

УДК 519.87:316.458.6

Ю.І. Шевяков

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## МЕТОД ПЛАНУВАННЯ РОБОТИ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ВІЌЗНИХ МЕТРОЛОГІЧНИХ ГРУП В УМОВАХ НЕДОСТАТНЬОЇ КІЛЬКОСТІ ФІНАНСОВИХ І ЧАСОВИХ РЕСУРСІВ

В статті запропонований метод визначення оптимального плану розподілу спеціалізованих віїзних метрологічних груп й відповідних маршрутів їх руху за критерієм мінімуму загального часу на метрологічне обслуговування в умовах недостатньої кількості фінансових і (або) часових ресурсів та згідно розподілу номерів обслуги за видом вимірювань.

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

### Вступ

**Постановка задачі.** При проведенні спеціалізованого метрологічного обслуговування зразків озброєння та військової техніки ЗСУ виникає задача планування розподілу віїзних метрологічних груп (ВМГ) [1, 2]. При цьому важливою задачею є зменшення витрат загального часу 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). Існуючі методи планування у повній мірі не враховують оптимізацію загального часу метрологічного обслуговування у місцях дислокації військових частин (підрозділів), обмеження на фінансові та (або) часові ресурси. Все це приводить до дублювання у роботі ВМГ, підвищення витрат моторесурсу ПЛВТ, паливно-мастильних матеріалів й витрат на відрядження обслуги ВМГ. Тому визначення оптимального плану розподілу ВМГ і відповідних оптимальних маршрутів їх пересування до місць дислокації військових частин та підрозділів в умовах недостатньої кількості фінансових та (або) часових ресурсів є актуальним науково-технічним завданням.

**Аналіз літератури.** У роботах [3, 4] викладені питання застосування ПЛВТ у складі ВМГ. В статті [5] запропонована математична модель та задачі визначення оптимального плану розподілу й оптимальних маршрутів та метод руху ВМГ за критерієм мінімуму загального часу метрологічного обслуговування. В статтях [6, 7] запропоновані методи визначення оптимального плану розподілу й оптимальних маршрутів руху ВМГ за критерієм мінімуму загального часу метрологічного обслуговування. Узагальнена модель визначення оптимального плану розподілу й маршрутів руху віїзних метрологічних груп обґрунтована у роботі [8].

Запропоновані моделі й методи задач планування метрологічного обслуговування вимагають удосконалення, оскільки:

– 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 військова частина, яка відповідає вузлу дислокації 1, буде обслуговуватись двічі;

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

Частково ця задача вирішена в [9], де запропонована математична модель планування роботи для спеціалізованих ВМГ, але відсутній відповідний метод розв'язання задач планування їх роботи. Запропонований в [9] метод вирішення задачі можна використовувати лише в умовах достатньої кількості фінансових та часових ресурсів.

**Метою статті** є розробка методу оптимального планування розподілу спеціалізованих ВМГ й відповідних маршрутів їх руху за критерієм мінімуму загального часу на метрологічне обслуговування ЗВТВП у військових частинах (підрозділах) і на пересування ВМГ в умовах недостатньої кількості фінансових і (або) часових ресурсів згідно розподілу номерів обслуги за видом вимірювань.

### Основний матеріал

Розглянемо задачу оптимального планування розподілу спеціалізованих ВМГ й відповідних маршрутів їх руху [9]:

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

$$S_{k_1} \cap S_{k_2} = \emptyset; k_1 \neq k_2 ;$$

$$\bigcup_{k=1}^K S_k = M; \quad \sum_{k=1}^K \left[ c_0 l(P_k) + \sum_{i \in S_k} \sum_{j \in J_{од}} r_{ij} c_j \right] \leq C; \quad (1)$$

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

для ситуації, коли коштів на проведення метрологічного обслуговування ЗВТВП та (або) календарного фонду робочого часу виконання робіт не достатньо, тобто співвідношення  $\bigcup_{k=1}^K S_k = M$  слід замінити на

$$\text{співвідношення } \bigcup_{k=1}^K S_k = M_1 \subset M:$$

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

$$S_{k_1} \cap S_{k_2} = \emptyset; \quad k_1 \neq k_2; \quad \bigcup_{k=1}^K S_k = M_1 \subset M; \quad (2)$$

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

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

Тому обмеження

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

та (або)

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

можуть не виконуватись для метрологічного обслуговування усіх військових частин (підрозділів). Остання нерівність може мати місце, наприклад, у випадку недостатньої кількості ВМГ.

У цих випадках можливі такі варіанти.

Варіант 1. Не виконується обмеження за вартістю:

$$\sum_{k=1}^K \left[ c_0 l(P_k) + \sum_{i \in S_k} \sum_{j \in J_{од}} r_{ij} c_j \right] > C; \quad \bigcup_{k=1}^K S_k = M.$$

Варіант 2. Не виконується обмеження щодо календарного фонду робіт:

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

Варіант 3. Не виконуються вартісні та часові обмеження:

$$\sum_{k=1}^K \left[ c_0 l(P_k) + \sum_{i \in S_k} \sum_{j \in J_{од}} r_{ij} c_j \right] > C; \quad \bigcup_{k=1}^K S_k = M.$$

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

Розв'язання задачі (2) будемо шукати як вирішення наступної трьохетапної задачі.

**На першому етапі** пропонується вирішувати задачу пошуку максимальної кількості військових частин (підрозділів), метрологічне забезпечення ЗВТВП яких необхідно провести у повному обсязі у відповідності із замовленням, враховуючи обмеження на сумарну вартість метрологічного забезпечення ЗВТВП та календарний фонд робочого часу за наступною математичною моделлю:

$$|M_1| \rightarrow \max; \quad \{S_k\}$$

$$S_{k_1} \cap S_{k_2} = \emptyset; \quad k_1 \neq k_2; \quad \bigcup_{k=1}^K S_k = M_1 \subset M; \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^K \left[ \sum_{i \in S_k} \sum_{j \in J_{од}} r_{ij} c_j \right] \leq C; \quad \frac{1}{b} \sum_{k=1}^K \sum_{i \in S_k} \sum_{j \in J_{од}} r_{ij} t_j \leq T_0,$$

де  $|M_1|$  – кількість військових частин (підрозділів) в регіоні, де здійснюється метрологічне обслуговування ЗВТВП.

**На другому етапі** вирішується задача оптимального розподілу ВМГ за критерієм мінімуму часу метрологічного обслуговування ЗВТВП військових частин (підрозділів) щодо визначеної на першому етапі множини  $M_1^*$  військових частин (підрозділів). Ця задача описується такою математичною моделлю:

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

$$S_{k_1} \cap S_{k_2} = \emptyset; \quad k_1 \neq k_2; \quad \bigcup_{k=1}^K S_k = M_1^*. \quad (4)$$

Необхідність рішення цієї задачі полягає у тому, що визначений на першому етапі розподіл ВМГ не є оптимальним за критерієм мінімуму часу метрологічного обслуговування ЗВТВП військових частин (підрозділів).

**На третьому етапі** для кожної  $k$ -ї ВМГ, щодо визначеної при розв'язанні задачі (3) множини вузлів дислокації військових частин (підрозділів)  $S_k^*$ , вирішуються задача пошуку найкоротшого за часом замкненого маршруту  $P_k^*$ , котрий починається та закінчується в вузлі 1 й проходить скрізь усі вузли дислокації військових частин (підрозділів) тільки один раз:

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

$$P_k \in L(S_k^*); \quad k = \overline{1, K}, \quad (5)$$

де  $L(S_k^*); \quad k = \overline{1, K}$  – множина усіх можливих замкнених маршрутів метрологічного обслуговування ЗВТВП військових (підрозділів) у регіоні для  $k$ -ої ВМГ, які починаються та закінчуються у вузлі 1 й проходить через усі вузли множини  $S_k^*$  тільки один раз.

Для розв'язання задачі (3) перетворимо її у задачу лінійного цілочисельного програмування наступним чином. Введемо набір змінних  $y_{ki}$ , де  $y_{ki} = 1$ , якщо  $k$ -та ВМГ призначається здійснювати метрологічне обслуговування ЗВТВП  $i$ -ї військової частини (підрозділу) у регіоні, і  $y_{ki} = 0$ , якщо  $k$ -та ВМГ не призначається здійснювати метрологічне обслуговування ЗВТВП  $i$ -ї військової частини (підрозділу) у регіоні.

Це дає змогу вважати, що сумарна кількість військових частин (підрозділів), що підлягають метрологічному обслуговуванню ЗВТВП дорівнює

$$|M_1| = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I y_{ki};$$

обмеження на сумарні витрати приймає вигляд:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I w_i y_{ki} \leq C, \text{ де } w_i = \sum_{j \in J_{\text{од}}} r_{ij} c_j;$$

часове обмеження перетворюється на

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I d_i y_{ki} \leq T_0, \text{ де } d_i = \frac{1}{b} \sum_{j \in J_{\text{од}}} r_{ij} t_j, \text{ причому}$$

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

Таким чином, математична модель (3) приймає такий вигляд:

$$|M_1| = \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K y_{ki} \rightarrow \max; \quad \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I w_i y_{ki} \leq C; \quad \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I d_i y_{ki} \leq T_0; \quad (6)$$

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

Рішення задачі дозволяє визначити

$$M_1^* = \{i_1^*, i_2^*, \dots, i_{n_0}^*\} - \text{максимальну множину}$$

вузлів дислокації військових частин (підрозділів), що підлягають метрологічному обслуговуванню ЗВТВП у відповідності із вартісними та часовими обмеженнями. Для розв'язання задачі другого етапу (4) перетворимо її в задачу цілочисельного лінійного програмування:

$$T_{\text{МО}} \rightarrow \min; \quad \sum_{i \in M_1^*} d_i x_{ki} \leq T_{\text{МО}}; \quad k = \overline{1, K}; \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{ki} = 1; \quad i \in M_1^*; \quad x_{ki} \in \{0, 1\}; \quad k = \overline{1, K}; \quad i \in M_1^*.$$

У результаті вирішення задачі (7) отримаємо:

$$X^* = \|x_{ki}^*\|_{K, |M_1^*|} - \text{оптимальний розподіл ВМГ}$$

(оптимальну матрицю призначень) щодо метрологічного обслуговування ЗВТВП військових частин

(підрозділів) у регіоні за критерієм мінімального часу обслуговування;

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

$$S_k^* = [j_{1k}^*, j_{2k}^*, \dots, j_{n_k k}^*] - \text{множину військових}$$

частин (підрозділів), що обслуговуються  $k$ -ю ВМГ і яка відповідає наступним значенням оптимальної матриці призначення

$$X^* : x_{k j_{1k}^*}^* = x_{k j_{2k}^*}^* = \dots = x_{k j_{n_k k}^*}^* = 1.$$

На третьому етапі розв'язується задача комівояжера (5) для  $k$ -ї ВМГ й відповідної множини  $S_k^*$  за методом гілок та границь:

$$l(P_k) = l_{1,1} + l_{1,2} + \dots + l_{n_k,1} \rightarrow \min; \quad L(S_k^*)$$

$$P_k \in L(S_k^*); \quad k = \overline{1, K}. \quad (8)$$

Рішення задачі (8) дає змогу визначити:

$$P_k^* = [1, i_{1k}^*, i_{2k}^*, \dots, i_{n_k k}^*, 1] - \text{оптимальний за}$$

часом (й відповідно за вартістю) замкнений маршрут метрологічного обслуговування та пересування  $k$ -ї ВМГ;  $l(P_k^*)$  – мінімальну довжину пересування

$k$ -ї ВМГ за маршрутом  $P_k^*$ . Таким чином, вирішення трьохетапної задачі (6) – (8) дозволяє знайти оптимальне рішення задачі (2) для підмножини військових частин (підрозділів)  $M_1^* \subset M$ .

Зауваження. Не виключено, що за результатом вирішення задачі (6) – (8) можна отримати випадок, коли витрати на метрологічне обслуговування ЗВТВП військових частин (підрозділів) у регіоні не більше виділених коштів:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I w_i x_{ki}^* \leq C,$$

а загальні вартісні витрати на метрологічне обслуговування ЗВТВП військових частин (підрозділів) у регіоні та пересування ВМГ до місць їх дислокації перевищують виділені кошти, тобто

$$C_{\text{заг}}^* = \sum_{k=1}^K \left[ c_0 l(P_k^*) + \sum_{i=1}^I w_i x_{ki}^* \right] > C.$$

У цьому випадку, перш за все, пропонується прорахувати отримане перебільшення коштів:

$\Delta_1 = C_{\text{заг}}^* - C$ , та здійснити вирішення трьохетапної задачі (6) – (8), де замість обмеження

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I w_i y_{ki} \leq C,$$

в (6) необхідно розглядати таке обмеження:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I w_i y_{ki} \leq C - \Delta_1.$$

Якщо час на метрологічне обслуговування не більше календарного фонду робочого часу, то

$$T_{MO}^* = \max_{1 \leq k \leq K} \sum_{i=1}^I d_i x_{ki}^* \leq T_0,$$

а загальні витрати часу його перебільшують:

$$T_{заг}^* = \max_{1 \leq k \leq K} (T_k^* + T_k^{заг}) > T_0,$$

У цьому випадку розраховується величина:

$\Delta_2 = T_{заг}^* - T_0$  та здійснюється відповідне вирішення трьохетапної задачі, де обмеження

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

в (6) замінюється на обмеження

$$\frac{1}{b} \sum_{k=1}^K \sum_{i \in S_k} \sum_{j \in J_{од}} r_{ij} t_j \leq T_0 - \Delta_2.$$

Ці дії необхідно виконувати доти, доки не будуть виконуватись нерівності  $C_{заг}^* \leq C$  та  $T_{заг}^* \leq T_0$ .

## Висновки

1. В статті запропонований метод визначення оптимального плану розподілу спеціалізованих ВМГ й відповідних маршрутів руху в умовах проведення метрологічного обслуговування однорідних ЗВТВП за критерієм мінімуму загального часу на метрологічне обслуговування ЗВТВП і на пересування ВМГ з урахуванням обмежень на фінансові та часові ресурси згідно розподілу номерів обслуги за видом вимірювань.

2. Запропонований метод дозволяє здійснювати планування робіт спеціалізованих ВМГ метрологічних 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 вимірювальної техніки у ЗС України” від 1.06.2001 № 79.

2. Наказ начальника Центрального управління метрології і стандартизації “Про затвердження Керівництва з організації виробничої діяльності військових метрологічних лабораторій в Міністерстві оборони України та Збройних Силах України” від 14.05.2007 № 2.

3. Кузнецов І.Б. Організація метрологічного 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 метрологічного обслуговування: навч. 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 метрологічної групи за критерієм мінімуму загального часу метрологічного обслуговування / В.Б. Кононов, Ю.І. Шевяков, Д.А. Філістєєв // Системи озброєння і військова техніка. – 2014. – № 3(19). – С. 111-113.

6. Кононов В.Б. Метод визначення оптимального плану розподілу й відповідних оптимальних маршрутів руху виїзних метрологічних груп при метрологічному обслуговуванні військових частин та підрозділів / В.Б. Кононов, Ю.І. Шевяков, Д.А. Філістєєв, В.В. Бурцева // Системи озброєння і військова техніка. – 2014. – № 4(40). – С. 35-41.

7. Метод визначення оптимального плану розподілу й відповідних оптимальних маршрутів руху виїзних метрологічних груп в умовах обмеження витрат на метрологічне обслуговування / В.Б. Кононов, Ю.І. Шевяков, Д.А. Філістєєв, В.В. Бурцева // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2014. – № 4(17). – С. 104-111.

8. Філістєєв Д.А. Ізначення мінімальної вартості метрологічного обслуговування й транспортних витрат виїзних метрологічних груп / Д.А. Філістєєв // Системи озброєння і військова техніка: науковий журнал. – 2015. – № 1(41). – С. 135-140.

9. Шевяков Ю.І. Математична модель планування роботи спеціалізованих виїзних метрологічних груп / Ю.І. Шевяков // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2015. – № 4(21). – С. 117-120.

Надійшла до редколегії 11.04.2016

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

## МЕТОД ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ГРУПП В УСЛОВИЯХ НЕДОСТАТОЧНОГО КОЛИЧЕСТВА ФИНАНСОВЫХ И ВРЕМЕННЫХ РЕСУРСОВ

Ю.И. Шевяков

В статье предложен метод определения оптимального плана распределения специализированных выездных метрологических групп и соответствующих маршрутов их движения по критерию минимума общего времени для метрологического обслуживания в условиях недостаточного количества финансовых и временных ресурсов с учетом распределения номеров расчета за видами измерений.

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

## METHOD OF PLANNING OF WORK OF THE SPECIALIZED METROLOGY GROUPS IN THE CONDITIONS OF INSUFFICIENT AMOUNT OF FINANCIAL AND TEMPORAL RESOURCES

Yu.I. Shevyakov

In the article the method of determination of optimum plan of distributing of the specialized departure metrology groups and proper routes of their motion is offered on the criterion of a minimum of general time for metrology service in the conditions of insufficient amount of financial and temporal resources taking into account distributing of numbers of calculation after the types of measurements.

**Keywords:** armament and military technique, metrology service, optimum plan of distributing of departure metrology groups, optimum routes of movement.