

УДК 621.330.47

**М. М. Черемісін, канд. техн. наук, проф.; В. І. Романченко, канд. техн. наук, доц.;
В. В. Черкашина**

СТРАТЕГІЯ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО РІШЕННЯ В ПРОЕКТУВАННІ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

Показано стратегію вибору оптимального рішення під час проектування повітряних ліній в умовах неповноти вихідної інформації та багатокритеріальності, основу на критеріальному методі і методі Т. Сааті.

Вступ

Сучасні електричні мережі (ЕМ) України є взаємопов'язаними об'єктами, які функціонують в умовах неоднорідності їх структури, низької спостережуваності, численних зовнішніх і внутрішніх збурень. З їх розвитком змінюється як стратегія дослідження, так і методологія пошуку оптимальних рішень. Одними з головних структурних об'єктів ЕМ є повітряні лінії (ПЛ) електропередачі, оскільки вони здійснюють зв'язок між об'єктами мережі і впливають ефективність її роботи в цілому. Тому більше уваги приділяється постановці та розв'язанню оптимізаційних завдань, метою яких є вибір оптимального рішення в задачах проектування ПЛ. Якщо простежити шляхи вирішення загальної проблеми оптимізації, то можна помітити, що вона характеризується трьома різними підходами: детермінованим, стохастичним і адаптивним. Всі вони застосовуються в різних завданнях з тим чи іншим успіхом [1, 2].

Для планування оптимального розвитку ЕМ використовується два класи моделей — оціночні і оптимізаційні. Головним недоліком оціночних моделей є можливість оцінки порівняно малої кількості варіантів, що веде до збільшення ролі «вольових» рішень, а, отже, до підвищення ймовірності вибору неоптимального рішення. Цього недоліку позбавлені оптимізаційні моделі, що дозволяють відшукати оптимальні рішення з безлічі допустимих рішень, що є їх основною перевагою. Головним же недоліком останніх є труднощі в їх реалізації, що знижує ефективність застосування таких моделей [3].

Тому вибір та обґрунтування оптимальних рішень під час проектування ПЛ в умовах неповноти вихідної інформації та багатокритеріальності є актуальною і важливою задачею для електроенергетичної галузі України. Для вирішення цього завдання доцільно використовувати критеріальний метод [4].

Метою статті є показати стратегію вибору оптимального рішення при проектуванні ПЛ в умовах неповноти вихідної інформації та багатокритеріальності.

Матеріали дослідження

Прийняття рішення в процесі передпроектного обґрунтування оптимального варіанта для проектування ПЛ є багатокритеріальним завданням. Одним із шляхів реалізації такого роду завдань є розв'язання задачі оптимізації за векторною умовою $K(F_{ij}) = \{\Phi_{ij}(F_j, I_j)\}$ $i = \overline{1,3}$; $j = \overline{1,5}$, що охоплює весь простір електричних мереж критеріями i -го класу напруги.

$$K(F_{ij}) = \left\{ \min \left(\Phi_{1j}(F_j, I_j), \Phi_{2j}(F_j, I_j), \Phi_{3j}(F_j, I_j) \right) \right\}, \quad (1)$$

$$F_j \in \Psi_j, \quad I_j \in Y_j \subset R,$$

де $F_j = (F_{1j}, \dots, F_{mj})$ — сукупність незалежних параметрів мережі; $I_j = (I_{1j}, \dots, I_{nj})$ — сукупність залежних параметрів.

У цій системі кожен залежний параметр визначається як складна неявна функція від всієї

сукупності незалежних і залежних параметрів $I_j = I_j [F_j, I(F_j)]$ за таких обмежень:

$$\begin{aligned} \Psi_j^{\min} &\leq \Psi_j \leq \Psi_j^{\max}; \\ Y_i^{\min} &\leq Y_i \leq Y_i^{\max}; \\ f_{ij}^{\min} &\leq f_{ij}(F_j, I_j) \leq f_{ij}^{\max}. \end{aligned} \quad (2)$$

Вектор критеріїв складається з трьох складових:

- інвестиційні вкладення (Ф1);
- експлуатаційні витрати (Ф2);
- економічний показник надійності (Ф3).

Обмеження (2) виділяють в n -вимірному просторі параметрів в n -вимірний паралелепіпед Π [3]. За функціональні обмеження приймаємо:

- рівень радіоперешкод $f1(F) \leq 40$ дБ;
- рівень акустичних перешкод $f2(F) \leq 45$ дБ;
- напруженість електричного поля на поверхні проводу $0,5 \leq f3(F) \leq 0,9$.

У просторі критеріїв Ф1, Ф2, Ф3 авторами отримана область Парето оптимальних рішень, на якій для вибору кінцевого результату застосовується функція зовнішнього додатку. Функція зовнішнього додатку залежить від вектора Π (незалежний критерій подібності) і будується на основі критеріального методу [4].

Для вирішення завдання критеріальним методом, дисконтні витрати в ПЛ електропередачі, що є полем дійсних точок на заданій реальній безлічі дискретних перетинів, був записаний апроксимуючий вираз, у який постійна складова входить в неявному вигляді [5, 6].

З вищевикладеного випливає, що техніко-економічну модель дисконтних витрат в 1 км ПЛ можна представити як

$$Z = Z_1 + Z_2 = (E + p)a_i F^{B_i} + (3I^2 \rho \tau \beta) \cdot F^{-1}, \quad (3)$$

де Z_1 – інвестиційні вкладення; Z_2 – експлуатаційні витрати; E – банківська ставка, %; p – коефіцієнт відрахувань на амортизацію, ремонт та обслуговування ПЛ; a_i – постійна складова вартості 1 км ПЛ, що залежить від типу опор, конструкції ПЛ, класу напруги і враховує вартість земельної ділянки під ПЛ, (д. е)/км; v_i – коефіцієнт подорожчання, що враховує зміну вартості 1 км ПЛ в залежності від перетину дроту, нормованого у відповідному класі напруги, д. е/(км мм²); F – перетин дроту, мм²; I – максимальний струм ПЛ, А; ρ – питомий опір провідникового матеріалу, Ом·мм²/км; τ – час максимальних витрат, ч/рік; β – питома вартість витрат електроенергії, д. е/(кВт·год.).

Або узагальненою техніко-економічною моделлю в критеріальному вигляді

$$Z = A_1 F^{\pi_1} + A_2 F^{-1}, \quad (4)$$

де $A_1 = (E + p)a_i F^{B_i}$; $A_2 = (3I^2 \rho \tau \beta) \cdot F^{-1}$.

Критеріальний аналіз моделі (4) показав, що в точці мінімуму

$$Z_o = \left(\frac{A_1}{\pi_1} \right)^{\pi_1} \cdot \left(\frac{A_2}{\pi_2} \right)^{\pi_2}, \quad (5)$$

де π_1 і π_2 – дольова участь складових моделі в оптимумі або критерії подібності.

Для визначення критеріїв подібності π_i в рівнянні (5) необхідно знати величину узагальнених констант A_1 і A_2 . У тому випадку, якщо відсутня інформація про A , то визначення критеріїв подібності π_i (5) базується на умовах ортогональності та нормування і являє собою систему рівнянь [4, 6]:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{m_1} \pi_i = 1; \\ \frac{dy}{dx_j} \Big|_{x_j = x_{j0}} = \frac{y_0}{x_{j0}} \sum \alpha_{ij} \pi_i = 0, \quad j = \overline{1, n}. \end{cases} \quad (6)$$

Дольова участь складових моделі (4) з мінімумом дисконтних витрат будуть такими:

$$\pi_1 = \frac{1}{1 + \bar{v}}; \quad \pi_2 = \frac{\bar{v}}{1 + \bar{v}}, \quad (7)$$

де \bar{v} — узагальнені коефіцієнти апроксимації в техніко-економічних моделях певного класу напруги.

Використовуючи критеріальний аналіз техніко-економічних моделей ПЛ, реалізуємо (4) для визначення співвідношення складових в оптимальному варіанті проектування ПЛ різних класів напруги. Отримані співвідношення складових у техніко-економічних моделях ПЛ в оптимальному варіанті для кожного класу напруги подаються в таблиці

Значення критеріїв подібності для ПЛ різних класів напруги

U кВ	10	35	110	330	750
π_1	0,86	0,85	0,81	0,73	0,79
π_2	0,14	0,15	0,19	0,27	0,21

Таким чином визначено дольову участь складових у техніко-економічній моделі ПЛ різних класів напруги з мінімумом дисконтних витрат. Це дало можливість визначити співвідношення між інвестиційними вкладеннями і експлуатаційними витратами в оптимальному варіанті проектування ПЛ і сформулювати перспективні альтернативи для вибору оптимального рішення в проектуванні ПЛ з позицій економічної ефективності.

Оскільки мова йде про об'єкт ЕС, то під час вибору оптимального рішення в проектуванні ПЛ необхідно враховувати і технічні аспекти. Одним з головних технічних критеріїв є пропускання здатність ПЛ і технологічні втрати на транспорт електричної енергії, які залежать від перетину дроту і переданої потужності [7, 8].

Для вибору оптимального рішення в проектуванні ПЛ нами використовувався метод Т. Сааті [9].

Згідно з [9] вибір пріоритетного напрямку в проектуванні ПЛ можна представити безліччю альтернатив

$$A = \{a_i\}_{i=1}^n \quad (8)$$

і безліччю критеріїв

$$Q = \{q_j\}_{j=1}^m \quad (9)$$

для оцінки важливості альтернатив.

Кожній альтернативі a_i виставляють оцінки y_{ij} по всій множині критеріїв q — оцінка i -ї альтернативи по j -му критерію. Ваги порівнюваних об'єктів (спочатку критеріїв, а потім послідовно альтернатив рішення по кожному критерію) обчислюємо за формулами:

$$w_i = m \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m y_{ij}}; \quad w_i' = \frac{w_i}{\sum_{j=1}^m w_j}. \quad (10)$$

Важливість альтернативи за кожним з критеріїв визначається в серії з m -процедур попарних порівнянь, у кожній з яких визначаються ваги за критерієм відповідно за співвідношеннями (10). Потім у співвідношенні (10) значення m — число критеріїв, замінюється на n — число альтернатив [9]. І кращою вважається альтернатива з найбільшою важливістю.

Відповідно до вищевикладеного проведено аналіз перспективних альтернатив з урахуванням діапазону переданої потужності (P) у відповідному класі напруги, який показав, що стратегія вибору оптимального рішення в проектуванні ПЛ залежить від діапазону переданої потужності у відповідному класі напруги [6].

Для остаточного вибору оптимального рішення з перспективних варіантів, отриманих методом Т. Сааті, вибирається таке рішення, яке максимально наближене до співвідношення складових у техніко-економічних моделях ПЛ в оптимальному плані (табл.).

Висновки

Запропонована стратегія вибору оптимального варіанта під час проектування повітряних ліній, що базується на критеріальному методі і методі Т. Сааті, підвищить ефективність прийняття рішення в умовах неповноти вихідної інформації та багатокритеріальності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Енергетична стратегія України. Погляд громадськості. За матеріалами міжнародної науково-технічної конференції «Основні положення Енергетична стратегія України та науково-технічне забезпечення її реалізації», (16—18.09. 2003 р., АР Крим).
2. Черемисин Н. М. Системный подход в обосновании стратегий рационального проектирования ВЛ Украины / Н. М. Черемисин, В. И. Романченко // Энергетика и электрификация . — 1999. — № 8. — С. 28—35.
3. Арзамасцев Д. Д. О построении экономико-математических моделей электрических систем / Д. Д. Арзамасцев, А. А. Веников // Известия АН СССР «Энергетика и транспорт». — 1970. — № 2.
4. Астахов Ю. Н. Критериальный метод и его применение для анализа систем электроснабжения : учеб. пос. / Ю. Н. Астахов, Н. М. Черемисин, Б. М. Ильченко. — Харьков : ХИМЭСХ, 1986. — 45 с.
5. Черемісін М. М. Економічні розрахунки в інженерній діяльності : навч. посіб. / М. М. Черемісін, В. І. Романченко. — Харків. — 2006. — 167 с.
6. Черемисин Н. М. Выбор приоритетного направления в проектировании воздушных линий электропередачи в условиях рыночных отношений / Н. М. Черемисин, В. В. Черкашина // Энергетика : управление, качество и эффективность использования энергоресурсов : сб. тр. VI Всероссийской науч.-техн. конф. с международным участием. Россия. Благовещенск : АГУ — 2011. — Т1. — С. 105—110.
7. ГКД 340.000.002-97. Определение экономической эффективности капитальных вложений в энергетику. — Киев, 1997. — 54 с.
8. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / под ред. С. С. Рокотяна и И. М. Шапиро. — М. : Энергоатомиздат, 1985. — 352 с.
9. Саати Т. Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях : Аналитические сети. — М. : изд-во ЛКИ, 2008. — 360 с.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем

Стаття надійшла до редакції 14.10.11
Рекомендована до друку 24.12.11

Черемісін Микола Михайлович — професор, **Романченко Валентина Іванівна** — доцент, **Черкашина Вероніка Вікторівна** — старший викладач.

Кафедра електропостачання та енергоменеджменту, Харківський національний технічний університет сільськогосподарства ім. Петра Василенка, Харків