

УДК 516.9

МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ ДЖЕРЕЛА РЕЗЕРВНОГО ЖИВЛЕННЯ

В.Я. Бунько, старший викладач,

Г.М. Качурівська, кандидат фізико-математичних наук,

В.О. Качурівський, кандидат педагогічних наук

Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»

Розглянуто питання математичного моделювання роботи джерела резервного живлення. Проведено конструювання документу MathCAD для знаходження числового розв'язку задачі лінійного програмування розподільного типу.

Математична модель, лінійне програмування, цільова функція, оптимізація, інформаційні технології.

Підвищення ефективності в енергетиці аграрного виробництва ставить нові вимоги до творчого потенціалу фахівців і, в першу чергу, у напрямі проектування, розробки та експлуатації сучасних електротехнічних комплексів і систем, електрифікованих технологічних процесів та електрообладнання, систем електропостачання та енергоспоживання, вирішення питань мінімізації енергетичних, фінансових та сировинних ресурсів в усіх сферах енергетичної галузі, питань ефективності та ресурсозбереження [1].

Для забезпечення надійності постачання споживачів електричною енергією можуть застосовуватися різні способи, в тому числі резервування. Автоматичне вмикання резервного живлення (АВР) – ефективний засіб підвищення надійності електропостачання споживачів.

Пристрої АВР використовують у схемах електропостачання споживачів, для яких за технологічним процесом не допускається перерв у роботі.

У загальному випадку необхідна надійність живлення для системи електропостачання сільськогосподарських підприємств може бути забезпечена необхідною кількістю генераторів, трансформаторів, секцій шин, живильних ліній та засобами автоматизації.

Надійність характеризується здатністю системи електропостачання та її елементів (ліній, силових трансформаторів, електричних апаратів) забезпечити підприємство і окремі об'єкти електроенергією належної якості без аварійних перерв, що приводять до порушення плану виробництва, аварій в електричній і технологічній частинах обладнання.

Надійність системи електропостачання залежить від побудови її схеми, ступеня резервування і надійності окремих елементів з врахуванням їх перевантажувальної здатності.

Проектування схем електропостачання як промислових, так і сільськогосподарських підприємств завжди починається з визначення електричних навантажень окремих вузлів споживання електричної енергії.

Після того як буде вирішене це питання, переходять до визначення кількості і пропускної здатності мереж, що зв'язують вказані вузли навантажень з джерелами живлення.

Мета роботи – розробити модель оптимізації роботи резервного джерела з дисбалансом між вихідною потужністю джерела та сумарними потужностями користувачів.

Матеріали і методика досліджень. Розглядаючи питання про вибір кількості і потужності трансформаторів на підприємстві, будемо вважати його живильним центром (майбутньої ГПП) і за технічними обґрунтуваннями (струми короткого замикання, номінальні струми, напруги та ін.) встановлюємо в цьому вузлі трансформатори з вимикачами на сторонах високої та низької напруги з шинними роз'єднувачами. Виходячи з вищесказаного для цього вузла можуть бути запроєктовані дві схеми живлення – з одним і з двома колами живлення. Допускаємо також, що у відповідності з технічної точки зору і вимог ПУЕ обидві схеми можуть бути достатньо обґрунтовані. Завдання полягає в тому, щоб з двох намічених схем вибрати одну з кращими техніко-економічними показниками.

Розглянемо питання розподілу потужностей з резервного джерела енергії по користувачах підприємства. Позначимо потужність джерела енергії через a_0 , потреби $n+1$ споживачів через $b_i, i = 0, 1, \dots, n$. Схематично математична модель розподілу може бути подана на основі теорії графів наступним чином (рис. 1).

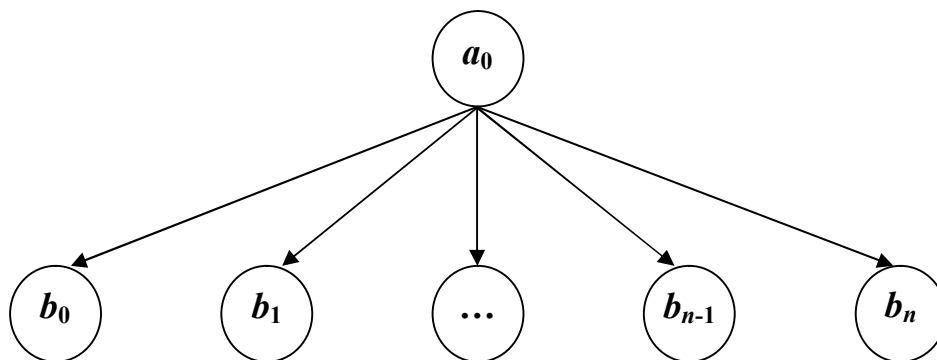


Рис. 1. Граф розподілу потужностей від одного джерела

Якщо $\sum_{i=0}^n b_i = a_0$, то задача розподілу потужностей є збалансованою і не потребує додаткових розв'язків.

Припустимо, що потреби споживачів перевищують потужності резервного джерела. Для нормальної роботи резервного джерела енергії (уникнення перевантаження) виникає необхідність відключити від мережі деяких споживачів. Постає питання, як здійснити розподіл потужності резервного джерела між користувачами?

Зрозуміло, що при передачі енергії неможливо уникнути втрат на передачу цієї енергії. Тому одними з показників роботи системи, є мінімізація затрат на транспортування енергії від резервного джерела до споживача. Іншим критерієм відключення може слугувати мінімізація втрат потужностей при транспортуванні енергії від джерела до споживача. Розв'язання даної проблеми зводиться до відшукування розв'язку задачі лінійного програмування розподільного типу [2].

Якщо сумарні потужності споживачів перевищують потужність джерела, то дана система є не збалансованою. Для відшукування розв'язку задачі лінійного програмування необхідно провести балансування потужностей. Для балансування системи введемо фіктивне джерело a_1 , яке постачає недостачу енергії.

Затрати на транспортування енергії від фіктивного джерела a_1 позначимо через $c_{1,j}$ та визначимо їх рівними нулю, а затрати на транспортування енергії від фактичного джерела a_0 до відповідного споживача позначимо через $c_{0,j}$, де $j=0, 1, \dots, n$. Затрати будемо вимірювати в у.о. на одиницю потужності [1]. У результаті ми отримаємо матрицю затрат $c = \begin{pmatrix} c_{0,0} & c_{0,1} & \dots & c_{0,n-1} & c_{0,n} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$, в якій перший рядок – це фактичні, а другий рядок – фіктивні затрати.

Оскільки у нас є два джерела постачання енергії a_0 та a_1 , то числові показники передачі потужностей до споживачів для першого джерела позначимо через $x_{0,j}$, а для другого (фіктивного) позначимо через $x_{1,j}$, де $j = 0, 1, \dots, n$.

Схематично математичну модель даної збалансованої задачі можна подати наступним чином (рис. 2).

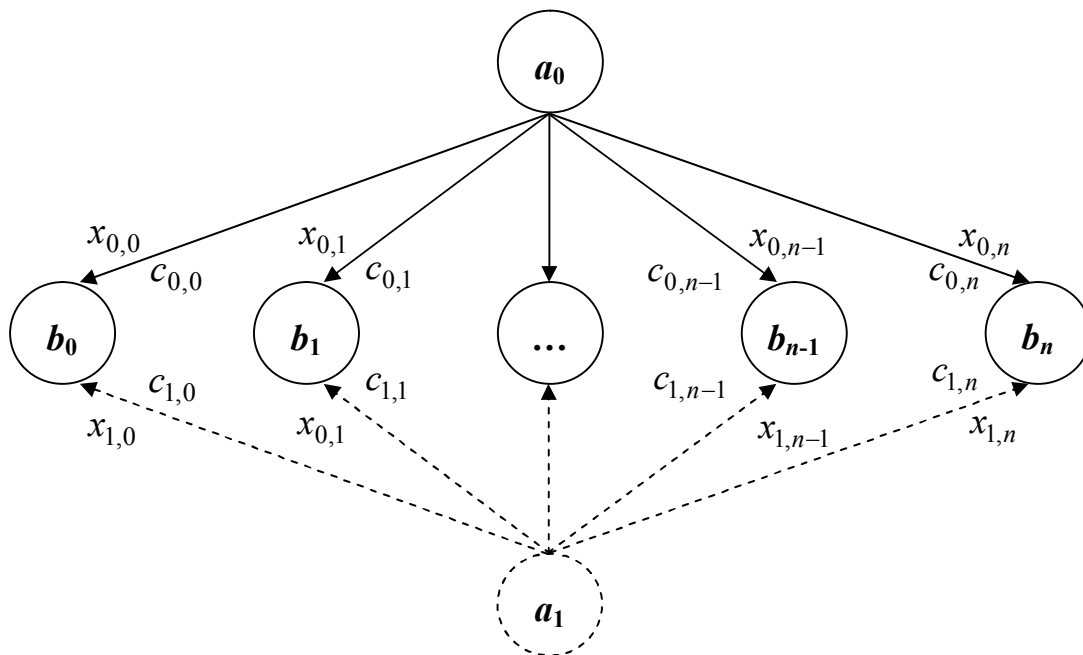


Рис. 2. Граф розподілу потужностей фактичного і фіктивного джерел

Цільова функція затрат має такий аналітичний запис

$$f(x, c) = \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^n x_{i,j} \cdot c_{i,j} .$$

Розв'язок задачі лінійного програмування зводиться

до знаходження мінімуму даної функції при обмеженнях, що визначаються кількостями енергії, які необхідні споживачам.

При знаходженні розв'язку відбудеться перерозподіл потужностей споживання між фактичним та фіктивним джерелами при мінімізації затрат на транспортування енергії. З нового розподілу визначаємо споживачів, які отримують потужності з фіктивного джерела, що дає змогу, виходячи з позиції мінімізації затрат, визначити кого з користувачів слід відключити на певний період від резервного джерела енергії.

Результати досліджень. Розглянемо детально реалізацію описаної вище концепції. Розрахунки проводяться в системі MathCAD.

Нехай у сільськогосподарському підприємстві знаходяться такі об'єкти, рівної категорії щодо надійності в електропостачанні:

- пташник, споживана потужність – 115кВт;
- інкубатор, споживана потужність – 85кВт;
- кормоцех птахоферми, споживана потужність – 60кВт;
- цегельний завод, споживана потужність – 158кВт;
- зерноочисно-сушильний комплекс, споживана потужність – 182кВт;
- хлібопекарня, споживана потужність – 30кВт;
- цех овочевих і фруктових консервів, споживана потужність – 100кВт;

Розв'язок. Формуємо вектор потреб споживачів

$$b := (115 \quad 85 \quad 60 \quad 158 \quad 182 \quad 30 \quad 100) \quad a_0 := 650 \quad b := b^T .$$

Потужність фактичного джерела

Визначаємо потужність фіктивного джерела

$$a_1 := \text{if} \left(a_0, 0 < \sum b, \sum b - a_0, 0, 0 \right) \quad a_1 = 80 .$$

Вектор потужностей має значення $a = \begin{pmatrix} 650 \\ 80 \end{pmatrix}$
 Додаткові величини

$$M := \text{rows} (a) \quad N := \text{rows} (b) \quad i := 0 .. M - 1 \quad j := 0 .. N - 1 .$$

Матриця затрат

$$c := \begin{pmatrix} 1.2 & 1.0 & 1.3 & 1.1 & 1.1 & 1.2 & 1.1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} .$$

Формування цільової функції

$$f (x) := \sum_{i = 0}^{M-1} \sum_{j = 0}^{N-1} c_{i, j} x_{i, j}$$

Початкова матриця розподілу потужностей $x_{i,j} := 0$

Розв'язок транспортної задачі лінійного програмування будемо проводити за допомогою розв'язуючого блоку Given та функції Minimize.

Формуємо розв'язуючий блок та систему обмежень на змінні.

Given

Визначаємо умови постачання потужностей до споживачів

$$\sum_j x_{0,j} = a_0 \quad \sum_j x_{1,j} = a_1$$

Визначаємо умови постачання енергії до споживача b_i від джерел енергії a_0 та a_1 .

$$x_{0,0} + x_{1,0} = b_0 \quad x_{0,1} + x_{1,1} = b_1$$

$$x_{0,2} + x_{1,2} = b_2 \quad x_{0,3} + x_{1,3} = b_3$$

$$x_{0,4} + x_{1,4} = b_4 \quad x_{0,5} + x_{1,5} = b_5$$

$$x_{0,6} + x_{1,6} = b_6$$

Формуємо обмеження на розрахункові потужності x_{ij} .

$$x_{0,0} \geq 0 \quad x_{0,4} \geq 0 \quad x_{1,0} \geq 0 \quad x_{1,4} \geq 0$$

$$x_{0,1} \geq 0 \quad x_{0,5} \geq 0 \quad x_{1,1} \geq 0 \quad x_{1,5} \geq 0$$

$$x_{0,2} \geq 0 \quad x_{0,6} \geq 0 \quad x_{1,2} \geq 0 \quad x_{1,6} \geq 0$$

$$x_{0,3} \geq 0 \quad x_{1,3} \geq 0$$

Розв'язок системи

$$\text{sol} := \text{Minimize}(f, x)$$

$$\text{sol} = \begin{pmatrix} 115 & 85 & 0 & 158 & 182 & 10 & 100 \\ 0 & 0 & 60 & 0 & 0 & 20 & 0 \end{pmatrix}$$

За даною матрицею розв'язку очевидним є те, що 3-го споживача необхідно відключити від споживання, а 6-му споживачу необхідно обмежити споживання до 10 кВт.

Якщо споживач не може працювати з потужністю меншою від номінальної, то приймаємо рішення про його повне відключення від джерела резервного живлення. Отже, від мережі резервного споживання необхідно відключити 3-го та 6-го споживачів.

Розглянемо ситуацію, коли певних споживачів, не можна відключати від резервного джерела енергії, що викликано певним технологічним процесом.

Так, у нашому випадку, обов'язковим постачанням енергії є хлібопекарня, інкубатор та пташник.

Щодо формування розв'язку нашої задачі, змінюємо систему обмежень розрахункових потужностей $x_{i,j}$. Покладемо, що $x_{0,0} = 115$, $x_{0,1} = 85$, $x_{0,5} = 30$.

Система обмежень набуде такого виду.

$$\begin{aligned}x_{0,0} &= 115 & x_{0,4} &\geq 0 \\x_{0,1} &= 85 & x_{0,5} &= 30 \\x_{0,2} &\geq 0 & x_{0,6} &\geq 0 \\x_{0,3} &\geq 0\end{aligned}$$

Розв'язок задачі при заданих обмеженнях набуде такого виду.

$$\text{sol} = \begin{pmatrix} 115 & 85 & 0 & 158 & 182 & 30 & 80 \\ 0 & 0 & 60 & 0 & 0 & 0 & 20 \end{pmatrix}.$$

Аналізуючи матрицю розв'язку робимо висновок, що 3-го споживача слід відключити від споживання енергії, а 7-му зменшити споживання до 80 кВт.

Висновок

Дана модель може бути корисною для оптимізації роботи резервного джерела з дисбалансом між вихідною потужністю джерела та сумарними потужностями користувачів, а також для розв'язування задач лінійного програмування розподільчого типу.

Список літератури

1. Іноземцев Г.Б, Козирський В.В. Математичне моделювання та оптимізація систем електропостачання у сільському господарстві. – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2010. – 144 с.
2. Кучма М.І. Математичне програмування: приклади і задачі. Навчальний посібник. – Львів: «Новий Світ-2000», 2006. – 344 с.

Рассмотрены вопросы математического моделирования работы источника резервного питания. Проведено конструирование документа MathCAD для численного решения задачи линейного программирования распределительного типа.

Математическая модель, линейное программирование, целевая функция, оптимизация, информационные технологии.

The problem of mathematical modeling of the source of backup power. A design document MathCAD for finding the numerical solution of linear programming distribution type.

Mathematical model, linear programming, objective function, optimization, information technology.