

УДК 621. 3

Г.І. Лагутін<sup>1</sup>, В.М. Лисенко<sup>2</sup><sup>1</sup> Харківський університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба, Харків<sup>2</sup> Сумський національний аграрний університет, Суми

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАДАЧІ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ СПОЖИВАЧІВ ВІЙСЬКОВИХ АЕРОДРОМІВ

*В статті розглянуті вихідні дані для побудови математичної моделі задачі визначення оптимальної кількості джерел електричної енергії для споживачів військових аеродромів. Проаналізовані чинники, що впливають на вид математичної моделі оптимізаційної задачі. Запропонований варіант спрощеної математичної моделі, що дозволяє розв'язувати розглянуту задачу методами дискретного лінійного та динамічного програмування.*

**Ключові слова:** військовий аеродром, система електропостачання, оптимальна кількість джерел електроенергії, дослідження операції, математична модель.

### Вступ

Використання за призначенням озброєння усіх видів Збройних Сил України нерозривно зв'язане з використанням електричної енергії.

Виробництво електроенергії, її передача, перетворення та розподіл здійснюється за допомогою систем електропостачання, до складу яких входять пристрої та прилади для виробництва, перетворення, розподілу та передачі електричної енергії.

Електропостачання стаціонарних військових аеродромів здійснюється, в основному, від державної енергосистеми з використанням резервних стаціонарних та пересувних (табельних) електростанцій аеродрому.

Джерела електроенергії для електропостачання споживачів на аеродромі за своїм призначенням підрозділяються на робочі та резервні.

До робочих джерел електроенергії відносяться вводи від зовнішньої системи електропостачання та центральна постійно діюча стаціонарна електростанція аеродрому, що передбачається при відсутності введів від зовнішніх джерел електроенергії.

Резервні джерела електроенергії для аеродромів можуть бути централізованими та децентралізованими.

У якості централізованого резервного джерела електроенергії використовується резервна стаціонарна електростанція аеродрому.

При децентралізованому резервуванні передбачається декілька резервних електростанцій (стаціонарних або пересувних, у тому числі табельних), кожна з яких постачає електроенергію одну або декілька споруд або систем.

Поза залежністю від прийнятої схеми резервування, обов'язкова установка автономних джерел електроенергії для електроприймачів, що відносяться до особливої групи першої категорії.

Для стаціонарних військових аеродромів, що одержують живлення від двох незалежних зовнішніх джерел електроенергії, рекомендується в якості автономного джерела електропостачання будівництво центральної резервної електростанції для забезпечення електроенергією близько розташованих споживачів особливої групи першої категорії, а також окремих споживачів першої та другої категорії. Кількість агрегатів на електростанції повинна бути не менше двох.

Для стаціонарних військових аеродромів, що одержують живлення від одного зовнішнього джерела електроенергії, споруджується центральна резервна електростанція для забезпечення електроенергією всіх споживачів особливої групи першої категорії, першої категорії, а також необхідних споживачів другої категорії. Кількість агрегатів на електростанції повинна бути не менше трьох.

При відсутності на аеродромі введів від зовнішніх джерел електроенергії передбачається стаціонарна постійно діюча електростанція аеродрому. Електростанція обладнується секціонованою системою шин генераторної напруги та розглядається як два незалежних джерела електроенергії. Кількість агрегатів на електростанції повинна бути не менше чотирьох.

Дизель-генератори, які монтуються на резервних електростанціях, що забезпечують споживачів першої категорії, повинні мати другий або третій ступінь автоматизації відповідно до ГОСТ 10082-83.

### Основна частина

Забезпечення споживачів електричною енергією може бути здійснено шляхом використання або одного типу електростанцій, що спроможний забезпечити роботу всіх споживачів електричної енергії, або двох чи більше типів, кожен з яких може забезпечити лише частину споживачів електричною

енергією, у другому варіанті в наслідок різниці в вартості електричних станцій та вартості їх обслуговування має місце зменшення загальних витрат на забезпечення електричною енергією споживачів [4].

Чим більша кількість типів електростанцій – тим менші затрати на забезпечення електричною енергією споживачів, тому що в залежності від необхідної потужності вибирається необхідний тип електростанції. Але разом з тим зростають затрати на розробку, випробування та постановку на виробництво електростанцій (замість одного типу необхідно розробляти декілька). Зростає відносна вартість кожної електростанції в наслідок зменшення об'єму виробництва електростанцій кожного типу, і нарешті зростають відносні витрати на експлуатацію кожного типу електростанцій.

Зрозуміло, що існує оптимальна кількість типів (ряд потужностей) електростанцій і їх оптимальна потужність, при якій мінімізуються сумарні витрати.

Розв'язання задачі вибору найкращого варіанта побудови складної системи може бути отримане при використанні математичних методів оптимізації.

Формалізований математичний опис оптимізаційної задачі, інакше **кажучи, математична модель повинна містити у собі** цільову функцію, систему обмежень та граничні умови [1].

**Цільова функція** являє собою математичний запис критерію оптимальності. При розв'язанні оптимізаційної задачі шукається екстремум цільової функції, наприклад мінімальні витрати або максимальний прибуток. Узагальнений запис цільової функції має такий вигляд:

$$Z(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \text{extr}, \quad (1)$$

де  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – шукані змінні, значення яких обчислюються в процесі розв'язання задачі; загальна кількість змінних дорівнює  $n$ .

**Обмеження** являють собою різні технічні, економічні, екологічні умови, що враховуються при розв'язанні задачі. Обмеження є залежностями між змінними  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , що задаються у формі нерівностей або рівностей.

$$\begin{aligned} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) &\leq b_1; \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) &= b_2; \\ &\dots\dots\dots \\ f_m(x_1, x_2, \dots, x_n) &> b_m; \end{aligned} \quad (2)$$

**Граничні умови** встановлюють діапазон зміни шуканих змінних

$$d_i \leq x_i \leq D_i, \quad (3)$$

де  $d_i$  і  $D_i$  – відповідно нижня й верхня межі діапазону зміни змінної  $x_i$ .

Для розв'язання переважної більшості оптимізаційних задач використовуються методи **математичного програмування**, які дозволяють знайти

екстремальне значення цільової функції (1) при співвідношеннях між змінними, установлюваними обмеженнями (2), у діапазоні зміни змінних, обумовленими граничними умовами (3).

**Вибір методу математичного програмування** для розв'язання оптимізаційної задачі визначається видом залежностей у математичній моделі, характером шуканих змінних, категорією вихідних даних і кількістю критеріїв оптимальності [2, 3].

Розглянемо чинники, прийняті до уваги при побудові математичної моделі задачі визначення оптимальної кількості джерел електричної енергії для споживачів військових аеродромів. Для кожного часового етапу  $\tau \in t$  враховується таке [6]:

- установлена потужність електростанцій, достатня для забезпечення навантаження у вузлах, власних потреб та втрат у мережах по потужності та якості електроенергії;

- резерв потужності для забезпечення попиту електроенергії (потужності та кількості енергії) у період максимуму, створений та щонайкраще розподілений по електростанціях системи;

- вимоги раціонального покриття пікової частини різко нерівномірного графіка навантаження;

- передбачувані до використання паливні ресурси як за кількістю, так й за паливною складовою експлуатаційних витрат;

- екологічні обмеження, зв'язані з вводом у дію електростанцій системи електропостачання;

- капітальні вкладення у формі фінансових та матеріальних ресурсів, що не перевищують фіксованого розміру, який задається звичайно з більш високого ієрархічного рівня планування;

- можливості постачальних організацій щодо постачання електротехнічних засобів;

- можливість забезпечення експлуатаційним, у тому числі інженерно-технічним персоналом та ін.

Не обов'язково всі ці чинники повинні одночасно бути присутніми у математичній моделі задачі визначення оптимальної кількості джерел електричної енергії для споживачів військових аеродромів.

У якості спрощеної моделі, що припускає будівництво всіх електростанцій в один рік, необмежені можливості щодо енергоресурсів, можливі взаємозв'язки джерел електроенергії через електричні мережі, може бути розглянута така модель.

Електростанції, що працюють автономно, повинні забезпечити задані значення базисної потужності  $S_b$ , пікової потужності  $S_p$  та річного вироблення електроенергії  $E_{\text{рік}}$ . При цьому витрати на капітальне будівництво не повинні перевищити фіксованої суми  $C$ .

Нехай є можливість постачання любого з  $J$  типів електростанцій. Прийmemo в якості керованих змінних  $x_j$  число станцій  $j$ -го типу ( $j=1, 2, \dots, J$ ). Введемо такі позначення:

- $S_{\delta j}$  – базисна потужність, забезпечувана однією електростанцією  $j$ -го типу;
- $S_{п j}$  – пікова потужність, забезпечувана однією електростанцією  $j$ -го типу;
- $E_{рік j}$  – річне вироблення електроенергії однією електростанцією  $j$ -го типу;
- $C_j$  – вартість однієї електростанції  $j$ -го типу;
- $C_{e j}$  – річні експлуатаційні витрати на одну електростанцію  $j$ -го типу.

Завдання полягає у виборі оптимального числа станцій розглянутих типів, що забезпечують енергетичні ( $S_e$ ,  $S_p$ ,  $E_{рік}$ ) та фінансові ( $C$ ) вимоги та що зводять до мінімуму річні експлуатаційні витрати по всім станціям створюваної системи. Ця операція може бути подана у вигляді математичної моделі в такий спосіб:

$$\begin{cases} \sum_j C_{\delta j} \cdot x_j \rightarrow \min ; \\ \sum_j C_{\delta j} \cdot x_j \geq C_{\delta} ; \\ \sum_j C_{п j} \cdot x_j \geq C_{п} ; \\ \sum_j E_{рік j} \cdot x_j \geq E_{рік} ; \\ \sum_j C_j \cdot x_j \leq C ; \\ x_j \geq 0 \text{ та цілі.} \end{cases} \quad (4)$$

Незважаючи на серйозні спрощення, дана модель може виявитися дійсно корисною, тому що вона охоплює досліджуваний процес у цілому, без зайвої деталізації та навіть спрощена картина проведення операції може показати, які додаткові чинники варто врахувати при розвитку моделі.

Для розв'язання даної задачі можуть бути використані [5, 7] методи лінійного програмування, квадратичного програмування, нелінійного програмування, динамічного програмування тощо.

#### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ВОЕННЫХ АЭРОДРОМОВ

Г.И. Лагутин, В.Н. Лысенко

*В статье рассмотрены исходные данные для построения математической модели задачи определения оптимального количества источников электрической энергии для потребителей военных аэродромов. Проанализированы факторы, которые влияют на вид математической модели оптимизационной задачи. Предложен вариант упрощенной математической модели, что позволяет решать рассмотренную задачу методами дискретного линейного и динамического программирования.*

**Ключевые слова:** военный аэродром, система электроснабжения, оптимальное количество источников электроэнергии, исследования операции, математическая модель.

#### MATHEMATICAL MODEL OF TASK OF DETERMINING THE OPTIMUM AMOUNT OF ELECTRIC ENERGY SOURCES FOR USERS OF THE SOLDIERY AIR FIELDS

G.I. Lagutin, V.N. Lysenko

*In the articles basic data are considered for the construction of mathematical model of task of determining the optimum amount of electric energy sources for the users of the soldiery air fields. Factors which influence to the mathematical model of optimization task are analysed. The variant of the simplified mathematical model is offered, that allows to decide the considered task the methods of the discrete linear and dynamic programming.*

**Keywords:** military air field, system of электроснабжения, optimum amount of sources of electric power, researches of operation, mathematical model.

#### ВИСНОВКИ

При розробці систем електропостачання стаціонарних військових аеродромів необхідно визначити кількість джерел електроенергії та потужність кожного з них. Ця задача належить до числа оптимізаційних задач дослідження операцій.

В статті на підставі аналізу факторів, що впливають на вид цільової функції, системи обмежень та граничних умов пропонується спрощена математична модель задачі визначення оптимальної кількості джерел електричної енергії для споживачів військових аеродромів, яка дозволяє розв'язувати розглянуту задачу методами дискретного лінійного та динамічного програмування.

#### Список літератури

1. Гермейер Ю.Б. *Методологические и математические основы исследования операций и теории игр* / . – М.: Гермейер Изд. МГУ. ВЦ АН СССР, 1967. – 334 с.
2. Кофман А. *Методы и модели исследования операций* / А. Кофман. Пер. с франц. Под ред. (и с предисл.) Д.Б. Юдина. – М.: Мир, 1966. – 298 с.
3. Саати Т. *Математические методы исследования операций* / Т. Саати. Пер. с англ. Ю.М. Певниченко и др. Под ред. А.П. Гришина. – М.: Воениздат, 1963. – 174 с.
4. Чуев Ю.В. *Исследование операций в военном деле* / Ю.В. Чуев. – М.: Воениздат, 1970. – 256 с.
5. Понтрягин Л.С. *Математическая теория оптимальных процессов* / Л.С. Понтрягин и др. – М.: Физматгиз, 1961. – 328 с.
6. *Оптимизация структур больших систем* / В.И. Борц, В.А. Донец, В.В. Коваль, А.Я. Лейбзон, И.П. Лесовой. – К.: Наукова думка, 2000. – 188 с.
7. Протасов И.Д. *Теория игр и исследование операций* / И.П. Протасов. – М.: Гелиос АРВ, 2003. – 368 с.

Надійшла до редколегії 5.07.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Б.Т. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.