

# Метрологія та вимірювальна техніка

УДК 519.87:316.458.6

Ю.І. Шевяков

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## МЕТОД ПЛАНУВАННЯ РОБОТИ УНІВЕРСАЛЬНИХ ВИЇЗНИХ МЕТРОЛОГІЧНИХ ГРУП В УМОВАХ НЕДОСТАТНЬОЇ КІЛЬКОСТІ ФІНАНСОВИХ І ЧАСОВИХ РЕСУРСІВ

В статті запропонований метод розв'язання задачі планування роботи універсальних виїзних метрологічних груп й відповідних маршрутів їх руху за критерієм мінімуму загального часу метрологічного обслуговування в умовах недостатньої кількості фінансових і часових ресурсів згідно з розподілом номерів обслуговування за видами вимірювань

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

### Вступ

**Постановка задачі.** Задача планування розподілу універсальних виїзних метрологічних груп (ВМГ) виникає при проведенні метрологічного обслуговування зразків озброєння та військової техніки ЗСУ, а саме 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 (ПЛВТ) є важливою науково-технічною задачею, так як існуючі методи планування у повній мірі не дозволяють зменшити витрати загального часу на метрологічне обслуговування у місцях дислокації військових частин (підрозділів) з урахуванням розподілу обслуговування за видами метрологічного обслуговування.

**Аналіз літератури.** Питання застосування ПЛВТ у складі ВМГ викладені в [3, 4]. У статті [5] запропонована математична модель планування роботи спеціалізованих ВМГ, а в [6] – метод визначення оптимальних плану розподілу й маршрутів руху ВМГ. Разом з тим, в цих роботах не запропонований метод вирішення задачі планування роботи універсальних ВМГ за критерієм мінімуму загального часу обслуговування для варіанту недостатньої кількості фінансових і часових ресурсів.

**Метою статті** є обґрунтування методу планування розподілу універсальних ВМГ й відповідних

маршрутів їх руху за критерієм мінімуму загального часу на метрологічне обслуговування різномірних ЗВТВП військових частин (підрозділів) та на пересування ВМГ в умовах недостатньої кількості фінансових і часових ресурсів згідно з розподілом номерів обслуговування за видами вимірювань.

### Виклад основного матеріалу

В [6] для вирішення задачі планування розподілу універсальних ВМГ й відповідних маршрутів їх руху за критерієм мінімуму загального часу на метрологічне обслуговування ЗВТВП у військових частинах (підрозділах) та на їх пересування розглядається наступна математична модель:

$$T_{\text{МОП}} = \max_{1 \leq k \leq K} \left[ \sum_{i \in S_k} \max_{1 \leq m \leq M_0} \left( \frac{1}{b_m} \sum_{j \in J_m} r_{ij} t_j \right) + \frac{1}{V} I(P_k) \right] \rightarrow \min_{\{S_k\}, \{P_k\}};$$
$$S_{k_1} \cap S_{k_2} = \emptyset; k_1 \neq k_2; \bigcup_{k=1}^K S_k = M;$$
$$\bigcup_{m=1}^{M_0} J_m = J; J_{m_1} \cap J_{m_2} = \emptyset; m_1 \neq m_2; \quad (1)$$
$$\sum_{k=1}^K \left[ c_0 I(P_k) + c_1 \sum_{i \in S_k} \max_{1 \leq m \leq M_0} \left( \frac{1}{b_m} \sum_{j \in J_m} r_{ij} t_j \right) \right] \leq C;$$
$$\sum_{k=1}^K \sum_{i \in S_k} \max_{1 \leq m \leq M_0} \left( \frac{1}{b_m} \sum_{j \in J_m} r_{ij} t_j \right) \leq T_0,$$

яка може бути використовувана в умовах достатньої кількості фінансових і часових ресурсів згідно з розподілом номерів обслуговування за видами вимірювань.

Однак можливі варіанти, коли коштів на проведення метрологічного обслуговування ЗТВВП та (або) календарного фонду робочого часу виконання робіт не достатньо, тобто співвідношення  $\bigcup_{k=1}^K S_k = M$  в моделі (1) необхідно замінити на співвідношення

$$\bigcup_{k=1}^K S_k = M_1 \subset M,$$

тобто математична модель (1) приймає вигляд:

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

$$\rightarrow \min_{\{S_k\}, \{P_k\}};$$

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

$$\bigcup_{m=1}^{M_0} J_m = J; J_{m_1} \cap J_{m_2} = \emptyset; m_1 \neq m_2; \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K \left[ c_0 l(P_k) + c_1 \sum_{i \in S_k} \max_{1 \leq m \leq M_0} \left( \frac{1}{b_m} \sum_{j \in J_m} r_{ij} t_j \right) \right] \leq C;$$

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

Розв'язання задачі (2) пропонується виконати таким чином. На першому етапі вирішується задача ошуку максимальної кількості військових частин (підрозділів), які можуть бути обслуговані згідно обмежень на вартісні та часові ресурси:

$$|M_1| \rightarrow \max_{\{S_k\}};$$

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

$$\bigcup_{m=1}^{M_0} J_m = J; J_{m_1} \cap J_{m_2} = \emptyset; m_1 \neq m_2; \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^K \left[ c_1 \sum_{i \in S_k} \max_{1 \leq m \leq M_0} \left( \frac{1}{b_m} \sum_{j \in J_m} r_{ij} t_j \right) \right] \leq C;$$

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

яка перетворюється у наступну задачу лінійного програмування:

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

$$c_1 \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I v_i y_{ki} \leq C;$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I v_i y_{ki} \leq T_0; \quad (4)$$

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

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

за допомогою введення множини змінних

$$\{y_{ki}\}; k = \overline{1, K}; i = \overline{1, I},$$

відносно яких маємо  $y_{ki} = 1$ , якщо  $k$ -та ВМГ здійснює метрологічне обслуговування ЗТВВП  $i$ -ї військової частини (підрозділу), та  $y_{ki} = 0$ , якщо  $k$ -та ВМГ не здійснює метрологічне обслуговування ЗТВВП  $i$ -ї військової частини (підрозділу);

параметри  $v_i; i = \overline{1, I}$  обчислюються за співвідношеннями:

$$v_i = \max_{1 \leq m \leq M_0} \left( \frac{1}{b_m} \sum_{j \in J_m} r_{ij} t_j \right); \quad i = \overline{1, I}. \quad (5)$$

Рішення цієї задачі дозволяє визначити

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

максимальну множину вузлів дислокації військових частин (підрозділів), що плануються для метрологічного обслуговування ЗТВВП у відповідності із вартісними та часовими обмеженнями.

На другому етапі будемо вирішувати задачу оптимального розподілу ВМГ для обслуговування військових частин (підрозділів) за критерієм мінімуму часу метрологічного обслуговування:

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

$$S_{k_1} \cap S_{k_2} = \emptyset; k_1 \neq k_2; \bigcup_{k=1}^K S_k = M_1^*; \quad (6)$$

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

яка шляхом введення множини допоміжних змінних перетворюється у таку:

$$T_{\text{МО}} = \max_{1 \leq k \leq K} \left( \sum_{i \in M_1^*} v_i x_{ki} \right) \rightarrow \min_{\{x_{ki}\}};$$

$$\sum_{k=1}^K x_{ki} = 1; \quad i \in M_1^*; \quad (7)$$

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

де  $\{x_{ki}\}; k = \overline{1, K}; i \in M_1^*$  – множина змінних, відносно яких  $x_{ki} = 1$ , якщо  $k$ -та ВМГ здійснює метрологічне обслуговування ЗТВВП  $i$ -ї військової частини (підрозділу), та  $x_{ki} = 0$ , якщо  $k$ -та ВМГ не здійснює метрологічне обслуговування ЗТВВП  $i$ -ї військової частини (підрозділу).

У подальшому пропонується перетворити задачу (7) у задачу лінійного цілочисельного програмування із бульовими змінними такого вигляду:

$$\begin{aligned} T_{MO} &\rightarrow \min_{\{x_{ki}\}}; \\ \sum_{i \in M_1^*} v_i x_{ki} &\leq T_{MO}; \quad k = \overline{1, K}; \\ \sum_{k=1}^K x_{ki} &= 1; \quad i \in M_1^*; \\ x_{ki} &\in \{0, 1\}; \quad k = \overline{1, K}; \quad i \in M_1^*. \end{aligned} \quad (8)$$

Тим самим значно спрощується розв'язання задачі, що вирішується. Результат рішення задачі (8) дозволяє знайти:

$X^* = \|x_{ki}^*\|_{K, |M_1^*|}$  – оптимальний розподіл ВМГ (оптимальну матрицю призначень) щодо метрологічного обслуговування засобів вимірювальної техніки військового призначення 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;

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

$$x_{k_1 k_1}^* = x_{k_2 k_2}^* = \dots = x_{k_{n_k} k_{n_k}}^* = 1.$$

На третьому етапі розв'язується задача комівояжера для кожної ВМГ стосовно визначеної у задачі (8) множини  $S_k^*$ :

$$\begin{aligned} l(P_k) &= l_{1, i_1 + i_2 + \dots + i_{n_k}, 1} \rightarrow \min_{L(S_k^*)}; \\ P_k &\in L(S_k^*); \quad k = \overline{1, K}, \end{aligned} \quad (9)$$

де  $P_k = [1, i_{1k}, i_{2k}, \dots, i_{n_k k}, 1]$  – замкнений маршрут метрологічного обслуговування засобів вимірювальної техніки військового призначення військових частин (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 засобів вимірювальної техніки військового призначення військових частин (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.

Результат розв'язання задачі (9) дає змогу визначити:

$P_k^* = [1, i_{1k}^*, i_{2k}^*, \dots, i_{n_k k}^*, 1]$  – оптимальний за часом замкнений маршрут метрологічного обслуговування та пересування  $k$ -ї ВМГ;

$l(P_k^*)$  – мінімальну довжину пересування  $k$ -ї ВМГ за маршрутом  $P_k^*$ .

Таким чином, рішення трьохетапної задачі (4), (8) – (9) дозволяє визначити:

$$S_k^* = [J_{1k}^*, J_{2k}^*, \dots, J_{n_k}^*]; \quad k = \overline{1, K} \quad (10)$$

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

$$P_k^* = [1, i_{1k}^*, i_{2k}^*, \dots, i_{n_k k}^*, 1]; \quad k = \overline{1, K} \quad (11)$$

– оптимальний замкнений маршрут руху ВМГ при проведенні метрологічного обслуговування різнорідних ЗВТВП військових частин (підрозділів) у регіоні для  $k$ -ої ВМГ;

$$T_k^* = \sum_{i \in M_1^*} v_i x_{ki}^* + \frac{1}{V} l(P_k^*); \quad k = \overline{1, K} \quad (12)$$

– час метрологічного обслуговування різнорідних засобів вимірювальної техніки військового призначення військових частин (підрозділів)  $k$ -ою ВМГ і на її пересування;

$$T_{MO}^* = \max_{1 \leq k \leq K} \left( T_k^* + \frac{1}{V} l(P_k^*) \right) \quad (13)$$

– мінімальний час метрологічного обслуговування ЗВТВП для військових частин (підрозділів) усіма ВМГ та їх пересування у регіоні;

$$T_{MO}^* = \max_{1 \leq k \leq K} \sum_{i \in M_1^*} v_i x_{ki}^* \quad (14)$$

– мінімальний час метрологічного обслуговування різнорідних ЗВТВП військових частин (підрозділів) у регіоні усіма ВМГ;

$$t_k^* = \frac{1}{V} l(P_k^*); \quad k = \overline{1, K} \quad (15)$$

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

$$T_k^{зар} = T_k^* + (t_{розг}^* + t_{згорг}^* + t_{сер}^*) \cdot |S_k^*|; \quad k = \overline{1, K} \quad (16)$$

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

$$T_{\Sigma}^{зар} = \sum_{k=1}^K T_k^{зар} \quad (17)$$

– загальні витрати робочого часу;

$$T_{\text{зар}}^* = \max_{1 \leq k \leq K} T_k^{\text{зар}} \quad (18)$$

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

$$C_k^* = c_0 l(P_k^*) + c_1 \sum_{i \in M_1^*} d_i x_{ki}^*; \quad k = \overline{1, K} \quad (19)$$

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

$$C_{\text{зар}}^* = \sum_{k=1}^K C_k^* \quad (20)$$

– загальні вартісні витрати на метрологічне обслуговування засобів вимірювальної техніки військового призначення і пересування усіх виїзних метрологічних груп.

## Висновки

1. В статті запропонований метод планування розподілу універсальних виїзних метрологічних груп й відповідних маршрутів руху в умовах проведення метрологічного обслуговування різномірних засобів вимірювальної техніки військового призначення за критерієм мінімуму загального часу метрологічного обслуговування засобів вимірювальної техніки військового призначення і пересування виїзних метрологічних груп в умовах недостатньої кількості фінансових і (або) часових ресурсів та згідно розподілу номерів обслуги за видами вимірювань.

2. Запропонований метод дозволяє здійснювати планування робіт універсальних виїзних метрологічних груп метрологічних частин ЗС України в умовах недостатньої кількості фінансових і (або) часових ресурсів.

## 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., Ярошенко О.В. Організація застосування пересувних засобів метрологічного обслуговування: навч. посібник / І.Б. Кузнецов, О.В. Ярошенко. – К.: НУОУ ім. Івана Черняхівського, 2013. – 360 с.
5. Шевяков Ю.І. Математична модель планування спеціалізованих метрологічних груп / Ю.І. Шевяков // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2015. – № 4 (21). – С. 117-120.
6. Шевяков Ю.І. Метод визначення оптимальних плану розподілу й маршрутів руху різномірних виїзних метрологічних груп / Ю.І. Шевяков // Системи озброєння і військова техніка. – 2015. – № 2(42). – С. 151-157.

Надійшла до редколегії 1.06.2016

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

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

Ю.И. Шевяков

*В статье предложен метод решения задачи планирования работы универсальных выездных метрологических групп и соответствующих маршрутов их движения по критерию минимума общего времени метрологического обслуживания в условиях недостаточного количества финансовых и временных ресурсов в соответствии с распределением номеров персонала по видам измерений.*

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

## METHOD OF PLANNING OF WORK OF UNIVERSAL DEPARTURE METROLOGICAL GROUPS IN THE CONDITIONS OF INSUFFICIENT AMOUNT OF FINANCIAL AND TEMPORAL RESOURCES

Yu.I. Shevyakov

*In the article the method of decision of task of planning of work of universal departure metrological groups and proper routes of their motion is offered on the criterion of a minimum of general time of metrological service in the conditions of insufficient amount of financial and temporal resources in accordance with distributing of numbers of personnel on the types of measurements.*

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