

УДК 621.39

В.П. Разживін, В.В. Маршалов

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## ОПТИМІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ ПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ

В статті розглядається можливість рішення оптимізаційної задачі розподілу потужностей електричних підстанцій промислового району між споживачами електричної енергії.

**Ключові слова:** електрична мережа, оптимізаційна задача, метод найкорішого спуску, потужність.

## Вступ

При плануванні електропостачання промислового району виникає завдання оптимального розподілу потужності між споживачами. Показник, за величиною якого оцінюють, чи являється рішення оптимальним, називається критерієм оптимальності. Найбільш часто в якості критерію оптимальності приймається економічний критерій, який представляє собою мінімум витрат (фінансових, енергетичних, сировинних і т.д.) на реалізацію поставленого завдання. При заданих або обмежених величинах цих витрат економічний критерій – одержання максимального прибутку. В електроенергетиці в залежності від вимог поставленого завдання можуть прийматися і інші критерії оптимальності, а саме:

- критерій надійності електропостачання;
- критерій якості електроенергії;
- критерій найменшого впливу на навколишнє середовище (екологічний критерій).

В роботі пропонується в якості критерію оптимальності обрати втрати потужності при розподілі її між споживачами.

**Аналіз літератури.** Втрати [1] залежать від багатьох чинників, таких як довжина ліній електропередач, матеріал, з якого виготовлена лінія, перетин проводів, навантаження і таке інше.

Якщо відомі обмеження на передачу електричної енергії, а також втрати на одиницю потужності при передачі електроенергії від  $i$ -го пункту постачання до  $j$ -го пункту споживання (а також в припущенні, що загальні втрати пропорційні переданій потужності), то задачу оптимізації можна вирішити методами математичного програмування. Відомо [2], що задачу оптимального розподілу електроенергії можна вирішити методами лінійного програмування. При даній постановці задачі джерелами живлення являються електричні підстанції, споживачами – промислові споживачі електроенергії. Нехай в системі електропостачання, що проектується, маємо  $i=1,2,\dots,n$  вузлів джерел живлення та  $j=1,2,\dots,m$  вузлів споживачів. Потужність кожного з джерел складає  $A_i$ , а потужність кожного із споживачів –  $B_j$  одиниць потужності (о.п.). Звісно взаємне розмі-

щення вузлів джерел та споживачів. Загальна кількість можливих до будівництва ліній електропередач, які зв'язують джерела зі споживачами, складає  $n \cdot m$ . Звісно, що електрична мережа являється електричним колом і для цієї мережі можна застосувати 1-й закон Кірхгофа. Для кожного  $i$ -го джерела живлення сума потужностей, які відтікають по лініях до всіх  $j=1,2,\dots,m$  вузлів споживачів, дорівнює потужності  $A_i$  цього джерела:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = A_i, i = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Для кожного  $j$ -го споживача сума потужностей, які притікають по лініях від всіх  $i = 1, 2, \dots, n$  джерел дорівнює потужності  $B_j$  цього споживача:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = B_j, j = \overline{1, m}. \quad (2)$$

Співвідношення (1) та (2), які представляють собою баланси потужності в кожному з вузлів, являються обмеженнями при рішенні задачі. Загальна кількість обмежень дорівнюється кількості вузлів джерел та споживачів  $n+m$ . Звісно, що для будь-якої електричної мережі кількість незалежних рівнянь, які складаються за 1-м законом Кірхгофа, на одиницю менше кількості вузлів і складає  $(n+m-1)$ . Оскільки кількість незалежних обмежень складає  $(n+m-1)$ . Кількість базисних (не рівних нулю) змінних дорівнює кількості незалежних обмежень і складає  $(n+m-1)$ . Останні змінні являються вільними (рівними нулю). Кількість вільних змінних дорівнює  $(nm - (n+m-1))$ . Кожна базисна змінна  $x_{ij}$  відповідає наявності в схемі ліній між вузлами  $i$  та  $j$ , так як потужність, яка протікає між вузлами  $i$  та  $j$ , не дорівнює нулю. Кожна вільна змінна  $x_{ij}$  відповідає відсутності в схемі лінії між вузлами  $i$  та  $j$ , так як потужність, яка протікає між вузлами  $i$  та  $j$ , дорівнює нулю.

В задачі, що розглядається, всі потужності, що передаються від джерел до споживачів, не є негативними. Тому обмежувальні умови мають вигляд

$$x_{ij} > 0, \quad i=1,2,\dots,n; \quad j=1,2,\dots,m. \quad (3)$$

Цільова функція, що є сумою витрат по всіх передачах, тобто суму величин, помножених на, повинна бути мінімальною

$$L' = c_{11}x_{11} + c_{12}x_{12} + \dots + c_{ij}x_{ij} + \dots + c_{mn}x_{mn}, \quad (4)$$

де  $c_{ij}$  – втрати при передачі на одиницю потужності.

Вирази (1) – (4) представляють собою математичну модель задачі. Вирази для цільової функції та обмежень являються лінійними, тому задача може бути вирішена симплекс-методом або за допомогою простіших методів, до яких відноситься транспортна задача.

### Основний матеріал

У нашому випадку необхідно так розподілити активну потужність між підстанціями, щоб сумарні витрати були мінімальні, основною складовою цих втрат є питома втрата. Тому в якості цільової функції, що мінімізується, приймемо загальні втрати електроенергії в енергосистемі промислового району. Нехай в енергосистемі промислового району є підстанції. Для кожної підстанції відомі загальні втрати від переданої підстанцією активної потужності.

Ці втрати, як правило, мають нелінійний характер і звичайний вигляд:

$$V_i(P_i), \quad i=1, 2, \dots, n. \quad (5)$$

Цільова функція буде являти собою суму таких нелінійних залежностей:

$$Z = V_1(P_1) + V_2(P_2) + \dots + V_n(P_n) \rightarrow \min. \quad (6)$$

В енергосистемі повинен дотримуватися баланс потужностей в слідстві з яким сума переданих підстанціями потужностей дорівнює споживаній потужності

$$P_1 + P_2 + \dots + P_n = P_{\text{спож.}} \quad (7)$$

Вираз балансу активної потужності і є обмеженням в розглянутій оптимізаційній задачі.

Практичними умовами будуть позитивні значення шуканих потужностей підстанції.

$$P_i > 0, \quad i=1, 2, \dots, n. \quad (8)$$

Для вирішення завдання може бути застосований один з методів рішення задачі нелінійного програмування, таких як градієнтний метод, метод покоординатного спуску, метод проектування градієнта та інші. Співвідношення (6) – (8) – математична модель оптимізаційного завдання. Так як в даній постановці задачі треба знайти екстремум функції (6) при наявності обмеження (7) і граничних умов (8), то задача відноситься до задач умовної оптимізації. Skorистаємося методом невизначених множників Лагранжа.

Складемо функцію Лагранжа:

$$L = V_1(P_1) + V_2(P_2) + \dots + V_n(P_n) + \lambda (P_1 + P_2 + \dots + P_n - P_{\text{спож.}}) \rightarrow \min. \quad (9)$$

Для визначення мінімуму функції Лагранжа обчислимо всі її частинні похідні і прирівняємо їх до нуля:

$$\partial L / \partial P_1 = \partial V_1 / \partial P_1 + \lambda = 0,$$

$$\partial L / \partial P_2 = \partial V_2 / \partial P_2 + \lambda = 0,$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\partial L / \partial P_n = \partial V_n / \partial P_n + \lambda = 0,$$

$$\partial L / \partial \lambda = P_1 + P_2 + \dots + P_n - P_{\text{спож.}} = 0 \quad (10)$$

$$\text{Із (10) випливає, що вона має рішення за умови} \\ \partial V_1 / \partial P_1 = \partial V_2 / \partial P_2 = \dots = \partial V_n / \partial P_n \quad (11)$$

та виконання балансу потужності (7).

Таким чином, оптимальний розподіл потужностей між підстанціями промислового району має місце при рівності між собою питомих втрат кожної підстанції.

### Висновки

1. В задачах оптимізації розподілу потужностей електричних підстанцій промислового району між споживачами електричної енергії можуть бути використані методи лінійного та нелінійного програмування.

2. В лінійній постановці задачі рішення може бути одержане симплекс-методом або рішенням транспортної задачі.

3. В даному випадку, коли співвідношення мають нелінійний характер, рішення може бути одержане методом Лагранжа.

Доказано що оптимальний розподіл буде мати місце при рівності між собою питомих втрат кожної підстанції.

### Список літератури

1. Боровиков В.А. *Электрические сети энергетических систем* / В.А. Боровиков, В.К. Косарев, Г.А. Ходот. – Л.: Энергия, 1997. – 244 с.
2. В.Н. Костин. *Оптимизационные задачи электроэнергетики. Учебное пособие* / В.Н. Костин. – С-Пб.: СПбГТУ, 2003. – 184 с.

Надійшла до редколегії 14.10.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.М. Фоменко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА

В.П. Разживин, В.В. Маршалов

*В статье рассматривается возможность решения оптимизационной задачи распределения мощностей электрических подстанций промышленного района между потребителями электрической энергии.*

**Ключевые слова:** электрическая сеть, оптимизационная задача, метод скорейшего спуска, мощность.

### OPTIMIZATION OF ELECTRICAL NETWORKS INDUSTRIAL DISTRICT

V.P. Razzhivin, V.V. Marshalov

*The article considers the possibility of solving the optimization problem of capacity allocation electrical substations industrial area between the consumers of electric energy.*

**Keywords:** electric network optimization problem, the method of steepest descent power.