

УДК 519.87:316.458.6

Ю.І. Шевяков

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПЛАНУВАННЯ РОБОТИ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ МЕТРОЛОГІЧНИХ ГРУП

В статті запропонована математична модель визначення оптимального плану розподілу спеціалізованих виїзних метрологічних груп й відповідних маршрутів їх руху за критерієм мінімуму загального часу на метрологічне обслуговування із урахуванням обмежень на сумарні виділені кошти та витрати часу та згідно розподілу номерів обслуги за видами вимірювань

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

Вступ

Постановка задачі. При проведенні спеціалізованого метрологічного обслуговування зразків озброєння та військової техніки ЗСУ [1, 2] виникає задача планування розподілу виїзних метрологічних груп (ВМГ). Існуючі методи планування у повній мірі не враховують оптимізацію загального часу метрологічного обслуговування засобів вимірювальної техніки військового призначення (ЗВТВП) у місцях дислокації військових частин (підрозділів), загальної вартості метрологічного обслуговування ЗВТВП, календарного фонду робочого часу, маршрутів руху ВМГ. Все це приводить до дублювання у роботі ВМГ, що безпосередньо впливає на збільшення загального часу на метрологічне обслуговування, на підвищення витрат моторесурсу пересувних лабораторій вимірювальної техніки (ПЛВТ), паливно-мастильних матеріалів й витрат на відрядження обслуги ВМГ. При цьому, робота однакових за призначенням ВМГ різних метрологічних частин в одному гарнізоні є звичайним явищем. Це потребує планування розподілу ВМГ й відповідних маршрутів їх руху з урахуванням вищезгаданих вимог, що є актуальним науково-технічним завданням.

Аналіз літератури. Застосування ПЛВТ у складі ВМГ викладено в [3, 4]. Математична модель та задачі визначення оптимального плану розподілу й оптимальних маршрутів та метод руху ВМГ за критерієм мінімуму загального часу метрологічного обслуговування запропонована в статтях [5]. Відповідний метод визначення оптимального плану розподілу й оптимальних маршрутів руху ВМГ за критерієм мінімуму загального часу метрологічного обслуговування, запропонований в статті [6], розглянутий для випадку, коли виділених сумарних вартісних коштів достатньо для метрологічного обслуговування ЗВТВП кожної військової частини (підрозділу). В статті [7] викладено метод визначення оптимального плану розподілу й відповідних маршрутів

рухів руху ВМГ в умовах обмеження витрат на метрологічне обслуговування. Узагальнена математична модель визначення оптимальних плану розподілу й маршрутів руху ВМГ надана в [8].

Разом з тим, в цих роботах не враховані наступні зауваження:

- цільова функція в запропонованих моделях [5 – 8] містить тільки витрати на метрологічне обслуговування військових частин усіма ВМГ, але не містить витрати часу на їх пересування;

- критерій ефективності в запропонованих моделях [5 – 8] можна розуміти таким чином, що військова частина, яка відповідає вузлу дислокації 1, буде обслуговуватись двічі;

- запропоновані моделі відповідають випадку, коли усі військові частини можуть бути обслуговані, але у загальному випадку це не так, бо співвідношення на обмеження на загальну вартість або (та) на календарний фонд робочого часу можуть не виконуватись [5 – 8];

- 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];

- для врахування обсягу фонду часу слід використовувати обмеження на сумарний фонд часу метрологічного обслуговування для усіх ВМГ [5 – 7];

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

Метою статті є розробка математичної моделі для оптимального плану 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 із урахуванням обмежень на сумарні виділені кошти та витрати часу згідно розподілу номерів обслуги за видами вимірювань.

Основний матеріал

При обґрунтуванні методу метрологічного обслуговування для узагальнення запропонованих математичних моделей планування роботи виїзних метрологічних підрозділів, введемо такі параметри:

(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 та одному із підрозділів;

N – множина дуг транспортної мережі, які пов'язують між собою вузли;

$J_{од}$ – множина типів виду ЗВТВП, що розглядається;

r_{ij} ; $i = \overline{1, I}$; $j \in J_{од}$ – кількість ЗВТВП j -го типу i – ої військової частини (підрозділу) у регіоні, що підлягають метрологічному обслуговуванню (якщо ЗВТВП j -го типу не підлягає метрологічному обслуговуванню, то $r_{ij} = 0$);

t_j ; $j \in J_{од}$ – усереднена норма часу на метрологічне обслуговування одного ЗВТВП j -го типу;

c_0 – тариф транспортування ВМГ;

C – виділені сумарні кошти для метрологічного обслуговування ЗВТВП усіх військових частин (підрозділів);

K – кількість ВМГ у регіоні;

c_1 – вартість погодинного метрологічного обслуговування одиниці ЗВТВП;

T_0 – календарний фонд робочого часу щодо метрологічного обслуговування військових частин (підрозділів) усіма ВМГ;

l_{in} ; $i = \overline{1, I}$; $n = \overline{1, I}$ – відстань між i -ою та n -ою військовими частинами;

b – кількість номерів обслуги ВМГ за даним видом ЗВТВП;

V – середня швидкість пересування ВМГ;

$S_k = [j_{1k}, j_{2k}, \dots, j_{n_k k}]$, $k = \overline{1, K}$ – множина військових частин (підрозділів) у регіоні, які підлягають метрологічному обслуговуванню k -ою ВМГ;

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

Таким чином, для вирішення задачі планування пропонується використовувати наступну математичну модель:

$$T_{МОП} =$$

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

$$S_{k_1} \cap S_{k_2} = \emptyset; \quad k_1 \neq k_2; \quad (2)$$

$$\bigcup_{k=1}^K S_k = M_1 \subseteq M; \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^K \left[c_0 l(P_k) + \frac{c_1}{b} \sum_{i \in S_k} \sum_{j \in J_{од}} r_{ij} t_j \right] \leq C; \quad (4)$$

$$\frac{1}{b} \sum_{k=1}^K \sum_{i \in S_k} \sum_{j \in J_{од}} r_{ij} t_j \leq T_0. \quad (5)$$

Обґрунтуємо, перш за все, формалізацію цільової функції (показника ефективності операції):

$\sum_{j \in J_{од}} r_{ij} t_j$ – кількість людино-годин, яка необ-

хідна для метрологічного обслуговування однорідних ЗВТВП i -ої (-ого) військової частини (підрозділу);

$\frac{1}{b} \sum_{j \in J_{од}} r_{ij} t_j$ – час метрологічного обслугову-

вання однорідних ЗВТВП i -ої (-ого) військової частини (підрозділу) b – кількістю номерів обслуги;

$\frac{1}{b} \sum_{i \in S_k} \sum_{j \in J_{од}} r_{ij} t_j$ – час метрологічного обслугову-

вання однотипних ЗВТВП військових частин (підрозділів) із множини S_k k -ою ВМГ b – кількістю номерів обслуги;

$l(P_k) = l_{i_1, i_1} + l_{i_1, i_2} + \dots + l_{i_{n_k}, 1}$ – довжина маршруту P_k ;

$\frac{1}{b} \sum_{i \in S_k} \sum_{j \in J_{од}} r_{ij} t_j + \frac{1}{V} l(P_k)$ – час метрологічного

обслуговування однорідних ЗВТВП військових частин (підрозділів) k -ою ВМГ b – кількістю номерів обслуги і її пересування за маршрутом P_k .

Таким чином, цільова функція має вигляд:

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

і є витратами часу на метрологічне обслуговування ЗВТВП даного виду для військових частин (підрозділів) і пересування усіх ВМГ.

У відповідності із постановкою задачі критерій мінімуму часу метрологічного обслуговування однорідних ЗВТВП військових частин (підрозділів) і пересування усіх ВМГ може бути представленим у вигляді співвідношення (1):

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

З'ясуємо обмеження математичної моделі щодо

організації обслуговування військових частин (підрозділів) (2) – (3):

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

означає, що військова частина (підрозділ) підлягає метрологічному обслуговуванню тільки однією ВМГ;

– співвідношення $\bigcup_{k=1}^K S_k = M_1 \subseteq M$ означає,

що деякі військові частини (підрозділи) можуть бути не обслуговані (наприклад, якщо бракує виділених коштів або часу на метрологічне обслуговування), де M_1 - множина максимальної кількості військових частин (підрозділів), які можуть бути обслуговані у відповідності із співвідношеннями (4) – (5).

Обґрунтуємо співвідношення (4) – (5), які стосуються обмежень на сумарні виділені кошти і часові витрати:

Оскільки величина $\frac{1}{b} \sum_{i \in S_k} \sum_{j \in J_{од}} r_{ij} t_j$ визначає час,

необхідний для метрологічного обслуговування однорідних ЗВТВП військових частин (підрозділів) із множини S_k k-ою ВМГ, а величина $\frac{c_1}{b} \sum_{i \in S_k} \sum_{j \in J_{од}} r_{ij} t_j$ –

відповідні вартісні витрати, то вартісні витрати на метрологічне обслуговування ЗВТВП даного виду для військових частин (підрозділів) усіма ВМГ приймають вигляд:

$$\frac{c_1}{b} \sum_{k=1}^K \sum_{i \in S_k} \sum_{j \in J_{од}} r_{ij} t_j.$$

Крім того, сумарні вартісні витрати на пересування усіх ВМГ дорівнюють

$$c_0 \sum_{k=1}^K l(P_k).$$

Таким чином, загальні вартісні витрати на метрологічне обслуговування однорідних ЗВТВП військових частин (підрозділів) усіма ВМГ та на їх пересування дорівнюють

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

а співвідношення (4) –

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

обмежує відповідні сумарні вартісні витрати.

Аналогічно, величина

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

визначає сумарні часові витрати на метрологічне обслуговування ЗВТВП військових частин (підрозділів) усіма ВМГ, а співвідношення (5)

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

обмежує відповідні сумарні часові витрати.

Рішення задачі (1) – (5) дає змогу знайти

$$S_k^* = [j_{1k}^*, j_{2k}^*, \dots, j_{n_k k}^*]; k = \overline{1, K} \quad (6)$$

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

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

оптимальний замкнений маршрут метрологічного обслуговування однорідних ЗВТВП військових частин (підрозділів) у регіоні для k-ої ВМГ;

$$T_{Моп}^* = \max_{1 \leq k \leq K} \left(\frac{1}{b} \sum_{i \in S_k} \sum_{j \in J_{од}} r_{ij} t_j + \frac{1}{V} l(P_k) \right) \quad (8)$$

мінімальний час на метрологічне обслуговування ЗВТВП даного виду для військових частин (підрозділів) спеціалізованими ВМГ та їх пересування у регіоні.

Отримане рішення дозволяє визначити наступні часткові показники ефективності операції:

$$T_{МО}^* = \max_{1 \leq k \leq K} \left\{ \sum_{i \in S_k^*} \left[\frac{1}{b} \sum_{j \in J} r_{ij} t_j \right] \right\} \quad (9)$$

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

$$T_k^* = \sum_{i \in S_k^*} \left[\frac{1}{b} \sum_{j \in J_{од}} r_{ij} t_j \right] + \frac{1}{V} l(P_k^*); k = \overline{1, K} \quad (10)$$

час на метрологічне обслуговування однорідних ЗВТВП військових частин (підрозділів) k – ою ВМГ і на її пересування;

$$t_k^* = \frac{1}{V} l(P_k^*); k = \overline{1, K} \quad (11)$$

час пересування k – ої ВМГ за оптимальним маршрутом P_k^* ;

$$T_k^{заг} = T_k^* + (t_{розг} + t_{згор} + t_{сер}) \cdot |S_k^*|; k = \overline{1, K} \quad (12)$$

загальний час метрологічного обслуговування військових частин (підрозділів) у регіоні k-ою 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) із множини S_k^* ;

$$T_{заг}^* = \max_{1 \leq k \leq K} T_k^{заг} \quad (13)$$

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

$$C_k^* = c_0 I(P_k^*) + \frac{c_1}{b} \sum_{i \in S_k^*} \sum_{j \in J_{од}} r_{ij} t_j; k = \overline{1, K} \quad (14)$$

сумарні вартісні витрати на метрологічне обслуговування засобів вимірювальної техніки військового призначення даного виду для військових частин (підрозділів) k -ою ВМГ і на її пересування;

$$C_{заг}^* = \sum_{k=1}^K C_k^* \quad (15)$$

загальні вартісні витрати на метрологічне обслуговування ЗВТВП даного виду і пересування усіх ВМГ;

$$T_{\Sigma}^* = \frac{1}{b} \sum_{k=1}^K \sum_{i \in S_k^*} \sum_{j \in J_{од}} r_{ij} t_j \quad (16)$$

сумарні часові витрати на метрологічне обслуговування однорідних ЗВТВП.

Модель (1) – (5) може бути застосована для планування роботи ВМГ для будь якого розрахункового періоду та у разі змінення параметрів моделі, пов'язаних зі змінами складу ОВТ та місць дислокації військових частин.

Висновки

1. В статті запропонована математична модель задач 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 із урахуванням або без урахування обмежень на сумарні виділені кошти та згідно розподілу номерів обслуги за видами вимірювань.

2. Запропонована математична модель дозволяє здійснювати планування робіт спеціалізованих ВМГ метрологічних частин ЗСУ за мінімальний можливий час обслуговування.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ГРУПП

Ю.И. Шевяков

В статье предложена математическая модель определения оптимального плана распределения специализированных выездных метрологических групп и соответствующих им маршрутов движения по критерию минимума общего времени на метрологическое обслуживание с учетом ограничений на суммарные выделенные средства и затраты времени соответственно распределению номеров расчета по видам измерений.

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

MATHEMATICAL MODEL OF PLANNING OF WORK OF THE SPECIALIZED METROLOGY GROUPS

Yu.I. Shevyakov

In the article the mathematical model of determination is offered optimum the plan of distributing of the specialized departure metrology groups and proper by him routes of motion on the criterion of a minimum of general time on metrology services taking into account limits on the total selected facilities and expenses of time according to distributing of numbers of calculation on the types of measurings.

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

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

6. 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 обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2014. – Вип 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. – С. 104-111.

8. Математична модель задачі визначення оптимального плану розподілу й оптимальних маршрутів руху виїзної метрологічної групи за критерієм мінімуму загального часу метрологічного обслуговування [Електронний ресурс] / В.Б. Кононов, Ю.І. Шевяков, Д.А. Філістєєв // Системи озброєння і військова техніка. – 2014. – № 3. – С. 111-113.

Надійшла до редколегії 1.10.2015

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