

ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗВИТКУ ЕНЕРГОСИСТЕМ

Баженов В.А., к.т.н., доц., Крикливий Д.С., магістрант

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних мереж та систем

Вступ. При проектуванні електричної мережі обґрунтовують конфігурацію розвитку мереж, склад і параметри об'єктів і терміни їх спорудження. Оптимізація мереж полягає в забезпеченні мінімуму дисконтованих витрат для всіх об'єктів мереж, що будуються та вже існують при дотриманні нормованих показників якості електропостачання.

Мета роботи. Розробка алгоритмів оптимізації електричних мереж, з урахуванням певних технічних обмежень у вигляді рівностей та нерівностей..

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} .

Кожен елемент мережі, лінія електропередачі або трансформатор, характеризується рядом параметрів, які ускладнюють розрахунок. При оптимізації для скорочення розмірності розв'язуваної задачі доцільно їх виключити з числа незалежних змінних. Для виключення може бути застосований метод економічних інтервалів, при використанні якого наведені витрати i -ї гілки або трансформатора електричної мережі при будь-якому значенні потоку потужності по елементу повинні задовольняти умові

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

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

$$Z_{V0} = K_{V0} + \sum_{t=1}^T \left[\left(I_{V0} + \frac{P^2}{U_{cp}^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot r_{V0} \cdot Z_v \cdot \tau \right) \cdot (1 + E_H)^{-t} \right], \quad (5)$$

В результаті розрахунок отримуємо

$$Z_{300} = 410 + \sum_{t=1}^{25} \left[\left(4,92 + \frac{0^2}{220^2 \cdot 0,8^2} \cdot 0,087 \cdot 0,408 \cdot 3862,25 \right) \cdot (1 + 0,1)^{-t} \right] =$$

$$= 0,454 \text{ млн.грн./км};$$

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.

Для застосування цих функцій в методах лінійного програмування, вони були апроксимовані прямими лініями. Для виконання апроксимації скористалися методом найменших квадратів, суть якого полягає в тому, що сума квадратів відхилень значення точки від апроксимуючої точки приймає мінімальне значення (7):

$$F(a,b) = \sum_{i=1}^n (y_i - (a \cdot x_i + b))^2 \rightarrow \min, \quad (7)$$

вирази для визначення коефіцієнтів a і b мають вигляд

$$a = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}, \quad (8)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - a \cdot \sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (9)$$

Якщо функція дисконтованих витрат апроксимується прямою, що проходить через початок координат $y = k \cdot x$, то вираз для визначення значення коефіцієнта k буде мати вигляд

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2}, \quad (10)$$

Таким чином, можемо отримати значення дисконтованих витрат для існуючих ліній та ліній, що будуються.

Приклад найпростішої електричної мережі зображено на рисунку 1.

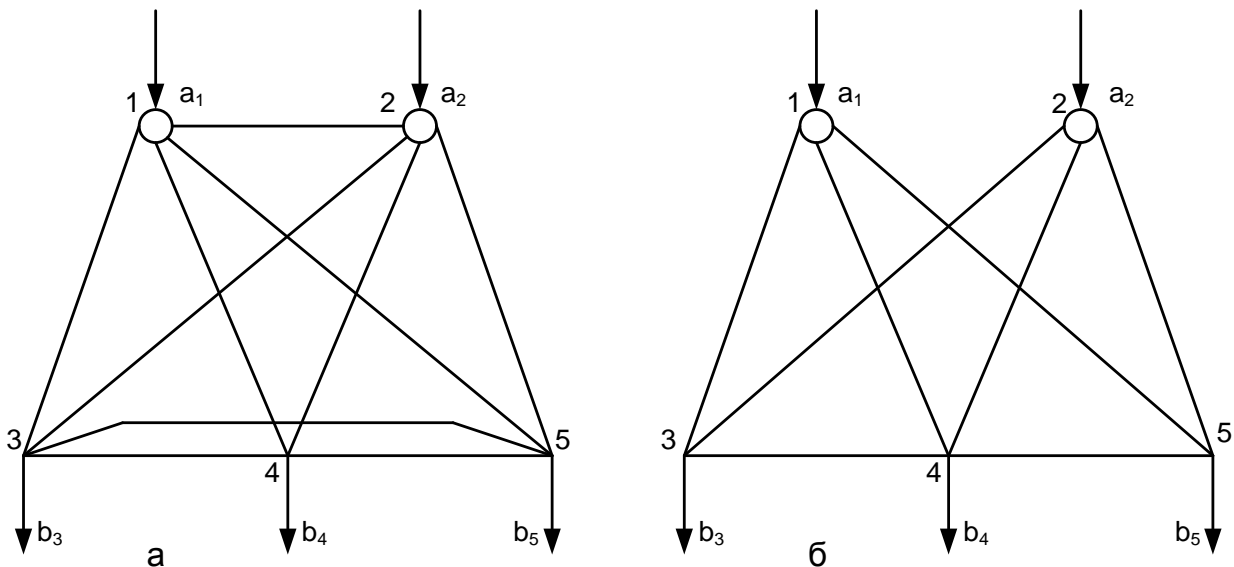


Рисунок 1 – Приклад електричної мережі

Для вирішення транспортної задачі з проміжними перевезеннями може бути використаний метод економічних потенціалів, сутність якого полягають у наступному. Зі складу вихідної розрахункової схеми мережі, яка об'єднує всі допустимі гілки, виділяють розімкнену частину (дерево) мережі. При цьому повинна бути забезпечена зв'язність всіх вузлів схеми. Потенціал балансуєчого пункту приймають рівним нулю. Економічні потенціали вузлів початку і кінця кожної гілки пов'язані між собою виразом:

$$\pi_j = \pi_i + C_{ij} \quad (11)$$

де i, j - поточні індекси вузлів відповідно початку і кінця гілок мережі.

Напрямок гілки приймають таким, що збігається з напрямком потоку потужності. Тоді потенціали вузлів мережі можуть бути знайдені з виразу (7) при послідовному розгляді гілок розімкненої мережі в напрямку від балансуєчого пункту до меж дерева. Далі знаходять різниці економічних потенціалів для допустимих гілок мережі, які не були включені до складу дерева:

$$\epsilon u_{ke} = \pi_e - \pi_k \quad (12)$$

Якщо для всіх гілок дотримується умова $|\epsilon u_{ke}| < C_{ke}$, оптимальний план знайдений; якщо ні, то включають гілку ke , для якої $|\epsilon u_{ke}| > C_{ke}$, до складу дерева мережі. У свою чергу з дерева виключає лінію, якої відповідає найменше

значення потоку потужності на шляху з пункту k в пункт e . Далі знову знаходять економічні потенціали вузлів мережі, різницю потенціалів для не включених в дерево гілок мережі, порівнюють отримані різниці з вартістю передачі одиничної потужності і т.д.

Алгоритм методу економічних потенціалів може бути записаний в наступному вигляді:

1. Зі складу вихідної розрахункової схеми виділяють розімкнену частину мережі, яка забезпечує зв'язність всіх вузлів. Приймають $V = 0$.

2. Потенціал балансуєчого пункту приймають рівним нулю $\pi_{on} = 0$ і організують послідовний перегляд гілок розімкненої мережі - від балансуєчого пункту до меж дерева. При цьому з виразу $\pi_j^{(V)} = \pi_i^{(V)} + C_{ij}$ знаходять потенціали всіх вузлів мережі.

3. Якщо різниця потенціалів вузлів початку і кінця допустимих гілок мережі, які не були включені до складу дерева, задовольняє умові

$$|\epsilon u_{ke}^{(V)}| = |\pi_e^{(V)} - \pi_k^{(V)}| < C_{ke}$$

То оптимальний план знайдений, і переходять до п.5 алгоритму, якщо ні, переходять до п.4.

4. Включають до складу дерева мережі гілку, що має найменше значення коефіцієнта виду $\bar{C}_{ke}^{(V)} = C_{ke} - \pi_e^{(V)} + \pi_k^{(V)}$. З дерева виключають лінію, якій відповідає найменше значення потоку потужності на шляху між пунктами початку і кінця гілки, включеної в дерево. Змінюють номер кроку оптимізації і переходять до п.2 алгоритму.

5. Кінець.

Даний алгоритм можливо застосовувати для визначення оптимальної структури енергосистеми. При цьому визначають як оптимальну конфігурацію мережі так і потужності електростанцій.

Висновки: В результаті виконання роботи були побудовані кусочно-параболічні функції оптимальних дисконтованих витрат на спорудження і експлуатацію ліній електропередачі напругою 110 кВ і 220 кВ, запропонований метод вибору оптимальної конфігурації електричних мереж, що дозволяє вирішувати транспортну задачу з проміжними перевозками.

Перелік посилань

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