основних технічних властивостей і техніко-економічних характеристик. Важливим завданням у проектуванні є визначення економічно доцільної напруги й перерізів проводів ліній електропередачі (ЛЕП) [1, 2].

При розв'язку оптимізаційної задачі пошуку мінімального значення витрат на спорудження й експлуатацію ЛЕП постають такі проблеми [1, 2]:

- необхідність розв'язувати системи рівнянь з мірою складності більше нуля;
- дуже полого цільова функція.

Метою роботи є розробка алгоритму розрахунку оптимальних значень перерізів проводів і напруг ЛЕП критеріальним методом з використанням нечіткого моделювання в умовах невизначеності.

Перетворення функції витрат із абсолютних одиниць у відносні й формування системи критеріїв подібності

Вибираючи оптимальні параметри електропередачі, приведені витрати можна представити [1, 2]:

$$Z = \left[(k_1 + k_2 U - k_3 F) l + k_4 \left(\frac{P}{l} \right)^2 \frac{l}{F} \right] + \left[k_5 + k_6 P + k_7 P U + k_8 U l + k_9 \frac{P l}{U} \right], \quad (1)$$

де $k_1 \dots k_9$ – деякі вартісні показники; U – напруга електропередачі; F – площа поперечного перерізу струмоведучих частин; l – довжина ЛЕП.

Напруга U і площа поперечного перерізу проводів F електропередачі є змінними, які оптимізуються. Скористаємося критеріальним методом для визначення їх значень.

Розглянувши тільки змінну складову і ввівши такі позначення:

$$\begin{aligned}
 a_1 &= k_2 l + k_7 P + k_8 l; \\
 a_2 &= k_9 P l; \\
 a_3 &= k_4 P^2 l; \\
 a_4 &= k_3 l,
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

перепишемо (1):

$$Z_* = a_1 U + a_2 U^{-1} + a_3 U^{-2} F^{-1} + a_4 F. \tag{3}$$

Визначимо мінімальне значення цих витрат і відповідні їм оптимальні значення U_0 і F_0 , а також вектор критеріїв подібності π . Міра складності цієї задачі дорівнює одиниці.

Виходячи з умов ортогональності й нормування, запишемо систему рівнянь для критеріїв подібності [2]:

$$\left. \begin{aligned}
 \pi_1 - \pi_3 - 2\pi_3 &= 0; \\
 -\pi_3 + \pi_4 &= 0; \\
 \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 &= 1
 \end{aligned} \right\} \tag{4}$$

Формування двоїстої задачі

Функції $d(\pi)$ і $y(x)$ знаходяться в такому співвідношенні:

$$y(x) \geq d(\pi).$$

Це означає, що коли змінним x і π надати будь-які значення, то отримаємо $y(x)$ і $d(\pi)$ такі, що оптимальне рішення задачі лежатиме між ними (рис.1). Зазначена властивість подвійних завдань може бути використана для побудови ітераційного процесу визначення оптимального рішення.

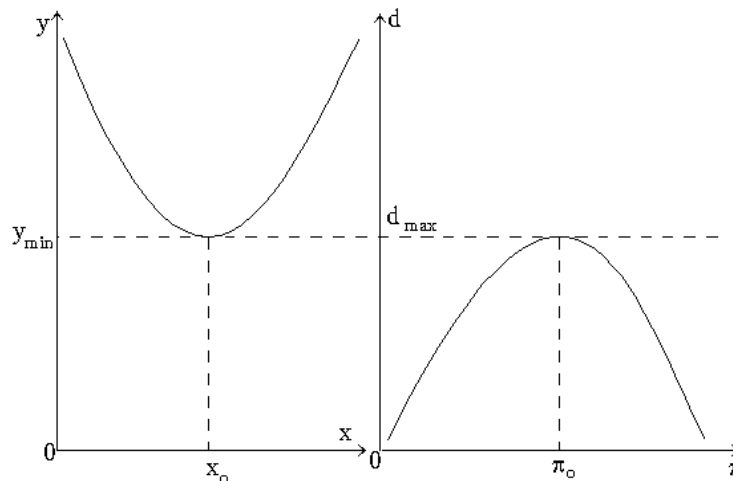


Рис. 1. Принцип мінімакса

Запишемо двоїсту функції до виразу (3)

$$d(\pi) = \left(\frac{a_1}{\pi_{10}}\right)^{\pi_{10}} \left(\frac{a_2}{\pi_{20}}\right)^{\pi_{20}} \left(\frac{a_3}{\pi_{30}}\right)^{\pi_{30}} \left(\frac{a_4}{\pi_{40}}\right)^{\pi_{40}}. \tag{5}$$

де $\pi_{10}, \pi_{20}, \pi_{30}, \pi_{40}$ – критерії подібності.

Алгоритм розв'язку оптимізаційних задач критеріальним методом

Алгоритм вирішення завдань оптимізації критеріальним методом [1, 2].

1. Нелінійна пряма задача замінюється двоїстою задачею з нелінійною цільовою функцією й обмеженнями у вигляді ортогональної системи лінійних рівнянь. У прямій задачі змінними є фізичні або економічні параметри x , а в двоїстій функції змінними є критерії подібності π , тобто безрозмірні комбінації параметрів x .

2. Розраховуються оптимальні значення критеріїв подібності, шляхом розв'язування ортонормованої системи рівнянь.

3. Отримані критерії подібності підставляються в цільову функцію двоїстої задачі, і обчислюється її оптимальне значення.

Водночас воно є оптимальним розв'язком і прямої задачі критеріального програмування, оскільки співвідношення між прямою і двоїстою задачею таке, що $d(\pi_0) = y(x_0)$. Характерним тут є те, що оптимальне значення критерію оптимуму y_0 обчислюється без визначення оптимальних значень змінних x_0 .

Основну складність приведеного алгоритму складає обчислення оптимізуючого вектора критеріїв подібності.

Для знаходження розв'язків системи (4) доцільно застосовувати нечітке моделювання, тому що існуючі методи не завжди дають достовірні результати.

На рис. 2 проілюстровано застосування методу дихотомії. За умови, якщо функція $d(\pi)$ дуже полого, отримати точний результат не можливо, часто виникає проблема збіжності методів.

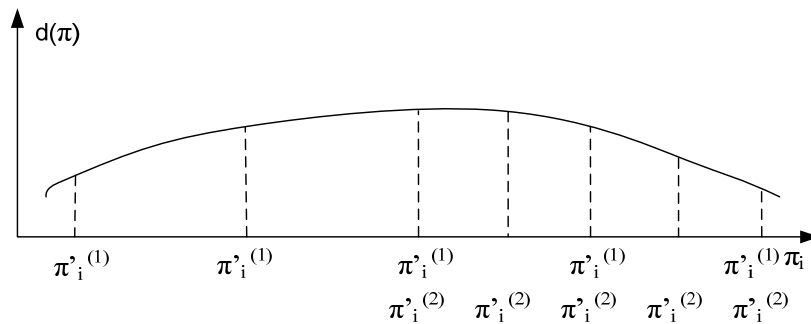


Рис. 2. Визначення максимуму функції методом дихотомії

Таблиця 1

Недоліки методу пошуку мінімуму функції при мірі складності системи рівнянь обмежень більше 1

№	Метод	Недоліки
1	Зниження міри складності	
1.1	Затримка вибору оптимальних значень змінних	Доцільно використовувати лише для сепарабельних функцій
2	Лінеаризація двоїстої задачі	
2.1	Гradientний метод	Погана збіжність при пологій функції
2.2	Метод дихотомії	Низька ефективність при пологій функції, має потребу у великій кількості ітерацій
2.3	Метод золотого перерізу	Низька точність
2.4	Метод квадратичної інтерполяції	Доцільно використовувати лише для яскраво виражених параболічних функцій

Тому для вирішення оптимізаційних завдань пошуку максимуму функцій і аргументів, за яких цей максимум досягається, пропонується використовувати метод нечіткого моделювання. Алгоритм представлений на рис. 3.

Алгоритм пошуку оптимальних значень параметрів ЛЕП

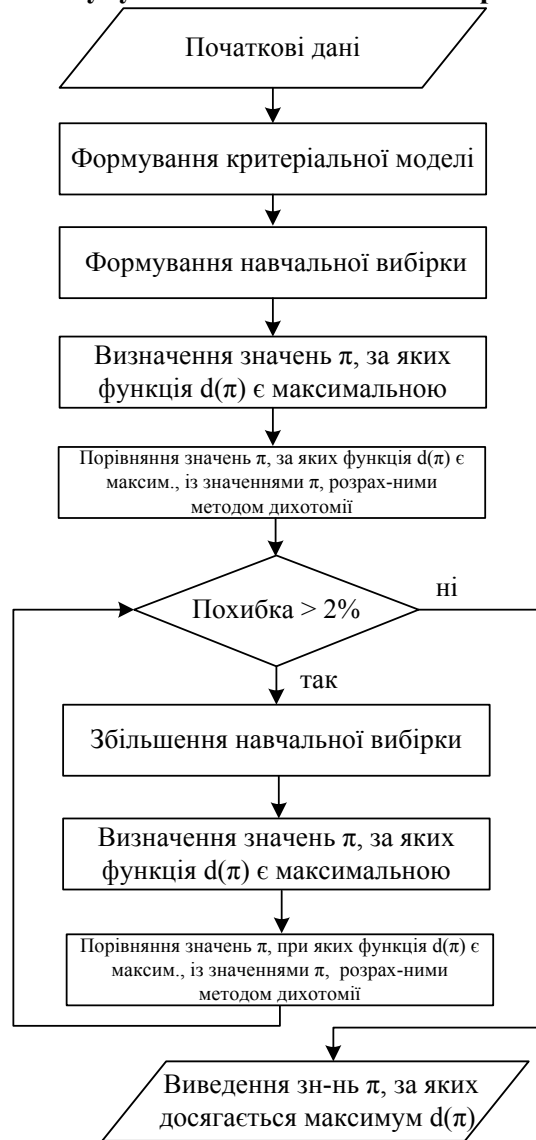


Рис. 3. Алгоритм розв'язку задачі

Опис алгоритму пошуку оптимальних значень параметрів ЛЕП

1. Формування критеріальної моделі передбачає перехід від прямої задачі пошуку мінімуму функції $u(x)$ до пошуку максимуму двоїстої функції $d(\pi)$ при заданих обмеженнях.
2. Формування навчальної вибірки полягає в складанні логічних рівнянь типу: якщо π_1 – велике, π_2 – середнє, π_3 – середнє, π_4 – середнє, то $d(\pi)$ – велике.
3. Визначення значень π , за яких функція $d(\pi)$ є максимальною, проводиться в 2 етапи:
 - 3.1. Будуються залежності $d(\pi)$ від $\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4$ у вигляді поверхонь.
 - 3.2. Наближені значення $\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4$, за яких функція $d(\pi)$ досягає максимуму, вводяться в модель, і проводиться точніший розрахунок.
4. Отриманий результат перевіряється на точність (шляхом порівняння з результатами розрахунку іншими методами).
5. Коли точність не задовольняє вимоги, то збільшують навчальну вибірку, а саме: збільшують кількість логічних рівнянь і змінюють функцію належності вхідних величин.

Побудова моделі

При побудові мережі використовувався багатоваріантний підхід, а саме: розглядалися варіанти з функціями належності типу *trimf*, *trapmf*, *gbellmf*, *gaussmf*, *pimf*, *dsigmf*, *psigmf* [3, 4]. Найменша похибка досягається в моделі з функцією належності *gaussmf*.

Скориставшись програмним комплексом MatLab, знайшли мінімальне значення функції витрат для лінії довжиною 70 км і потужністю, що передається, 300 МВт. Використовували модель Мамдані. Було сформовано 47 правил для досягнення бажаної точності. Отримана критеріальна модель має такий вигляд:

$$Z_* = 0,5U_* + 0,27U_*^{-1} + 0,115U_*^{-2}F_*^{-1} + 0,115F_* \quad (6)$$

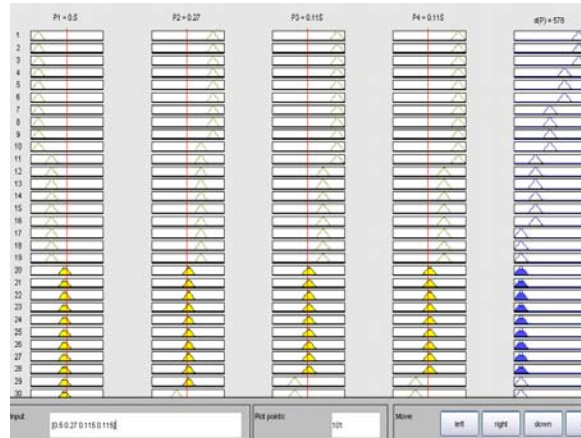


Рис. 4. Результати розрахунку

Ця модель є зручною для аналізу залежності приведених витрат при відхиленні напруги ЛЕП або площі поперечного перерізу проводів від їх оптимальних значень.

Висновки

Запропоновано алгоритм розрахунку параметрів ЛЕП критеріальним методом із застосуванням методів нечіткого моделювання. Використання розробленого алгоритму дасть змогу розраховувати оптимальні значення напруги й перерізу ЛЕП в умовах невизначеності. Застосування засобів нечіткого моделювання є перспективним напрямком для вирішення критеріальним методом важливих задач енергетики.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Астахов Ю.Н. Применение критериального метода в электроэнергетике / Ю.Астахов, П. Лежнюк. – К.: УМК ВО, 1989. – 137 с.
2. Лежнюк П.Д. Методи оптимізації в електроенергетиці. Критеріальний метод / П.Лежнюк, С. Бевз. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 131 с.
3. Леонков А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / Александр Леонков. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2004. – 736 с.
4. Tutorial on Fuzzy Logic Applications in Power Systems. – January, 2000 – [Електронний ресурс] / – Режим доступу: <http://www.ece.utk.edu/~tomsovic/Vitae/Publications/TOMS00b.pdf>

Лежнюк Петро Дем'янович – д. т. н., професор, завідувач кафедри електричних станцій і систем.

Рубаненко Олена Олександрівна – аспірант кафедри електричних станцій і систем.
lana_rubanenko@bk.ru

Вінницький національний технічний університет.