

---

УДК 519.87:316.458.6

В.Б. Кононов<sup>1</sup>, Ю.І. Шевяков<sup>1</sup>, Д.А. Філістєєв<sup>2</sup>, В.В. Бурцева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

<sup>2</sup> Центральне управління метрології і стандартизації Збройних Сил України  
Озброєння Збройних Сил України, Київ

## МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНУ РОЗПОДІЛУ Й ВІДПОВІДНИХ ОПТИМАЛЬНИХ МАРШРУТІВ РУХУ ВІЇЗНИХ МЕТРОЛОГІЧНИХ ГРУП ПРИ МЕТРОЛОГІЧНОМУ ОБСЛУГОВУВАННІ ВІЙСЬКОВИХ ЧАСТИН ТА ПІДРОЗДІЛІВ

*В статті запропоновано метод визначення оптимального плану розподілу й відповідних оптимальних маршрутів руху виїзних метрологічних груп за критерієм мінімуму загального часу метрологічного обслуговування зразків озброєння та військової техніки, описана процедура вирішення поставленої задачі та приведено приклад її розв'язання.*

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

### Вступ

**Постановка задачі.** При проведенні метрологічного обслуговування зразків озброєння та військової техніки військ (сил) військових частин та підрозділів в місцях їх дислокації відповідного регіону силами виїзних метрологічних груп (ВМГ) однією із важливих задач є визначення оптимального плану розподілу ВМГ і відповідних оптимальних маршрутів їх ру-

ху до місць дислокації військових частин та підрозділів. Дуже важливим при вирішенні задачі є зменшення витрат загального часу метрологічного обслуговування з урахуванням відповідних обмежень на сумарну вартість, що використовується, та транспортних витрат й обсяги робіт щодо замовлень на метрологічне обслуговування військових частин та підрозділів.

Визначення оптимального плану розподілу ВМГ і відповідних оптимальних маршрутів їх пере-

сування до місць дислокації військових частин та підрозділів вимагає вирішення важливого науково-технічного завдання розробки спеціального математичного забезпечення для планування управління метрологічного обслуговування засобів вимірювальної техніки військового призначення (ЗВТВП).

**Аналіз літератури.** Питання організації виробничої діяльності військових метрологічних лабораторій в Міністерстві оборони України та Збройних Силах України викладені в [1, 2]. Організація застосування ВМГ у складі пересувних засобів метрологічного обслуговування викладені в [3, 4]. В [1 – 4] надані вимоги керівних документів й теоретичні відомості з метрологічного забезпечення військ (сил). Показники ефективності використання виїзних метрологічних груп (військових метрологічних лабораторій) та методика прогнозування кількості відновлених пошкоджених засобів вимірювальної техніки військового призначення визначені в [5]. Методика визначення раціонального складу виїзної метрологічної групи, її технічної оснащеності, кількості та номенклатури засобів вимірювальної техніки військового призначення, обмінного фонду (запасів) визначені в [6]. Разом з тим в цих працях не вирішуються питання оптимізації метрологічної діяльності. Спроба оптимізації розподілу ВМГ за критерієм мінімуму вартісно-часових витрат, що заснована на використанні моделі лінійного дискретного математичного програмування із булевими змінними, запропонована в [7]. Нажаль, запропонована в [7] модель не враховує вартості обмеження на метрологічне обслуговування ЗВТВП та транспортні витрати, а також не дозволяє визначити відповідні транспортні маршрути руху ВМГ до місць дислокації військових частин та підрозділів відповідного регіону. В статті [8] запропоновано математичну модель визначення оптимального плану й оптимальних маршрутів руху виїзної метрологічної групи метрологічного обслуговування зразків озброєння та військової техніки військ (сил) за критерієм мінімуму загального часу розподілу. Але в цієї статті не надаються відомості щодо методів вирішення вказаних задач. В [9] та [10] надані відомості про методи оптимізації й практичні рекомендації щодо розв'язання оптимізаційних задач в середовищі Excel недостатні для вирішення актуальних завдань метрологічного забезпечення військ (сил).

**Метою статті** є розробка методу розв'язання задачі визначення за критерієм мінімуму загального часу метрологічного обслуговування ЗВТВП оптимального плану розподілу ВМГ і відповідних оптимальних маршрутів їх пересування до місць дислокації військових частин та підрозділів на основі запропонованої в статті [8] математичної моделі:

$$\max_{\{S_k\}} \sum_{i \in S_k} \sum_{j=1}^J r_{ij} t_j \rightarrow \min;$$

$$S_{k_1} \cap S_{k_2} = \emptyset; \quad k_1 \neq k_2; \quad \bigcup_{k=1}^K S_k = M; \\ \sum_{k=1}^K \left[ c_0 I(s_k) + \sum_{i \in S_k} \sum_{j=1}^J r_{ij} c_j \right] \leq C; \quad (1) \\ \sum_{i \in S_k} \sum_{j=1}^J r_{ij} t_j \leq T_k^{\Phi}; \quad k = \overline{1, K},$$

де  $(M, N)$  - транспортна мережа щодо дислокації військових частин та підрозділів;  $M = \{1, 2, \dots, I\}$  - множина вузлів, що відповідають місцям дислокації ВМГ та військових частин (підрозділів), де вузол за номером 1 відповідає місцю дислокації ВМГ;  $N$  - множина дуг транспортної мережі, які пов'язують між собою вузли;  $r_{ij}$ ;  $i = \overline{1, I}$ ;  $j = \overline{1, J}$  - кількість ЗВТВП  $j$ -го типу  $i$  - ої військової частини (підрозділу) у регіоні, що підлягає метрологічному обслуговуванню (якщо ЗВТВП  $j$ -го типу не підлягає метрологічному обслуговуванню, то  $r_{ij} = 0$ );  $t_j$ ;  $j = \overline{1, J}$  - усереднена норма часу на метрологічне обслуговування одного ЗВТВП  $j$ -го типу;  $c_j$ ;  $j = \overline{1, J}$  - усереднена вартість метрологічного обслуговування одиниці ЗВТВП  $j$ -го типу;  $c_0$  - тариф транспортування ВМГ;  $C$  - виділена сумарна вартість метрологічного обслуговування ЗВТВП усіх військових частин (підрозділів);  $K$  - кількість ВМГ у регіоні;  $T_k^{\Phi}$ ;  $k = \overline{1, K}$  - фонд часу щодо метрологічного обслуговування військових частин (підрозділів)  $k$ -ою ВМГ;  $S_k = \{1, i_1^{(k)}, i_2^{(k)}, \dots, i_{n_k}^{(k)}, 1\}$  - впорядкований маршрут метрологічного обслуговування ЗВТВП військових частин (підрозділів) у регіоні для  $k$ -ої ВМГ (впорядкована множина вузлів транспортної мережі  $(M, N)$ , що відповідають місцям дислокації військових частин (підрозділів));  $I(s_k)$ ;  $k = \overline{1, K}$  - довжина (час пересування) за маршрутом  $S_k$  для  $k$ -ої ВМГ;  $\tau_{ih}$ ;  $i = \overline{1, I}$ ;  $h = \overline{1, J}$  - час руху ВМГ із  $i$  - ої військової частини (підрозділу) у регіоні до  $h$  - ої.

## Основний матеріал

Розглянемо, перш за все, випадок, коли кожна військова частина підлягає метрологічному обслуговуванню ЗВТВП у повному обсязі відповідно до матриці замовлень

$$R = \left\| r_{ij} \right\|_{I-1, J}. \quad (2)$$

В цьому випадку обмеження щодо обсягів часу метрологічного обслуговування ЗВТВП військових частин та підрозділів зводиться до рівності:

$$\sum_{i \in S_k} \sum_{j=1}^J r_{ij} t_j = T_k^{\Phi}; \quad k = \overline{1, K}, \quad (3)$$

тобто фонди часу метрологічного обслуговування ЗТВВП військових частин та підрозділів визначаються співвідношенням (3) відповідно до обраних маршрутів ВМГ, що здійснюють метрологічне обслуговування ЗТВВП військових частин та підрозділів. Крім того, нерівність в моделі (1)

$$\sum_{k=1}^K \left[ c_0 l(s_k) + \sum_{i \in S_k} \sum_{j=1}^J r_{ij} c_j \right] \leq C \quad (4)$$

спрощується і перетворюється у наступну нерівність:

$$\sum_{k=1}^K c_0 l(s_k) \leq C - C_{MO}, \quad (5)$$

де 
$$C_{MO} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J r_{ij} c_j, \quad (6)$$

а двопараметрична задача оптимізації визначення витрат приводиться до однопараметричної:

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^K \left[ c_0 l(s_k) + \sum_{i \in S_k} \sum_{j=1}^J r_{ij} c_j \right] &= \sum_{k=1}^K c_0 l(s_k) + \\ + \sum_{k=1}^K \sum_{i \in S_k} \sum_{j=1}^J r_{ij} c_j &= \sum_{k=1}^K c_0 l(s_k) + \sum_{i \in S_1} \sum_{j=1}^J r_{ij} c_j + \\ + \sum_{i \in S_2} \sum_{j=1}^J r_{ij} c_j + \dots + \sum_{i \in S_K} \sum_{j=1}^J r_{ij} c_j &= \sum_{k=1}^K c_0 l(s_k) + \\ + \sum_{i \in \bigcup_{k=1}^K S_k} \sum_{j=1}^J r_{ij} c_j &= \sum_{k=1}^K c_0 l(s_k) + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J r_{ij} c_j. \end{aligned}$$

оскільки для кожної  $k$ -ої ВМГ, яка відповідно знайдений при розв'язанні задачі (7) – (9) множини  $P_k^*$ , здійснюється вирішення такої задачі пошуку найкоротшого за часом замкнутого шляху  $S_k$ , що починається й закінчується в вузлі 1 та проходить скрізь усі вузли  $P_k^*$  тільки по одному разу:

$$l(s_k) = r_{1,i_{1k}} + r_{i_{1k},i_{2k}} + \dots + r_{i_{nk},1} \rightarrow \min; \quad (7)$$

$$S_u = [1, i_{1k}, i_{2k}, \dots, i_{nk}, 1] \in L(P_k^*).$$

Такі замкнені шляхи  $S_k$  мають назву гамільтонових контурів [7]. Через  $L(P_k^*)$  позначено множини усіх гамільтонових контурів для вузлів із множиною  $P_k^*$ , що починаються й закінчуються в вузлі 1.

Величина  $C_{MO}$  в виразі (6) визначає необхідну сумарну вартість потрібного метрологічного обслуговування ЗТВВП військових частин (підрозділів) у регіоні, а нерівність (5) є обмеженням на сумарну вартість транспортних витрат усіх ВМГ.

Для розв'язання задачі пропонується розглядати її як наступну двоетапну задачу оптимізації. На першому етапі вирішується задача оптимального розподілу ВМГ за критерієм мінімуму загального часу метрологічного обслуговування ЗТВВП військових частин (підрозділів) яка описується наступними співвідношеннями:

$$\max_{1 \leq k \leq K} \sum_{i \in P_k} \sum_{j=1}^J r_{ij} t_j \rightarrow \min; \quad (8)$$

$$P_{k_1} \cap P_{k_2} = \emptyset; \quad k_1 \neq k_2; \quad (9)$$

$$\bigcup_{k=1}^K P_k = \{2, 3, \dots, I\}, \quad (10)$$

де  $P_k = \{i_{1k}, i_{2k}, \dots, i_{nk}, k\}$  є множина вузлів (пунктів, місць) дислокації військових частин та підрозділів на транспортній мережі  $(M, N)$ , що підлягають метрологічному обслуговуванню ЗТВВП  $k$ -ою ВМГ;

співвідношення (9) означає, що військова частина (підрозділ) обслуговується тільки однією ВМГ; співвідношення (10) гарантує, що кожна військова частина (підрозділ) підлягає метрологічному обслуговуванню ЗТВВП;

вузол 1 виділений зі множини вузлів в (10), оскільки він відповідає місцю дислокації ВМГ відносно транспортної мережі.

Для розв'язання задачі (8) – (10) перетворимо її у задачу математичного програмування наступним чином. Зіставимо кожному із варіантів розподілу ВМГ по військовим частинам (підрозділам) набір значень змінних  $x_{ki}$ , відносно яких  $x_{ki} = 1$ , якщо  $k$ -та ВМГ здійснює метрологічне обслуговування ЗТВВП  $i$ -ої військової частини (підрозділу) та  $x_{ki} = 0$ , якщо  $k$ -та ВМГ не здійснює метрологічне обслуговування ЗТВВП  $i$ -ої військової частини (підрозділу). В цьому випадку цільова функція (8) в математичній моделі прийме такий вид:

$$\max_{1 \leq k \leq K} \sum_{i \in P_k} \sum_{j=1}^J r_{ij} t_j = \max_{1 \leq k \leq K} \sum_{i=2}^I x_{ki} \sum_{j=1}^J r_{ij} t_j,$$

а співвідношення (9) та (10) перетворюються на такі:

$$\sum_{k=1}^K x_{ki} = 1; \quad i = \overline{2, I}; \quad x_{x_{ki}} \in \{0, 1\}; \quad k = \overline{1, K}; \quad i = \overline{2, I},$$

Таким чином задача (8) – (10) приймає вид нелінійної задачі цілочисельного програмування:

$$T_{MO} = \max_{1 \leq k \leq K} T_k = \max_{1 \leq k \leq K} \sum_{i=2}^I \sum_{j=1}^J r_{ij} t_j \rightarrow \min; \quad (11)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{ki} = 1; \quad i = \overline{2, I}; \quad x_{x_{ki}} \in \{0, 1\}; \quad k = \overline{1, K}; \quad i = \overline{2, I},$$

де 
$$T_k = \sum_{i=2}^I x_{ki} \sum_{j=1}^J r_{ij} t_j \quad (12)$$

визначає час метрологічного обслуговування ЗВТВП військових частин (підрозділів)  $k$  – ою ВМГ у відповідності із планом розподілу ВМГ - матрицю призначення  $X = \|x_{ki}\|_{K, I-1}$ , а  $T_{MO}$  - загальний час метрологічного обслуговування ЗВТВП військових частин (підрозділів) у регіоні.

Відомо, що дискретна величина, яка приймає значення 0 або 1, має назву бульової [9]. Тому задачі з такими змінними має назву задач з бульовими змінними [9]. Нелінійність задачі (11) витікає із нелінійності цільової функції, так як у загальному випадку:

$$T_{MO} (X' + X'') = \max_{1 \leq k \leq K} \sum_{i=2}^I (x'_{ki} + x''_{ki}) \sum_{j=1}^J r_{ij} t_j =$$

$$= \max_{1 \leq k \leq K} \left\{ \sum_{i=2}^I x'_{ki} \sum_{j=1}^J r_{ij} t_j + \sum_{i=2}^I x''_{ki} \sum_{j=1}^J r_{ij} t_j \right\} \leq$$

$$\leq \max_{1 \leq k \leq K} \sum_{i=2}^I x'_{ki} \sum_{j=1}^J r_{ij} t_j + \max_{1 \leq k \leq K} \sum_{i=2}^I x''_{ki} \sum_{j=1}^J r_{ij} t_j.$$

Перетворимо її у цілочисельну задачу лінійного програмування з бульовими змінними:

$$T_{MO} \rightarrow \min; \quad (13)$$

$$\sum_{i=2}^I x_{ki} \sum_{j=1}^J r_{ij} t_j \leq T_{MO}; \quad k = \overline{1, K};$$

$$\sum_{k=1}^K x_{ki} = 1; \quad i = \overline{2, I}; \quad x_{x_{ki}} \in \{0, 1\}; \quad k = \overline{1, K}; \quad i = \overline{2, I},$$

Проведене перетворення дозволяє вирішувати задачу (13) стандартними процедурами лінійного цілочисельного програмування в середовищі Excel [10]. Рішення задачі (13) дозволяє встановити:

$$X^* = \|x^*_{ki}\|_{K, I-1} - \text{оптимальний розподіл ВМГ}$$

(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;

$T_k^*$ ;  $k = \overline{1, K}$  – фонд часу метрологічного обслуговування ЗВТВП військових частин (підрозділів) у регіоні, що обслуговуються  $k$  – ою ВМГ;

$P_k^*$ ;  $k = \overline{1, K}$  – множини військових частин (підрозділів), що обслуговуються  $k$  – ою ВМГ.

На другому етапі за методом гілок та границь [9] розв'язується задача (7) щодо  $k$  – ої ВМГ стосовно визначеної множини військових частин (підрозділів)  $P_k^*$ , що підлягають метрологічному обслуговуванню ЗВТВП та відповідають наступним значенням елементів матриці призначення:

$$x_{ki_1}^* = x_{ki_2}^* = \dots = x_{ki_{n_k}}^* = 1.$$

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

У результаті вирішення задачі (7) отримаємо:

$S_k^*$ ;  $k = \overline{1, K}$  - оптимальний за часом (й за вартістю) замкнений маршрут щодо  $k$  – ої ВМГ;

$l_k^* = l(S_k^*)$ ;  $k = \overline{1, K}$  - мінімальний час пересування  $k$  – ої ВМГ;

$c_0 l_k^*$ ;  $k = \overline{1, K}$  - мінімальна вартість транспортних витрат  $k$  – ої ВМГ.

Таким чином, вирішення двохетапної задачі (13), (7) дозволить визначити:

$$X^* = \|x^*_{ki}\|_{K, I-1} - \text{квазіоптимальний розподіл}$$

ВМГ щодо метрологічного забезпечення ЗВТВП військових частин (підрозділів) у регіоні за критерієм мінімуму часу обслуговування;

$S_k^*$ ;  $k = \overline{1, K}$  - квазіоптимальний замкнений маршрут щодо  $k$  – ої ВМГ;

$$T_3^* = \max_{1 \leq k \leq K} \{T_k^* + l_k^*\} - \text{квазіоптимальний загальний час метрологічного обслуговування ЗВТВП}$$

та часові транспортні витрати ВМГ;

$$C_3^* = C_{MO} + c_0 \sum_{k=1}^K l_k^* - \text{загальні вартісні витрати}$$

та  $C_{MO}$  метрологічного обслуговування ЗВТВП та пересування ВМГ.

Зауваження 1. Відмічається, що точка мінімуму цільової функції задачі (13) може бути не єдиною, тобто може існувати інша матриця призначень

$$X^{**} = \|x^{**}_{ki}\|_{K, I-1}, \text{ на якій також досягається мінімум}$$

цільової функції  $T_{MO}^*$ . Відтоді для цього рішення в задачі (7) може бути визначені інші оптимальні маршрути  $S_k^{**}$ ;  $k = \overline{1, K}$  такі, що у загальному випадку може статися, що

$$T_3^{**} = \max_{1 \leq k \leq K} \{T_k^{**} + l_k^{**}\} \langle T_3^* = \max_{1 \leq k \leq K} \{T_k^* + l_k^*\}.$$

Зауваження 2. Можливо існування неоптимальної матриці призначень  $X' = \|x'_{ki}\|_{K, I-1}$  задачі

$$(13), \text{ для якої відповідають наступні маршрути руху } S'_k; \quad k = \overline{1, K}, \text{ що } T'_3 = \max_{1 \leq k \leq K} \{T'_k + l'_k\} \langle T_3^*.$$

Таким чином, рішення  $X^*$ ,  $T_3^*$ ,  $C_3^*$  є квазіоптимальне, що не є суттєвим, так як транспортні й часові витрати істотно менше часових витрат щодо

метрологічного обслуговування ЗВТВП військових частин (підрозділів) у регіоні. Пропонується така процедура розв'язання задачі (13), (7).

**Етап 1.** Визначення параметрів  $d_i$  :

$$d_i = \sum_{j=1}^J r_{ij} t_j; \quad i = \overline{2, I}.$$

**Етап 2.** Розв'язання задачі лінійного цілячи-сельного програмування (ЛЦП):

$$T_{MO} \rightarrow \min; \quad \sum_{i=2}^I d_i x_{ki} \leq T_{MO}; \quad k = \overline{1, K};$$

$$\sum_{k=1}^K x_{ki} = 1; \quad i = \overline{2, I}; \quad x_{x_{ki}} \in \{0, 1\}; \quad k = \overline{1, K}; \quad i = \overline{2, I},$$

**Етап 3.** Формування рішення задачі визначає:

$$X^* = \|x_{ki}^*\|_{K, I-1}; \quad T_{MO}^* = \min_{\{X\}} T_{MO}; \quad T_k^* = \sum_{i=2}^I d_i x_{ki}^*;$$

$$P_k^* = \left\{ i_{1k}, i_{2k}, \dots, i_{n_k, k} \mid x_{ki_1}^* = x_{ki_2}^* = \dots = x_{kn_k}^* = 1 \right\}$$

**Етап 4.** Розв'язання задачі пошуку гамільтонових контурів (ПГК) щодо кожної ВМГ:

$$l(s_k) = \tau_{1, i_{1k}} + \tau_{i_{1k}, i_{2k}} + \dots + \tau_{i_{n_k, k}, 1} \rightarrow \min;$$

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

**Етап 5.** Формування рішення задачі (10):

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

$$l_k^* = l\tau_{1, i_{1k}^*} + \tau_{i_{1k}^*, i_{2k}^*} + \dots + \tau_{i_{n_k, k}^*, 1}; \quad k = \overline{1, K}.$$

**Етап 6.** Формування рішення двохетапної (ДЕ) задачі (13), (7):

$$X^* = \|x_{ki}^*\|_{K, I-1}; \quad S_k^*; \quad k = \overline{1, K}; \quad T_{MO}^*; \quad T_k^*;$$

$$k = \overline{1, K}; \quad T_3^* = \max_{1 \leq k \leq K} \{T_k^* + l_k^*\};$$

$$C_3^* = C_{MO} + c_0 \sum_{k=1}^K l_k^*.$$

Схема процедури наведена на рис. 1.

Для ілюстрації запропонованого методу розв'язання поставленої задачі наведемо приклад її вирішення. Вихідні дані наведені в табл. 1 – 5.

Таблиця 1

Матриця замовлень військових частин (підрозділів) щодо метрологічного обслуговування ЗВТВП за типами, од.

Типи	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
В/ч											
2	12	2	7	4	2	18	18	10	0	10	3
3	11	4	5	3	2	14	13	14	2	9	5
4	10	3	7	6	3	10	11	14	0	7	4
5	8	3	6	3	1	0	10	19	1	8	2
6	9	2	4	3	0	12	16	23	1	11	1
7	6	5	5	5	4	16	14	20	0	9	2
8	4	6	5	4	3	21	44	12	2	10	4

В табл. 6 – 14 надаються результати вирішення двохетапної задачі (13), (7), які визначені за допомогою середовища Excel.

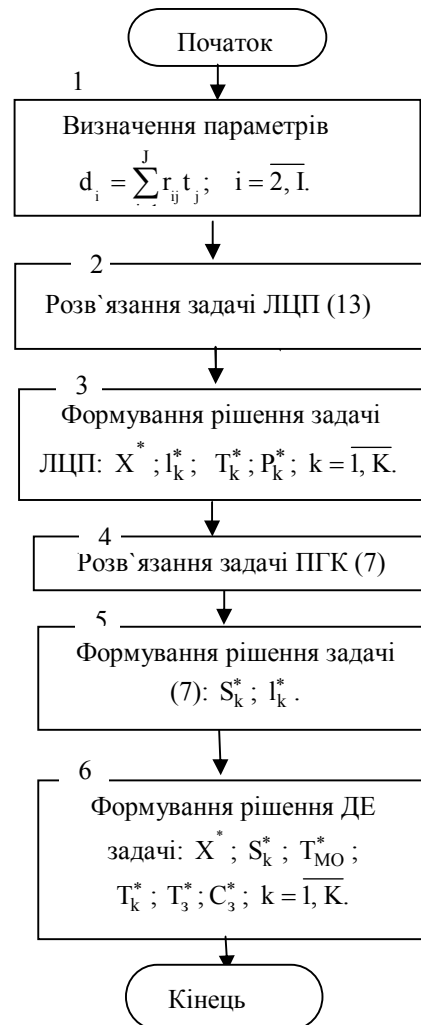


Рис. 1. Схема процедури

Таблиця 2

Питомий час метрологічного обслуговування ЗВТВП за типами, час.

Типи	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Час	4	8	5	6	3	1	4	1	2	1	5

Таблиця 3

Питомі витрати метрологічного обслуговування ЗВТВП за типами у.о.

Типи	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
у.о	10	15	9	11	8	8	12	11	13	14	6

Таблиця 4

Матриця найкоротших відстань час.

В/ч	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	2	1	3	4	2	5	3
2	2	0	1	3	5	1	6	5
3	1	1	0	3	4	2	7	4
4	3	3	3	0	5	1	4	1
5	4	5	4	5	0	5	1	3
6	2	1	2	1	5	0	7	2
7	5	5	7	4	1	7	0	2
8	3	5	4	1	3	2	2	0

Таблиця 5

Тариф транспортування ВМГ, у.о.

Транспортний тариф	у.о.
$c_0$	5

Таблиця 6

Матриця оптимального розподілу ВМГ щодо метрологічного обслуговування ЗВТВП військових частин (підрозділів) у регіоні за критерієм мінімального часу обслуговування, од.

ВМГ \ в/ч	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	1	1	1	1	0
2	1	1	0	0	0	0	1

Таблиця 7

Час метрологічного обслуговування ЗВТВП ВМГ військових частин та підрозділів у регіоні, год.

Час метрологічного обслуговування ЗВТВП ВМГ 1, год.	Час метрологічного обслуговування ЗВТВП ВМГ 2, год.	Загальний час метрологічного обслуговування ЗВТВП ВМГ, год.
874	862	874

Таблиця 8

Вартість потрібного метрологічного обслуговування ЗВТВП ВМГ військових частин (підрозділів) у регіоні, у.о.

Витрати метрологічного обслуговування ЗВТВП ВМГ 1, у.о.	Витрати метрологічного обслуговування ЗВТВП ВМГ 2, у.о.	Сумарна вартість метрологічного обслуговування ЗВТВП ВМГ, у.о.
3284	3030	6314

Таблиця 9

Часові витрати на метрологічне обслуговування ЗВТВП ВМГ військових частин (підрозділів) у регіоні, год.

в/ч	години	ВМГ
2	254	ВМГ 2
3	243	ВМГ 2
4	239	ВМГ 1
5	186	ВМГ 1
6	207	ВМГ 1
7	242	ВМГ 1
8	365	ВМГ 2

Таблиця 10

Оптимальний маршрут та тривалість обслуговування ВМГ 1 та ВМГ 2

№ ВМГ	Оптимальний маршрут	Тривалість
1	1 → 5 → 7 → 4 → 6 → 1	$S_1 = 12$
2	1 → 8 → 2 → 3 → 1	$S_2 = 12$

Таблиця 11

Сумарна вартість потрібного метрологічного обслуговування ЗВТВП військових частин (підрозділів) у регіоні ВМГ 1 та ВМГ 2, у.о.

№ ВМГ	Вартість метрологічного обслуговування ЗВТВП	Сумарна вартість
1	3254	6314
2	3010	

Таблиця 12

Загальний час метрологічного обслуговування ЗВТВП військових частин (підрозділів) у регіоні із врахуванням транспортних витрат часу (ТВЧ) ВМГ 1 та ВМГ 2, год.

№ ВМГ	Час метрологічного обслуговування ЗВТВП із ТВЧ	Загальний час метрологічного обслуговування ЗВТВП із ТВЧ
1	886	873
2	873	
2	873	

Таблиця 13

Транспортні витрати, у.о.

№ ВМГ	Вартість метрологічного обслуговування ЗВТВП
1	60
2	65

Таблиця 14

Загальні транспортні витрати метрологічного обслуговування ЗВТВП військових частин (підрозділів) у регіоні ВМГ 1 та ВМГ 2, у.о.

№ ВМГ	Вартість метрологічного обслуговування ЗВТВП	Сумарна вартість
1	3344	6429
2	3085	

## Висновки

1. В статті запропоновано метод визначення оптимального плану розподілу виїзних метрологічних груп й відповідних оптимальних маршрутів руху за критерієм мінімуму загального часу метрологічного обслуговування зразків озброєння та військової техніки військ (сил) військових частин.

2. Метод засновано на розв'язанні двохетапної задачі оптимізації. На першому етапі вирішується задача оптимального розподілу ВМГ за критерієм мінімуму загального часу метрологічного обслуговування ЗВТВП військових частин (підрозділів). На другому етапі, стосовно кожної  $k$ -ої ВМГ, для визначеної множини військових частин (підрозділів)  $P_k^*$ , здійснюється вирішення задачі пошуку найкоротшого за часом замкнутого шляху  $S_k$ , що починається й закінчується в вузлі 1 та проходить скрізь усі вузли  $P_k^*$  тільки по одному разу.

3. Наведена процедура розв'язання двохетапної задачі визначення оптимального плану розподілу виїзних метрологічних груп й відповідних оптимальних маршрутів руху при метрологічному обслуговуванні військових частин та підрозділів.

4. Надані результати вирішення двох етапної задачі визначення оптимального плану розподілу виїзних метрологічних груп й відповідних оптимальних маршрутів руху при метрологічному обслуговуванні військових частин та підрозділів, які визначені за допомогою середовища Excel.

## 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 ім. І. Черняхівського, 2013. – 360 с.

5. Кононов В.Б. Методика прогнозування можливостей метрологічних підрозділів з відновлення пошкоджених засобів вимірювальної техніки військового призначення / В.Б. Кононов // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2011. – № 8 (85). – С. 231 – 234.

6. Кононов В.Б. Обґрунтування складу виїзних метрологічних груп та їх можливостей / В.Б. Кононов // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2011. – № 4 (81). – С. 87 – 89.

7. Чинков В.М. Модель системы метрологического обслуживания средств измерительной техники / В.М. Чинков, С.С. Войтенко // *Системы озброєння і військова техніка*. – 2014. – № 3 (93). – С. 157 – 159.

8. 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. Філістеев // *Системи обробки інформації*. – Х.: ХУПС, 2014. – Вип. 3(19). – С. 111 – 113.

9. Моисеев М.К. Методы оптимизации / М.К. Моисеев, Ш.П. Иванов, Е.М. Столярова. – М.: Наука, 1978. – 352 с.

10. Гельман В.Я. Решение математических задач средствами Excel / В.Я. Гельман. – СПб.: Питер, 2008. – 235 с.

Надійшла до редколегії 22.10.2014

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

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И СООТВЕТСТВУЮЩИХ ОПТИМАЛЬНЫХ МАРШРУТОВ ДВИЖЕНИЯ ВЫЕЗДНЫХ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ГРУПП ПРИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ ВОЙСКОВЫХ ЧАСТЕЙ И ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ**

В.Б. Кононов, Ю.И. Шевяков, Д.А. Филистеев, В.В. Бурцева

*В статье предложено метод определения оптимального плана распределения и соответствующих оптимальных маршрутов движения выездных метрологических групп по критерию минимума общего времени метрологического обслуживания образцов вооружения и военной техники войск (сил) войсковых частей, описана процедура решения поставленной задачи и приведен пример её решения.*

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

**METHOD OF DETERMINATION OF OPTIMUM PLAN OF DISTRIBUTING AND PROPER OPTIMUM ROUTES OF MOTION OF DEPARTURE METROLOGY GROUPS AT METROLOGY MAINTENANCE OF MILITARY PARTS AND SUBDIVISIONS**

V.V. Kononov, Yu.I. Shevyakov, D.A. Filisteev, V.V. Burceva

*In the article the method of determination of optimum plan of distributing and proper optimum routes of motion of departure metrology groups is offered on the criterion of a minimum of general time of metrology maintenance of standards of armament and military technique of troops (forces) of military parts, procedure of decision of the put task is described and the example of its decision is resulted.*

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