

УДК 519.87:316.458.6

Ю.І. Шевяков

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## МЕТОД ПЛАНУВАННЯ РОБОТИ УНІВЕРСАЛЬНИХ ВІЇЗНИХ МЕТРОЛОГІЧНИХ ГРУП В УМОВАХ ДОСТАТНЬОЇ КІЛЬКОСТІ ФІНАНСОВИХ І ЧАСОВИХ РЕСУРСІВ

*В статті запропонований метод визначення оптимального плану розподілу універсальних 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 видами вимірювань.*

**Ключові слова** метрологічне обслуговування, оптимальний план розподілу виїзних метрологічних груп, оптимальні маршрути руху.

### Вступ

**Постановка задачі.** Задача планування роботи універсальних виїзних метрологічних груп (ВМГ) виникає при проведенні метрологічного обслуговування радіовимірювальних (РВП), електровимірювальних (ЕВП 1, ЕВП 2), тепломеханічних (ТМП), спеціальних приладів зв'язку та приладів медичного призначення [1, 2]. При цьому, зменшення витрат загального часу метрологічного обслуговування з урахуванням як часу на безпосереднє метрологічне обслуговування різномірних засобів вимірювальної техніки військового призначення (ЗВТВП), так і витрат часу на рух пересувних лабораторій вимірювальної техніки є актуальною науково-технічною задачею, так як існуючі методи планування у повній мірі не здійснюють оптимізацію загального часу метрологічного обслуговування у місцях дислокації військових частин (підрозділів), з урахуванням розподілу обслуги за видами метрологічного обслуговування.

**Аналіз літератури.** У роботах [3, 4] розглянуті питання застосування ПЛІВТ у складі ВМГ. Математична модель 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]. Математична модель планування роботи спеціалізованих виїзних метрологічних груп наведена у роботі [8]. Разом з тим, в цих роботах не запропонований метод вирішення задачі планування роботи універсальних ВМГ в умовах достатньої кількості фінансових та часових ресурсів з урахуванням розподілу номерів обслуги за видами вимірювань.

**Метою статті** є обґрунтування методу планування роботи універсальних ВМГ за критерієм міні-

муму загального часу на метрологічне обслуговування різномірних ЗВТВП у військових частин (підрозділів) та на пересування ВМГ в умовах достатньої кількості фінансових і часових ресурсів згідно розподілу номерів обслуги за видами вимірювань.

### Основний матеріал

Запропонуємо метод вирішення відповідної задачі, наведеної в [9]:

$$T_{\text{МОП}} = \max_{1 \leq k \leq K} \left[ \sum_{i \in S_k} \max_{1 \leq m \leq M_0} \left( \frac{1}{b_m} \sum_{j \in J_m} r_{ij} t_j \right) + \frac{1}{V} l(P_k) \right] \rightarrow \min_{\{S_k\}, \{P_k\}};$$

$$S_{k_1} \cap S_{k_2} = \emptyset; \quad k_1 \neq k_2; \quad m_1 \neq m_2; \quad (1)$$

$$\bigcup_{m=1}^{M_0} J_m = J; \quad J_{m_1} \cap J_{m_2} = \emptyset; \quad \bigcup_{k=1}^K S_k = M_1 \subseteq M;$$

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

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i \in S_k} \max_{1 \leq m \leq M_0} \left( \frac{1}{b_m} \sum_{j \in J_m} r_{ij} t_j \right) \leq T_0.$$

Цільова функція задачі (1) містить дві складові, але друга з них суттєво менш першої (по нашим розрахункам вона не перевершує 5% – 6% загального часу метрологічного обслуговування). Це дає підставу розглядати задачу (1) як наступну задачу двоетапної оптимізації.

На першому етапі пропонується вирішувати задачу оптимізації за критерієм мінімуму часу метрологічного обслуговування без урахування часових витрат на пересування ВМГ:

$$T_{\text{МО}} = \max_{1 \leq k \leq K} \left[ \sum_{i \in S_k} \max_{1 \leq m \leq M_0} \left( \frac{1}{b_m} \sum_{j \in J_m} r_{ij} t_j \right) \right] \rightarrow \min_{\{S_k\}}$$

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

$$\bigcup_{m=1}^{M_0} J_m = J; \quad J_{m_1} \cap J_{m_2} = \emptyset; \quad m_1 \neq m_2,$$

яку перетворюємо у таку задачу нелінійного цілочисельного програмування:

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

$$\sum_{k=1}^K x_{ki} = 1; \quad i = \overline{1, I}; \quad x_{ki} \in \{0, 1\}; \quad k = \overline{1, K}; \quad (3)$$

де 
$$v_i = \max_{1 \leq m \leq M_0} \left( \frac{1}{b_m} \sum_{j \in J_m} r_{ij} t_j \right) - \quad (4)$$

час метрологічного обслуговування ЗТВВП і-ої військової частини (підрозділу) однією ВМГ;

$\{x_{ki}\}; k = \overline{1, K}; i = \overline{1, I}$  – сукупність змінних, відносно яких  $x_{ki} = 1$ , якщо  $k$ -та ВМГ здійснює метрологічне обслуговування  $i$ -ї військової частини (підрозділу), та  $x_{ki} = 0$ , якщо  $k$ -та ВМГ не здійснює метрологічне обслуговування  $i$ -ї військової частини (підрозділу).

Після подальшого перетворення задачі (3) – (4) у цілочисельну задачу лінійного програмування із бульовими змінними, отримаємо:

$$T_{MO} \rightarrow \min_{\{x_{ki}\}};$$

$$\sum_{i=1}^I v_i x_{ki} \leq T_{MO}; \quad \sum_{k=1}^K x_{ki} = 1; \quad (5)$$

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

На другому етапі розв'язується задача комівояжера для кожної ВМГ стосовно визначеної у задачі (5) множини  $S_k^*$ :

$$l(P_k) = l_{1,1} + l_{1,2} + \dots + l_{n_k,1} \rightarrow \min_{L(S_k^*)}; \quad (6)$$

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

де  $P_k = [1, i_{1k}, i_{2k}, \dots, i_{n_k k}, 1]$  – замкнений маршрут метрологічного обслуговування військових (підрозділів) у регіоні для  $k$ -ї 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 військових (підрозділів) у регіоні для  $k$ -ї ВМГ, котрі починаються та закінчуються у вузлі 1 й проходить через усі вузли множини  $S_k^*$  тільки один раз.

Таким чином, рішення двохетапної задачі (5) – (6) дозволяє визначити:

$$S_k^* = [J_{1k}^*, J_{2k}^*, \dots, J_{n_k k}^*]; \quad k = \overline{1, K} - \quad (7)$$

оптимальну підмножину військових частин (підрозділів) у регіоні, які підлягають метрологічному обслуговуванню  $k$ -ю ВМГ;

$$P_k^* = [1, i_{1k}^*, i_{2k}^*, \dots, i_{n_k k}^*, 1]; \quad k = \overline{1, K} - \quad (8)$$

оптимальний замкнений маршрут руху ВМГ при проведенні МО різномірних ЗТВВП у військових частинах (підрозділах) для  $k$ -ї ВМГ;

$$T_k^* = \sum_{i=1}^I v_i x_{ki}^* + \frac{1}{V} l(P_k^*); \quad k = \overline{1, K} - \quad (9)$$

час на метрологічне обслуговування військових частин (підрозділів)  $k$ -ю ВМГ і на її пересування;

$$T_{MO}^* = \max_{1 \leq k \leq K} \left( T_k^* + \frac{1}{V} l(P_k^*) \right) - \quad (10)$$

мінімальний час на метрологічне обслуговування військових частин (підрозділів) усіма ВМГ та їх пересування у регіоні;

$$T_{MO}^* = \max_{1 \leq k \leq K} \sum_{i=1}^I v_i x_{ki}^* - \quad (11)$$

мінімальний час на метрологічне обслуговування військових частин (підрозділів) у регіоні усіма ВМГ;

$$t_k^* = \frac{1}{V} l(P_k^*); \quad k = \overline{1, K} - \quad (12)$$

час пересування  $k$ -ї ВМГ за оптимальним маршрутом  $P_k^*$ ;

$$T_k^{zar} = T_k^* + (t_{розг} + t_{згор} + t_{сер}) \cdot |S_k^*|; \quad k = \overline{1, K} - \quad (13)$$

загальний час метрологічного обслуговування військових частин (підрозділів) у регіоні  $k$ -ю ВМГ, де  $t_{розг}, t_{згор}$  – час розгортання та згортання ПЛВТ;  $t_{сер}$  – середні витрати часу на організацію робіт;  $|S_k^*|$  – кількість військових частин (підрозділів), які обслуговуються  $k$ -ю ВМГ;

$$T_{\Sigma}^{zar} = \sum_{k=1}^K T_k^{zar} - \quad (14)$$

загальні витрати робочого часу;

$$T_{zar}^* = \max_{1 \leq k \leq K} T_k^{zar} - \quad (15)$$

мінімальний загальний час метрологічного обслуговування військових частин (підрозділів) у регіоні;

$$C_k^* = c_0 l(P_k^*) + c_1 \sum_{i=1}^I d_i x_{ki}^*; \quad k = \overline{1, K} - \quad (16)$$

загальні сумарні вартісні витрати на метрологічне обслуговування ЗТВВП  $k$ -ю ВМГ і на її пересування;

$$C_{zar}^* = \sum_{k=1}^K C_k^* - \quad (17)$$

загальні вартісні витрати на метрологічне обслуговування ЗТВВП даного виду і пересування усіх ВМГ.

Для реалізації розглянутого методу пропонується наступна процедура розв'язання задачі (1).

**Крок 1.** Визначення параметрів  $v_i$ :

$$v_i = \max_{1 \leq m \leq M_0} \left( \frac{1}{b_m} \sum_{j \in J_m} r_{ij} t_j \right); \quad i = \overline{1, I}.$$

**Крок 2.** Розв'язання задачі цілочисельного лінійного програмування (5):

$$T_{MO} \rightarrow \min_{\{x_{ki}\}}; \quad x_{ki} \in \{0, 1\}; \\ \sum_{i=1}^I v_i x_{ki} \leq T_{MO}; \quad \sum_{k=1}^K x_{ki} = 1; \quad i = \overline{1, I}; \quad k = \overline{1, K}.$$

**Крок 3.** Формування рішення задачі (5):

$$X^* = \left\| x_{ki}^* \right\|_{K, I}; \quad T_{MO}^*; \\ S_k^* = \left[ j_{1k}^*, j_{2k}^*, \dots, j_{n_k k}^* \right]; \quad k = \overline{1, K}.$$

**Крок 4.** Розв'язання задачі пошуку оптимальних замкнених маршрутів (6) для кожної ВМГ:

$$l(P_k) = l_{1, i_1} + l_{1, i_2} + \dots + l_{n_k, 1} \rightarrow \min_{L(S_k^*)}; \\ P_k \in L(S_k^*); \quad k = \overline{1, K}.$$

**Крок 5.** Формування рішення задачі (6):

$$P_k^* = \left[ 1, i_{1k}^*, i_{2k}^*, \dots, i_{n_k k}^*, 1 \right]; \quad l(P_k^*); \quad k = \overline{1, K}.$$

**Крок 6.** Формування рішення задачі (1) за співвідношеннями (7) – (17).

## ВИСНОВКИ

1. В статті запропонований метод визначення оптимального плану розподілу універсальних ВМГ й відповідних маршрутів руху в умовах проведення метрологічного обслуговування різнорідних ЗВТВП за критерієм мінімуму загального часу на метрологічне обслуговування ЗВТВП і на пересування ВМГ в умовах достатньої кількості фінансових і часових ресурсів та згідно розподілу номерів обслуги за видами вимірювань.

2. Запропонований метод дозволяє здійснювати планування робіт універсальних ВМГ метрологічних частин ЗСУ.

## 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 / І.Б. Кузнецов, О.В. Ярошенко. – К.: НУОУ, 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(39). – 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. Кононов В.Б. 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. 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 11.05.2016

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

## МЕТОД ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ВЫЕЗДНЫХ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ГРУПП В УСЛОВИЯХ ДОСТАТОЧНОГО КОЛИЧЕСТВА ФИНАНСОВЫХ И ВРЕМЕННЫХ РЕСУРСОВ

Ю.И. Шевяков

В статье предложен метод определения оптимального плана распределения универсальных выездных метрологических групп и соответствующих маршрутов их движения по критерию минимума общего времени для метрологического обслуживания в условиях достаточного количества финансовых и временных ресурсов времени и в соответствии с распределением номеров расчета по видам измерений.

**Ключевые слова:** метрологическое обслуживание, оптимальный план распределения выездных метрологических групп, оптимальные маршруты движения.

## METHOD OF PLANNING OF WORK OF UNIVERSAL DEPARTURE METROLOGY GROUPS IN THE CONDITIONS OF ENOUGH BODY OF FINANCIAL AND TEMPORAL RESOURCES

Yu.I. Shevyakov

In the article the method of determination of optimum plan of distributing of universal 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 enough body of financial and temporal resources of time and in accordance with distributing of numbers of calculation on the types of measurings.

**Keywords:** metrology service, optimum plan of distributing of departure metrology groups, optimum routes of motion.