

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ СУЧАСНИХ ЕНЕРГОСИСТЕМ

Баженов В.А., к.т.н., доц., Васюк О.С., магістрант

НТУУ «КПІ», кафедра електричних мереж та систем

Вступ. Перспективне проектування електричних мереж полягає в обґрунтуванні схем розвитку мереж, виборі складу і параметрів об'єктів і термінів їх спорудження. Завдання оптимізації схем мережі полягає в забезпеченні мінімуму дисконтованих витрат на спорудження і експлуатацію всіх електромережових об'єктів при дотриманні нормованих вимог до якості та надійності електропостачання.

Мета роботи. Метою роботи є розробка методів та алгоритмів оптимізації розвитку електричних мереж енергосистем сучасних енергосистем, що забезпечують ефективне вирішення поставленої задачі розвитку, виконання технічних та ресурсних обмежень у вигляді рівностей та нерівностей. При оптимізації розвитку вибираються напруга й конфігурація електричних мереж, встановлюється черговість спорудження об'єктів енергосистем.

Матеріали і результати досліджень. Розглянемо класичну постановку задачі оптимізації розвитку електричних мереж. Нехай задані місця розташування електростанцій, кожна з яких генерує потужність a_i , де $i=1,2,\dots,I$. Крім того, задані навантажувальні пункти, потреба в потужності яких становить b_j , де $j=1,2,\dots,J$.

Функція дисконтованих витрат на транспорт енергії від електростанцій до споживачів може бути записана у вигляді

$$Z = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J C_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

де C_{ij} - питома вартість транспорту енергії від i -ї електростанції до j -го споживача; x_{ij} - потужність, що передається від i -ї електростанції до j -го споживача. Задача вирішується при наявності обмежень по балансу потужності у вузлах

$$\sum_{j=1}^J x_{ij} = a_i, \quad i=1,2,\dots,I \quad \sum_{i=1}^I x_{ij} = b_j, \quad j=1,2,\dots,J \quad (2)$$

Для реалізації алгоритму вирішення задачі необхідно скласти транспортну матрицю, елементи якої являють собою потужності, що протікають по припустимих лініях зв'язку. Крім того, у клітках матриці записані питомі вартості передачі по припустимих зв'язках C_{ij} .

У складі елементів мережі розрізняють лінії електропередачі і трансформатори. Кожен елемент характеризується рядом параметрів, серед яких можуть бути, наприклад, напруга, переріз і кількість ланцюгів ліній, потужність, кількість трансформаторів на підстанції. Вказані параметри є дискретними, що викликає істотні труднощі при розв'язанні заданої задачі

оптимізації. Всі ці параметри можуть бути представлені функціями потоку потужності по лінії або по трансформатору.

При проектуванні для скорочення розмірності завдання, що вирішується, доцільно виключити з числа незалежних змінних такі параметри як напруга, переріз і кількість ланцюгів ліній електропередачі. Для виключення може бути застосований метод економічних інтервалів, при використанні якого дисконтовані витрати i -ї гілки електричної мережі можуть бути записані у вигляді:

$$Z_i(P_i) = \min[Z_{i1}(P_{i1}), Z_{i2}(P_{i2}), \dots, Z_{iv}(P_i), \dots, Z_{iv}(P_i)], \quad (3)$$

де V – загальна кількість варіантів технічного виконання i -ї гілки.

Витрати в лінію електропередачі визначаються з виразу:

$$Z_v = Z_{v0} l, \quad (4)$$

де l – довжина лінії; Z_{v0} – сумарні дисконтовані витрати на спорудження і експлуатацію одиниці довжини лінії заданого типу і напруги з перерізом S_v . Функція Z_{v0} може бути представлена у вигляді

$$Z_{v0} = K_{v0} + \frac{p_a \cdot K_{v0}}{E} + \frac{P^2}{U_n^2 \cdot E} \cdot r_{v0} \cdot Z_e \cdot \tau, \quad (5)$$

де p_a – щорічні відрахування на амортизацію, ремонт і обслуговування; K_{v0} – капіталовкладення в одиницю довжини лінії перерізом S_v ; E – норма дисконту; U_n – номінальна напруга; r_{v0} – погонний активний опір лінії перерізом S_v ; Z_e – питома вартість втрат електроенергії; τ – число годин максимальних втрат електроенергії;

Функція (5) може бути представлена у вигляді:

$$Z_{v0} = a_{v0} + b_{v0} \cdot P^2, \quad (6)$$

де a_{v0} і b_{v0} – коефіцієнти параболи. Аналогічні функції можуть бути представлені для всіх $v=1,2,\dots,V$ допустимих перерізів ліній заданого типу і напруги.

В результаті розрахунку були побудовані кусочно- параболичні функції оптимальних дисконтованих витрат на спорудження і експлуатацію ліній електропередачі напругою 110кВ і 220 кВ.

Для забезпечення можливості використання для оптимізації розвитку електричних мереж методів лінійного програмування отримані функції апроксимовані більш простими лінійними функціями. Для апроксимації використаний метод найменших квадратів.

Алгоритм вирішення транспортної задачі може бути записаний в наступному вигляді.

1. З числа незаповнених кліток транспортної матриці знаходять клітку найменшим значенням питомої вартості транспорту енергії

$$C_{mn} = \min \{C_{ij} / i = 1, 2, \dots, I; j = 1, 2, \dots, J\}.$$

2. Якщо $a_m > b_n$, у незаповнені клітки транспортної матриці заносять наступні значення перемінних

$$x_{in} = \begin{cases} 0, i = 1, 2, \dots, m-1, m+1, \dots, I; \\ b_n, i = m; \end{cases}$$

$\bar{b}_n = 0$ и. $\bar{Q}_m = a_m - b_n$ Якщо ні, то

$$x_{mj} = \begin{cases} 0, j = 1, 2, \dots, n-1, n+1, \dots, J; \\ a_m, j = n; \end{cases}$$

$\bar{a}_m = 0$ и. $\bar{b}_n = b_n - a_m$

3. Чи всієї клітки транспортної матриці заповнені? Якщо так, переходять до п.4 алгоритму, якщо ні, - до п.1.

4. Розраховують значення симплекс - множників виду U_i і V_j . З цією метою приймають значення одного з множників рівним нулю і вирішують систему рівнянь, кожне з яких $C_{ij} = U_i + V_j$ відповідає базисній перемінній.

5. Якщо для нових значень коефіцієнтів, що відповідають позабазисним перемінним, виконується нерівність $\bar{C}_{ij} \geq 0$, оптимальний план знайдений, і переходять до п.8 алгоритму; якщо ні, переходять до п.6.

6. Визначають негативний коефіцієнт транспортної матриці, що має найменше значення

$$\bar{C}_{mn} = \min \{ \bar{C}_{ij} / \bar{C}_{ij} < 0, i = 1, 2, \dots, I; j = 1, 2, \dots, J \}.$$

7. Знаходять виправлення θ до перемінного x_{mn} . З цією метою перемінної x_{mn} привласнюють значення θ , базисні перемінні стовпця n і рядка m змінюють на величину $-\theta$. Так як повинні виконуватися умови балансу потужності, це у свою чергу викликає наступні зміни базисних перемінних. З умови (4.29) визначаємо виправлення θ . Переходимо до п.4 алгоритму.

8. Кінець.

Алгоритм реалізований у вигляді пакету прикладних програм для вирішення транспортної задачі можна використовувати в енергетиці для наближеного визначення оптимальної структури енергосистеми. При цьому визначають оптимальні потужності електростанцій, а також оптимальну конфігурацію електричної мережі.

Висновки: Запропонований метод вибору оптимальної конфігурації електричних мереж енергосистем, який використовує алгоритми вирішення транспортної задачі.

В результаті виконання роботи були побудовані кусочно- параболічні функції оптимальних дисконтованих витрат на спорудження і експлуатацію ліній електропередачі напругою 110кВ і 220 кВ.

Всі запропоновані алгоритми реалізовані в пакеті прикладних програм для персональних комп'ютерів.

Перелік посилань

1. Баженов В.А. Модели оптимального развития энергосистем: учеб.пособ. /В.А. Баженов. –К.:КПИ,1984. – 100с.
2. Кузнецов В.Г. Оптимизация режимов электрических сетей/ В.Г. Кузнецов, Ю.И. Тугай, В.А. Баженов. – К.: Наукова думка, 1992. – 216 с.