

УДК 519.87:316.458.6

Ю.І. Шевяков

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## МЕТОД РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ПЛАНУВАННЯ РОБОТИ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ МЕТРОЛОГІЧНИХ ГРУП В УМОВАХ ДОСТАТНЬОЇ КІЛЬКОСТІ ФІНАНСОВИХ І ЧАСОВИХ РЕСУРСІВ

В статті запропонований метод розв'язання задачі визначення оптимального плану розподілу спеціалізованих виїзних метрологічних груп й відповідних маршрутів їх руху за критерієм мінімуму загального часу на метрологічне обслуговування в умовах достатньої кількості фінансових і часових ресурсів та згідно розподілу номерів обслуги за типами вимірювань

**Ключові слова:** озброєння та військова техніка, метрологічне обслуговування, оптимальний план розподілу виїзних метрологічних груп, оптимальні маршрути руху.

### Вступ

**Постановка задачі.** Задача планування розподілу виїзних метрологічних груп (ВМГ) виникає при проведенні спеціалізованого метрологічного обслуговування зразків озброєння та військової техніки ЗСУ [1, 2]. При цьому зменшення витрат загального часу при плануванні метрологічного обслуговування з урахуванням як часу на безпосереднє метрологічне обслуговування засобів вимірювальної техніки (ЗВТВП), так і витрат часу на пересування пересувних лабораторій вимірювальної техніки (ПЛВТ). Актуальність задачі, яка розглядається, підкреслюється тим, що існуючі методи планування у повній мірі не дозволяють здійснити своєчасне метрологічне обслуговування всіх зразків озброєння і військової техніки й тим самим підтримувати їх в боєздатному стані, оптимізуючи загальний час метрологічного обслуговування у місцях дислокації військових частин (підрозділів). Все це приводить до дублювання роботи ВМГ та підвищення витрат моторесурсу ПЛВТ, паливно-мастильних матеріалів й витрат на відрядження обслуги ВМГ.

**Аналіз літератури.** Питання застосування ПЛВТ у складі ВМГ викладені в [3, 4]. Математична модель та задачі визначення оптимального плану розподілу й оптимальних маршрутів руху ВМГ за критерієм мінімуму загального часу метрологічного обслуговування запропонована в статті [5]. Методи визначення оптимального плану розподілу й оптимальних маршрутів руху ВМГ за критерієм мінімуму загального часу метрологічного обслуговування, запропоновані в статтях [6, 7]. Разом з тим, в цих роботах не враховані такі чинники:

- цільова функція в запропонованих моделях і методах [5 – 7] містить тільки витрати на метрологічне обслуговування військових частин усіма ВМГ, але не містить витрати часу на їх пересування;

- критерій ефективності в запропонованих моделях [5 – 7] можна розуміти таким чином, що військово-

ва частина, яка відповідає вузлу дислокації 1, буде обслуговуватись двічі. Крім того, при розв'язанні задачі, що розглядається, необхідно врахувати те, що:

- для оцінки вартості коштів на метрологічне обслуговування замість вартості метрологічного обслуговування одиниці ЗВТВП кожного типу слід використовувати вартість погодинного метрологічного обслуговування одиниці ЗВТВП [5 – 7];

- у запропонованих моделях слід врахувати кількість номерів обслуги ВМГ за видом ЗВТВП, що розглядається.

**Мета статті** – розробка методу задачі оптимального планування розподілу ВМГ й відповідних маршрутів їх руху за критерієм мінімуму загального часу на метрологічне обслуговування ЗВТВП у військових частинах (підрозділах) і на пересування спеціалізованих ВМГ в умовах достатньої кількості фінансових і часових ресурсів згідно розподілу номерів обслуги за типами вимірювань, що розв'язується.

### Основний матеріал

Задача, що розглядається, описується такими співвідношеннями [8]:

$$T_{\text{МОП}} = \max_{1 \leq k \leq K} \left( \frac{1}{b} \sum_{i \in S_k} \sum_{j \in J_{\text{од}}} r_{ij} t_j + \frac{1}{V} l(P_k) \right) \rightarrow \min_{\{S_k\}, \{P_k\}}; \quad (1)$$

$$\bigcup_{k=1}^K S_k = M_1 \subseteq M; \quad k_1 \neq k_2; \quad S_{k_1} \cap S_{k_2} = \emptyset;$$

$$\sum_{k=1}^K \left[ c_0 l(P_k) + \frac{c_1}{b} \sum_{i \in S_k} \sum_{j \in J_{\text{од}}} r_{ij} t_j \right] \leq C$$

$$\frac{1}{b} \sum_{k=1}^K \sum_{i \in S_k} \sum_{j \in J_{\text{од}}} r_{ij} t_j \leq T_0$$

Задача (1) відноситься до класу задач дискретного програмування комбінаторного типу.

Розглянемо, перш за все, випадок, коли виділених сумарних вартісних коштів  $C$  та календарного фонду робочого часу  $T_0$  достатньо для метрологічного обслуговування у повному обсязі ЗВТВП кожної військової частини (підрозділу) відповідно до матриці замовлень  $\|r_{ij}\|_{i \in S_k, j \in J_{од}}$  і для транспортування усіх ВМГ, тобто співвідношення  $\bigcup_{k=1}^K S_k = M_1 \subseteq M$

замінюється на співвідношення  $\bigcup_{k=1}^K S_k = M$ . Звідси обмеження щодо обсягів часу метрологічного обслуговування ЗВТВП військових частин та підрозділів зводиться до рівності:

$$\frac{1}{b} \sum_{k=1}^K \sum_{i \in S_k} \sum_{j \in J_{од}} r_{ij} t_j = T_0.$$

Крім того, нерівність в моделі (1)

$$\sum_{k=1}^K \left[ c_0 l(P_k) + \frac{c_1}{b} \sum_{i \in S_k} \sum_{j \in J_{од}} r_{ij} t_j \right] \leq C \quad (2)$$

спрощується і перетворюється у таку нерівність:

$$c_0 \sum_{k=1}^K l(P_k) \leq C - C_{MO}, \quad (3)$$

де 
$$C_{MO} = \frac{c_1}{b} \sum_{i=1}^I \sum_{j \in J_{од}} r_{ij} t_j.$$

Величина  $C_{MO}$  визначає необхідну сумарну вартість коштів на метрологічне обслуговування ЗВТВП військових частин (підрозділів) у регіоні, а нерівність (3) є обмеженням на сумарну вартість транспортних витрат усіх ВМГ. Для розв'язанні задачі пропонується розглядати її як наступну двоетапну задачу оптимізації. На першому етапі вирішується задача пошуку оптимального розподілу ВМГ за критерієм мінімуму часу метрологічного обслуговування ЗВТВП військових частин (підрозділів), яка описується такими виразами:

$$T_{MOП} = \max_{1 \leq k \leq K} \left( \frac{1}{b} \sum_{i \in S_k} \sum_{j \in J_{од}} r_{ij} t_j \right) \rightarrow \min; \quad (4)$$

$$S_{k_1} \cap S_{k_2} = \emptyset; \quad k_1 \neq k_2; \quad \bigcup_{k=1}^K S_k = M.$$

Такий спосіб подання задачі, що розглядається, дозволяє перетворити її у задачу цілочисельного лінійного програмування. Зіставимо кожному із варіантів  $\{S_k\}$  розподілу ВМГ по військовим частинам (підрозділам) набір значень змінних  $x_{ki}$ , від-

носно яких  $x_{ki} = 1$ , якщо  $k$ -та ВМГ здійснює метрологічне обслуговування ЗВТВП  $i$ -ої військової частини (підрозділу), та  $x_{ki} = 0$ , якщо  $k$ -та ВМГ не здійснює метрологічне обслуговування ЗВТВП  $i$ -ої військової частини (підрозділу). В цьому випадку цільова функція задачі прийме вигляд:

$$\max_{1 \leq k \leq K} \left( \frac{1}{b} \sum_{i \in S_k} \sum_{j \in J_{од}} r_{ij} t_j \right) = \max_{1 \leq k \leq K} \left( \frac{1}{b} \sum_{i=1}^I \sum_{j \in J_{од}} r_{ij} t_j x_{ki} \right),$$

або

$$\max_{1 \leq k \leq K} \left( \frac{1}{b} \sum_{i \in S_k} \sum_{j \in J_{од}} r_{ij} t_j \right) = \max_{1 \leq k \leq K} \left( \sum_{i=1}^I d_i x_{ki} \right),$$

де  $d_i = \frac{1}{b} \sum_{j \in J_{од}} r_{ij} t_j$  - метрологічного обслуговування однорідних ЗВТВП  $i$ -ої військової частини.

З врахуванням того, що у випадку, якій розглядається:

$$\sum_{k=1}^K x_{ki} = 1; \quad i = \overline{1, I}; \quad x_{ki} \in \{0, 1\}; \quad k = \overline{1, K}; \quad i = \overline{1, I}$$

задача (4) приймає вигляд задачі цілочисельного нелінійного програмування:

$$T_{MO} = \max_{1 \leq k \leq K} \left( \sum_{i=1}^I d_i x_{ki} \right) \rightarrow \min; \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{ki} = 1; \quad i = \overline{1, I};$$

$$x_{ki} \in \{0, 1\}; \quad k = \overline{1, K}; \quad i = \overline{1, I},$$

де  $T_{MO}$  визначає час на метрологічне обслуговування однорідних ЗВТВП військових частин (підрозділів) у регіоні усіма ВМГ у відповідності із планом розподілу ВМГ - матрицею призначення  $X = \|x_{ki}\|_{K, I}$ .

Перетворимо її у цілочисельну задачу лінійного програмування із булевими змінними:

$$T_{MO} \rightarrow \min; \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^I d_i x_{ki} \leq T_{MO}; \quad k = \overline{1, K};$$

$$\sum_{k=1}^K x_{ki} = 1; \quad i = \overline{1, I};$$

$$x_{ki} \in \{0, 1\}; \quad k = \overline{1, K}; \quad i = \overline{1, I},$$

Проведене перетворення дозволяє вирішувати задачу (6) стандартними процедурами цілочисельного лінійного програмування.

Рішення задачі (6) дозволяє встановити:

$$X^* = \left\| x_{ki}^* \right\|_{K,1} - \text{оптимальний розподіл ВМГ}$$

(оптимальну матрицю призначень) щодо метрологічного обслуговування ЗВТВП військових частин (підрозділів) у регіоні за критерієм мінімального часу обслуговування;

$T_{MO}^*$  – мінімальний час метрологічного обслуговування ЗВТВП військових частин (підрозділів) у регіоні за розрахунковий період;

$S_k^* = [j_{1k}^*, j_{2k}^*, \dots, j_{n_k k}^*]$  - множини військових частин (підрозділів), що обслуговуються к-ою ВМГ, яка відповідає наступним значенням оптимальної матриці призначення  $X^*$  :

$$x_{k1k}^* = x_{k2k}^* = \dots = x_{kn_k k}^* = 1.$$

При цьому вважаємо, що усі ВМГ дислокуються у пункті 1, тобто виїжджають з цього місця і повертаються у це місце після метрологічного обслуговування ЗВТВП.

На другому етапі розв'язується задача визначення маршруту руху для кожної ВМГ стосовно визначеної у задачі (6) множини  $S_k^*$  :

$$l(P_k) = l_{1,i_1} + l_{i_1,i_2} + \dots + l_{i_{n_k},1} \rightarrow \min; \quad (7)$$

$$P_k \in L(S_k^*); \quad k = \overline{1, K},$$

де  $P_k = [1, i_{1k}, i_{2k}, \dots, i_{n_k k}, 1]$  - замкнений маршрут метрологічного обслуговування ЗВТВП військових (підрозділів) у регіоні для к-ої ВМГ, котрий починається та закінчується у вузлі 1 й проходить через усі вузли множини  $S_k^*$  тільки один раз;

$L(S_k^*)$  - множина усіх можливих замкнених маршрутів метрологічного обслуговування ЗВТВП військових (підрозділів) у регіоні для к-ої ВМГ, котрі починаються та закінчуються у вузлі 1 й проходить через усі вузли множини  $S_k^*$  тільки один раз.

Задача (7) має назву задачі комівояжера і вирішується за методом гілок та границь.

В результаті її вирішення отримаємо:

$P_k^* = [1, i_{1k}^*, i_{2k}^*, \dots, i_{n_k k}^*, 1]$  - оптимальний за часом (й відповідно за вартістю) замкнений маршрут метрологічного обслуговування та пересування к-ої ВМГ;

$l(P_k^*)$  - мінімальна довжина пересування к-ої ВМГ за маршрутом  $P_k^*$ .

Таким чином, вирішення задачі (1) дозволить визначити:

$$S_k^* = [j_{1k}^*, j_{2k}^*, \dots, j_{n_k k}^*]; \quad k = \overline{1, K} - \text{оптимальну}$$

підмножину військових частин (підрозділів) у регіоні, які підлягають метрологічному обслуговуванню к-ою ВМГ;

$P_k^* = [1, i_{1k}^*, i_{2k}^*, \dots, i_{n_k k}^*, 1]; \quad k = \overline{1, K} - \text{оптимальний замкнений маршрут руху ВМГ при проведенні метрологічного обслуговування однорідних ЗВТВП військових (підрозділів) у регіоні для к-ої ВМГ};$

$T_k^* = \sum_{i=1}^I d_i x_{ki}^* + \frac{1}{V} l(P_k^*); \quad k = \overline{1, K} - \text{час на метрологічне обслуговування однорідних ЗВТВП військових частин (підрозділів) к-ою ВМГ і на її пересування};$

$T_{MOП}^* = \max_{1 \leq k \leq K} \left( T_k^* + \frac{1}{V} l(P_k^*) \right); \quad k = \overline{1, K} - \text{мінімальний час на метрологічне обслуговування ЗВТВП даного виду для військових частин (підрозділів) усіма ВМГ та їх пересування у регіоні.}$

$$T_{MO}^* = \max_{1 \leq k \leq K} \sum_{i=1}^I d_i x_{ki}^* - \text{мінімальний час на метрологічне обслуговування однорідних ЗВТВП військових частин (підрозділів) у регіоні усіма виїзними метрологічними групами};$$

$t_k^* = \frac{1}{V} l(P_k^*); \quad k = \overline{1, K} - \text{час пересування к-ої ВМГ за оптимальним маршрутом } P_k^*;$

$T_k^{заг} = T_k^* + (t_{розг} + t_{згор} + t_{сер}) \cdot |S_k^*|; \quad k = \overline{1, K} - \text{загальний час метрологічного обслуговування військових частин (підрозділів) у регіоні к-ою ВМГ, де } t_{розг}, t_{згор} - \text{час розгортання та згортання ПЛВТ};$

$t_{сер} - \text{середні витрати часу на організацію робіт};$

$|S_k^*| - \text{кількість військових частин (підрозділів), які обслуговуються к-ою ВМГ};$

$T_{\Sigma}^{заг} = \sum_{k=1}^K T_k^{заг} - \text{загальні витрати робочого часу};$

$T_{заг}^* = \max_{1 \leq k \leq K} T_k^{заг} - \text{мінімальний загальний час метрологічного обслуговування військових частин (підрозділів) у регіоні};$

$C_k^* = c_0 l(P_k^*) + c_1 \sum_{i=1}^I d_i x_{ki}^*; \quad k = \overline{1, K} - \text{загальні сумарні вартісні витрати на метрологічне обслуговування ЗВТВП даного виду к-ою ВМГ і на її пересування};$

$$C_{\text{заг}}^* = \sum_{k=1}^K C_k^* - \text{загальні вартісні витрати на метеорологічне обслуговування ЗВТВП даного виду і пересування усіх ВМГ.}$$

трологічне обслуговування ЗВТВП даного виду і пересування усіх ВМГ.

**Зауваження.** Відмічається, що точка мінімуму цільової функції задачі (6) може бути не єдиною, тобто може існувати інша матриця призначень  $X^{**} = \left\| x_{ki}^{**} \right\|_{K,I}$ , на якій також досягається мінімум цільової функції  $T_{\text{МО}}^*$ . Відтоді для цього рішення взагалі можуть бути визначені інші оптимальні маршрути  $P_k^{**}$ ;  $k = \overline{1, K}$  задачі (7) такі, що у загальному випадку може статися, що

$$T_{\text{МОП}}^{**} = \max_{1 \leq k \leq K} \left\{ T_k^{**} + \frac{1}{V} l(P_k^{**}) \right\} < \\ < T_{\text{МОП}}^* = \max_{1 \leq k \leq K} \left\{ T_k^* + \frac{1}{V} l(P_k^*) \right\}.$$

Таким чином, рішення  $X^*$ ,  $T_3^*$ ,  $C_3^*$  є взагалі квазіоптимальне, що не є суттєвим, так як транспортні часові витрати істотно менш часових витрат щодо метеорологічного обслуговування ЗВТВП військових частин (підрозділів) у регіоні.

## Висновки

1. В статті запропонований метод розв'язання задачі визначення оптимального плану розподілу спеціалізованих виїзних метеорологічних груп й відповідних маршрутів руху в умовах проведення метеорологічного обслуговування однорідних ЗВТВП за критерієм мінімуму загального часу на метеорологічне обслуговування ЗВТВП і на пересування ВМГ без урахування обмежень на фінансові та часові ресурси згідно розподілу номерів обслуги за видами вимірювань.

## МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ГРУПП В УСЛОВИЯХ ДОСТАТОЧНОГО КОЛИЧЕСТВА ФИНАНСОВЫХ И ВРЕМЕННЫХ РЕСУРСОВ

Ю.И. Шевяков

*В статье предложен метод решения задачи определения оптимального плана распределения специализированных выездных метеорологических групп и соответствующих маршрутов их движения по критерию минимума общего времени для метеорологического обслуживания в условиях достаточного количества финансовых и временных ресурсов с учетом распределения номеров расчета за типами измерений.*

**Ключевые слова:** вооружение и военная техника, метеорологическое обслуживание, оптимальный план распределения выездных метеорологических групп, оптимальные маршруты передвижения.

## METHOD OF SOLVING THE PROBLEM OF PLANNING WORK GROUP SPECIALIZED IN THE METEOROLOGICAL ENOUGH FINANCIAL AND TIME RESOURCES

Yu.I. Sheviakov

*This paper proposes a method of solving the problem of determining the optimal plan for the distribution of specialized meteorology visiting groups and relevant routes of their movement by the criterion of minimum total time for meteorological services in the conditions of sufficient financial and time resources, taking into account the calculation of the distribution numbers for the types of measurements.*

**Keywords:** armament and military equipment, meteorological services, the optimal distribution plan visiting meteorological groups, the best routes of movement.

2. Запропонований метод дозволяє здійснювати планування робіт спеціалізованих ВМГ метеорологічних частин ЗСУ за мінімально можливий час обслуговування.

## Список літератури

1. Наказ заступника Міністра оборони з озброєння – начальника Озброєння ЗС України “Про затвердження Керівництва з організації та порядку експлуатації виміральної техніки у ЗС України” від 1.06.2001 № 79.
2. Наказ начальника Центрального управління метеорології і стандартизації “Про затвердження Керівництва з організації виробничої діяльності військових метеорологічних лабораторій в Міністерстві оборони України та Збройних Силах України” від 14.05.2007 № 2.
3. Кузнецов І.Б. Організація метеорологічного забезпечення військ (сил). Ч. 1 : навч. посіб. / І.Б. Кузнецов, П.М. Яблонський. – К. : НУОУ, 2009. – 356 с.
4. Кузнецов І.Б. Організація застосування пересувних засобів метеорологічного обслуговування : навчальн. посіб. / І.Б. Кузнецов, О.В. Ярошенко. – К. : НУОУ ім. Івана Черняхівського, 2013. – 360 с.
5. Кононов В.Б. Математична модель задачі визначення оптимального плану розподілу й оптимальних маршрутів руху виїзної метеорологічної групи за критерієм мінімуму загального часу метеорологічного обслуговування / В.Б. Кононов, Ю.І. Шевяков, Д.А. Філістєєв // Системи обробки інформації. Вип. № 3(19). – Х.: ХУПС, 2014 – С. 111-113.
6. Метод визначення оптимального плану розподілу й відповідних оптимальних маршрутів руху виїзних метеорологічних груп при метеорологічному обслуговуванні військових частин та підрозділів / В.Б. Кононов, Ю.І. Шевяков, Д.А. Філістєєв, В.В. Бурцева // Системи обробки інформації. Вип. № 4(40). – Х.: ХУПС, 2014 – С. 35-41.
7. Метод визначення оптимального плану розподілу й відповідних оптимальних маршрутів руху виїзних метеорологічних груп в умовах обмеження витрат на метеорологічне обслуговування / В.Б. Кононов, Ю.І. Шевяков, Д.А. Філістєєв, В.В. Бурцева // Наука і техніка Повітряних Сил ЗСУ. – 2014. – № 4 (17). – С. 104-111.

Надійшла до редколегії 16.02.2015

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