

УДК 519.87:316.458.6

Ю.І. Шевяков

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПЛАНУ РОЗПОДІЛУ Й МАРШРУТІВ РУХУ РІЗНОТИПНИХ ВІЇЗНИХ МЕТРОЛОГІЧНИХ ГРУП

В статті запропоновано метод визначення оптимальних плану розподілу й маршрутів руху різнотипних пересувних лабораторій вимірювальної техніки виїзних метрологічних груп за критерієм мінімуму загального часу метрологічного обслуговування зразків озброєння та військової техніки.

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

Вступ

Постановка задачі. Метрологічне обслуговування зразків озброєння та воєнної техніки представляє собою вимірювання і контроль їх параметрів з метою визначення необхідності їх настройки, регулювання або ремонту. Від результатів метрологічного обслуговування зразків озброєння та воєнної техніки залежить оперативність й достовірність інформації про стан зразків озброєння та військової техніки частин та підрозділів, витрати матеріальних засобів.

Організація метрологічних робіт в військових частинах (підрозділах) виїзними метрологічними групами на пересувних лабораторіях вимірювальної техніки здійснюються згідно планів-завдань метрологічного обслуговування, де визначається маршрут руху виїзних метрологічних груп, військові частини (підрозділи), що заплановані до метрологічного обслуговування, місця дозавправлення пальним, відповідальні за організацію робіт виїзних метрологічних груп у військових частинах (підрозділах), терміни виконання робіт, порядок зв'язку тощо. Важливою задачею при проведенні метрологічного обслуговування зразків озброєння та воєнної техніки є зменшення витрат загального часу з урахуванням обмеження на сумарну вартість метрологічного обслуговування зразків озброєння та воєнної техніки, транспортних витрат та обсягів робіт щодо замовлення на метрологічне обслуговування зразків озброєння та воєнної техніки військових частин (підрозділів). Постійне зростання обсягів робіт і складності вимірювань, кількості параметрів, що контролюються на зразках озброєння та воєнної техніки, потребує збільшення парку пересувних лабораторій вимірювальної техніки (ПЛВТ), перш за все, сучасними різнотипними зразками вимірювальних лабораторій. Визначення оптимальних плану розподілу й маршрутів руху різнотипних ПЛВТ виїзних метрологічних груп за критерієм мінімуму загального часу метрологічно-

го обслуговування зразків озброєння та військової техніки є актуальним науково-технічним завданням, важливість якого підтверджується необхідністю своєчасного метрологічного обслуговування озброєння та військової техніки військ (сил).

Аналіз літератури. В [1, 2] розглянуті питання організації виробничої діяльності військових метрологічних лабораторій в Міністерстві оборони України та Збройних Силах України.

Застосування ВМГ у складі пересувних засобів метрологічного обслуговування викладено в [3, 4].

Математична 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 запропонована в статті [5].

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 запроваджені в статті [6].

Наведені в статтях [5] й [6] математичні моделі та методи доцільно використовувати в разі виконання робіт щодо метрологічного обслуговування ЗВТВП лише існуючими ВМГ, адже вони не враховують можливість паралельного виконання метрологічного обслуговування різнотипними виїзними метрологічними групами.

Метою статті є обґрунтування методу визначення оптимальних плану розподілу й маршрутів руху різнотипних виїзних метрологічних груп за критерієм мінімуму загального часу метрологічного обслуговування зразків озброєння та військової техніки.

Виклад основного матеріалу

При обґрунтуванні методу метрологічного обслуговування зразків ОВТ різнотипними виїзними метрологічними групами в якості базової розгля-

немо відповідну математичну модель за критерієм мінімуму загального часу метрологічного обслуговування зразків озброєння та військової техніки, де визначено, що норми часу метрологічного обслуговування можуть бути зменшені тому, що в новітніх пересувних лабораторіях вимірювальної техніки використовуються нові зразки вимірювальної техніки, що дозволяє підвищити інтенсивність виконання операцій метрологічного обслуговування силами номерів обслуги ВМГ:

$$\max_{\{S_{pk}\}} \left[\sum_{i \in S_{pk}} \max_{1 \leq m \leq M_1} \left(\frac{1}{b_{pm}} \sum_{j \in J_m} r_{ij} t_{pj} \right) + \frac{1}{V_p} l(S_{pk}) \right] \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$S_{p_1 k_1} \cap S_{p_2 k_2} = \emptyset; \quad p_1 \neq p_2 \vee k_1 \neq k_2; \quad (2)$$

$$\bigcup_{p=1}^P \bigcup_{k=1}^{a_p} S_{pk} \subseteq M; \quad (3)$$

$$J_{m_1} \cap J_{m_2} = \emptyset; \quad m_1 \neq m_2; \quad (4)$$

$$\bigcup_{m=1}^{M_1} J_m = J_0; \quad (5)$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^{a_p} \left[c_{p0} l(S_{pk}) + c_{p1} \sum_{i \in S_{pk}} \sum_{m=1}^{M_1} \left(\frac{1}{b_{pm}} \sum_{j \in J_m} r_{ij} t_{pj} \right) \right] \leq C; \quad (6)$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^{a_p} \sum_{i \in S_{pk}} \sum_{m=1}^{M_1} \left(\frac{1}{b_{pm}} \sum_{j \in J_m} r_{ij} t_{pj} \right) \leq T_0, \quad (7)$$

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;

J_0 – множина усіх типів ЗВТВП;

J_m ; $m = \overline{1, M}$ – множина типів ЗВТВП за m -м видом метрологічного обслуговування;

M_1 – кількість видів метрологічного обслуговування;

b_{pm} ; $m = \overline{1, M_1}$; $p = \overline{1, P}$ – кількість номерів обслуги ВМГ p -го типу за m -м видом метрологічного обслуговування;

P – кількість типів ВМГ;

a_p ; $p = \overline{1, P}$ – кількість ВМГ p -го типу;

t_{pj} ; $p = \overline{1, P}$; $j \in J_0$ – усереднена норма часу на метрологічне обслуговування одного ЗВТВП j -го типу обслугою ВМГ p -го типу;

c_{p1} ; $p = \overline{1, P}$ – усереднена вартість однієї години метрологічного обслуговування обслугою ВМГ p -го типу;

c_{p0} ; $p = \overline{1, P}$ – тариф транспортування ВМГ p -го типу;

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

$S_{pk} = [1, i_{1k}^{(p)}, i_{2k}^{(p)}, \dots, i_{n_k k}^{(p)}, 1]$; $p = \overline{1, P}$; $k = \overline{1, a_p}$ – замкнений маршрут метрологічного обслуговування ЗВТВП військових частин (підрозділів) у регіоні для k -ї ВМГ p -го типу, якій починається та закінчується в вузлі 1 й проходить скрізь відповідні вузли дислокації військових частин (підрозділів) тільки один раз;

l_{iq} ; $(i, q) \in N$ – відстань між i -ї та q -ю військовими частинами (підрозділами);

V_p ; $p = \overline{1, P}$ – середня швидкість пересування ВМГ p -го типу;

$l(S_{pk}) = \sum_{(i, q) \in S_{pk}} l_{iq}$ – довжина маршруту S_{pk} .

Цільова функція у співвідношення (1) визначає загальний час метрологічного обслуговування ЗВТВП військових частин (підрозділів) усіма ВМГ, так як:

$$\frac{1}{b_{pm}} \sum_{j \in J_m} r_{ij} t_{pj} \text{ визначає час метрологічного об-}$$

слуговування m -го виду b_{pm} – кількістю номерів обслуги ВМГ p -го типу для i -ї військової частини (підрозділу);

$$\max_{1 \leq m \leq M_1} \left(\frac{1}{b_{pm}} \sum_{j \in J_m} r_{ij} t_{pj} \right) \text{ визначає час метрологі-}$$

чного обслуговування усіх видів $\sum_{m=1}^{M_1} b_{pm}$ – кількістю номерів обслуги ВМГ p -го типу для i -ї військової частини (підрозділу);

$$\sum_{i \in S_{pk}} \max_{1 \leq m \leq M_1} \left(\frac{1}{b_{pm}} \sum_{j \in J_m} r_{ij} t_{pj} \right) \text{ визначає час мет-}$$

рологічного обслуговування усіх видів $\sum_{m=1}^{M_1} b_{pm}$ –

кількістю номерів обслуги k -ї ВМГ p -го типу для військових частин (підрозділів) на маршруті s_{pk} ;

$$\frac{1}{V_p} I(S_{pk}) \text{ час пересування ВМГ } p\text{-го типу за}$$

маршрутом s_{pk} ;

$$\sum_{i \in S_{pk}} \max_{1 \leq m \leq M_1} \left(\frac{1}{b_{pm}} \sum_{j \in J_m} r_{ij} t_{pj} \right) + \frac{1}{V_p} I(S_{pk}) \text{ визна-}$$

чає час метрологічного обслуговування усіх видів $\sum_{m=1}^{M_1} b_{pm}$ – кількістю номерів обслуги k -ї ВМГ p -го типу для військових частин (підрозділів) на маршруті s_{pk} , враховуючи час пересування за маршрутом руху;

$$\max_{\{S_{pk}\}} \left[\sum_{i \in S_{pk}} \max_{1 \leq m \leq M_1} \left(\frac{1}{b_{pm}} \sum_{j \in J_m} r_{ij} t_{pj} \right) + \frac{1}{V_p} I(S_{pk}) \right]$$

визначає загальний час метрологічного обслуговування ЗТВВП військових частин (підрозділів) усіма ВМГ.

Співвідношення (2) означає, що військова частина (підрозділ) підлягає метрологічному обслуговуванню тільки однією ВМГ.

Співвідношення (3) означає, що метрологічному обслуговуванню підлягають усі військові частини (підрозділи), або їх певна частка.

Співвідношення (4) означає, що будь який тип ЗТВВП підлягає метрологічному обслуговуванню тільки за одним видом.

Співвідношення (5) гарантує метрологічне обслуговування кожного типу ЗТВВП.

Співвідношення (6) є обмеженням на сумарні вартості щодо метрологічного обслуговування ЗТВВП військових частин (підрозділів) та витрати на пересування.

Співвідношення (7) визначає обмеження на загальний обсяг метрологічного обслуговування ЗТВВП військових частин (підрозділів) в часі усіма ВМГ.

Для розв'язання математичної задачі (1) – (7) розглянемо її в якості трьох етапної задачі оптимізації.

На першому етапі пропонується вирішувати задачу пошуку максимальної кількості військових частин (підрозділів) та їх складу, метрологічне обслуговування зразків озброєння та воєнної техніки яких необхідно провести в повному обсязі у відповідності із замовленнями, враховуючи обмеження на сумарну вартість метрологічне обслуговування зразків озброєння та воєнної техніки й витрат часу за наступною математичною моделлю:

$$|N_1| \rightarrow \max; \quad (8)$$

$$N_1 = \{i_1, i_2, \dots, i_n\} \subseteq \{1, 2, \dots, I\}; \quad (9)$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^{a_p} c_{pk} \sum_{i \in Q_{pk}} \sum_{m=1}^{M_1} \left(\frac{1}{b_{pm}} \sum_{j \in J_m} r_{ij} t_{pj} \right) \leq C; \quad (10)$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^{a_p} \sum_{i \in Q_{pk}} \sum_{m=1}^{M_1} \left(\frac{1}{b_{pm}} \sum_{j \in J_m} r_{ij} t_{pj} \right) \leq T_0; \quad (11)$$

$$\bigcup_{p=1}^P \bigcup_{k=1}^{a_p} Q_{pk} = N_1; \quad (12)$$

$$Q_{p_1 k_1} \cap Q_{p_2 k_2} = \emptyset; \quad p_1 \neq p_2 \vee k_1 \neq k_2, \quad (13)$$

де N_1 – множина місць дислокації військових частин (підрозділів) у регіоні, для яких здійснюється метрологічне обслуговування ЗТВВП у повному обсязі у відповідності із замовленням, причому $N_1 \subseteq M$;

$|N_1|$ – кількість військових частин (підрозділів) у регіоні, для яких здійснюється метрологічне обслуговування ЗТВВП;

$Q_{pk}; p = \overline{1, P}; k = \overline{1, a_p}$ – множина місць дислокації військових частин (підрозділів) у регіоні, що підлягають метрологічному обслуговуванню ЗТВВП k -ю ВМГ p -го типу;

співвідношення (9) означає, що метрологічному обслуговуванню підлягає частина, або усі військові частини (підрозділи);

співвідношення (10) обмежує сумарні вартісні витрати щодо метрологічного обслуговування ЗТВВП військових частин (підрозділів) без урахування транспортних витрат та якими можна нехтувати, так як вони складають малий відсоток від витрат на метрологічного обслуговування ЗТВВП;

співвідношення (11) обмежує сумарні часові витрати щодо метрологічного обслуговування ЗТВВП військових частин (підрозділів);

Співвідношення (12) означає, що метрологічному обслуговуванню ЗТВВП підлягає кожна військова частина (підрозділ) із множини N_1 ;

Співвідношення (13) означає, що кожна військових частин (підрозділів) із множини N_1 підлягає метрологічному обслуговуванню ЗТВВП тільки однією ВМГ.

Розв'язання задачі (8) – (13) надає можливість визначення максимальної кількості $|N_1^*|$ та склад N_1^* військових частин (підрозділів), які підлягають метрологічному обслуговуванню ЗТВВП у повному обсязі, хоча не визначає оптимальний розподіл різнотипних ВМГ.

Тому на другому етапі вирішується задача оптимального розподілу різнотипних ВМГ за критерієм мінімуму часу метрологічного обслуговування зразків озброєння та військової техніки відповідно до розподілу номерів обслуги за видами вимірювань згідно наступної математичної моделі:

$$T_{mo} = \max_{\{S_{pk}\}} \left[\sum_{i \in S_{pk}} \max_{1 \leq m \leq M_1} \left(\frac{1}{b_{pm}} \sum_{j \in J_m} r_{ij} t_{pj} \right) \right] \rightarrow \min; \quad (14)$$

$$\bigcup_{p=1}^P \bigcup_{k=1}^{a_p} Q_{pk} = N_1^*;$$

$$Q_{p_1 k_1} \cap Q_{p_2 k_2} = \emptyset; \quad p_1 \neq p_2 \vee k_1 \neq k_2.$$

Нехай $T_{mo}^*; Q_{pk}^*; p = \overline{1, P}; k = \overline{1, a_p} \in$ результатом вирішення задачі (14). В цьому випадку на третьому етапі для кожної ВМГ й відповідної множини Q_{pk}^* місць дислокації військових частин (підрозділів) вирішується задача пошуку найкоротшого замкнутого шляху s_{pk} (задачі комівояжера), який починається та закінчується в першому вузлі й проходить скрізь усі вузли множини Q_{pk}^* тільки один раз:

$$l(S_{pk}) = l_{1, i_{1k}}^{(p)} + \tau_{i_{1k}, i_{2k}}^{(p)} + \dots + \tau_{i_{n_{pk}}, 1}^{(p)} \rightarrow \min;$$

$$S_{pk} = [1, i_{1k}, i_{2k}, \dots, i_{n_{pk}}, 1] \in L(Q_{pk}^*); \quad (15)$$

$$p = \overline{1, P}; \quad k = \overline{1, a_p},$$

де $L(Q_{pk}^*)$ – множина усіх гамільтонових контурів для вузлів із множини Q_{pk}^* , що починаються та закінчуються в вузлі 1 й проходять скрізь усі вузли дислокації військових частин (підрозділів) тільки один раз.

Розглянемо метод вирішення задачі (8) – (13). Перш за все введемо набір змінних y_{pki} , де $y_{pki} = 1$, якщо k -та ВМГ p -го типу призначається для проведення метрологічного обслуговування зразків озброєння та військової техніки стосовно i -ї військової частини (підрозділу), та $y_{pki} = 0$, якщо k -та ВМГ p -го типу не призначається для проведення метрологічного обслуговування зразків озброєння та військової техніки стосовно i -ї військової частини (підрозділу). Це надає змогу звести задачу (8) – (13) до задачі математичного програмування.

В цьому випадку сумарна кількість військових частин (підрозділів), що підлягають метрологічному обслуговуванню ЗВТВП (8) дорівнює:

$$|N_1| = \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^{a_p} \sum_{i=1}^I y_{pki},$$

обмеження на сумарні витрати (10) приймає вид:

$$\sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^{a_p} \sum_{i=1}^I c_{pi} y_{pki} \sum_{j \in J_0} r_{ij} t_{pj} \leq C,$$

обмеження на часові обсяги (11) змінюються на

$$\sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^{a_p} \sum_{i=1}^I y_{pki} \sum_{j \in J_0} r_{ij} t_{pj} \leq T_0,$$

а обмеження (12), (13) приймають наступний вигляд:

$$\sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^{a_p} y_{pki} \leq 1, \quad i = \overline{1, I};$$

$$y_{pki} \in \{0, 1\}; \quad p = \overline{1, P}; k = \overline{1, a_p}.$$

Таким чином задача (8) – (13) приймає наступний вигляд:

$$|N_1| = \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^{a_p} \sum_{i=1}^I y_{pki} \rightarrow \min;$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^{a_p} \sum_{i=1}^I c_{pi} y_{pki} \sum_{j \in J_0} r_{ij} t_{pj} \leq C;$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^{a_p} \sum_{i=1}^I y_{pki} \sum_{j \in J_0} r_{ij} t_{pj} \leq T_0; \quad (16)$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^{a_p} y_{pki} \leq 1, \quad i = \overline{1, I};$$

$$y_{pki} \in \{0, 1\}; \quad p = \overline{1, P}; k = \overline{1, a_p}.$$

Оскільки оптимальне рішення задачі (16) має вигляд: $\{y_{pki}^*\}$, $p = \overline{1, P}; k = \overline{1, a_p}; i = \overline{1, I}$, та в зв'язку з тим, що границі змінення параметру k не залежать від значень параметру p , його вигляд має вид послідовності двохмірних матриць:

$$Y^* = \left\{ \|y_{1ki}^*\|_{a_1, 1}, \|y_{2ki}^*\|_{a_2, 1}, \|y_{pki}^*\|_{a_p, 1} \right\} - \text{оптимальний розподіл різнотипних ВМГ по військовим частинам (підрозділам) у регіоні за критерієм максимуму їх кількості};$$

N_1^* – множина місць дислокації військових частин (підрозділів), які підлягають метрологічному обслуговуванню ЗВТВП за планом Y^* ;

$$C_{mo}^* = \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^{a_p} \sum_{i=1}^I c_{pi} y_{pki}^* \sum_{j \in J_0} r_{ij} t_{pj} - \text{сумарна варіантність метрологічного обслуговування ЗВТВП військовими частинами (підрозділами) у регіоні за планом } Y^*;$$

T_{mo}^* – сумарний час метрологічного обслуговування зразків озброєння та військової техніки у регіоні за планом Y^* ;

ськових частин (підрозділів), що підлягають метрологічному обслуговуванню ЗВТВП за планом Y^* ;

$$T_0^* = \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^{Q_p} \sum_{i=1}^I y_{pki}^* \sum_{j \in J_0} r_{ij} t_{pj} - \text{сумарний обсяг}$$

часу метрологічного обслуговування ЗВТВП військових частин (підрозділів), що підлягають метрологічному обслуговуванню ЗВТВП за планом Y^* .

Після визначення оптимальної кількості та складу військових частин (підрозділів), які підлягають метрологічному обслуговуванню ЗВТВП у повному обсязі, можливо знайти оптимальний розподіл різнотипних ВМГ за критерієм мінімуму часу метрологічного обслуговування ЗВТВП військових частин (підрозділів) даного складу шляхом перетворення задачі (14) до задачі ціле чисельного математичного програмування:

$$T_{\text{мо}} = \max_{\substack{1 \leq p \leq P \\ 1 \leq k \leq Q_p}} \left\{ \sum_{i \in N_1^*} \left[x_{pki} \max_{1 \leq m \leq M_1} \left(\frac{1}{b_{pm}} \sum_{j \in J_m} r_{ij} t_{pj} \right) \right] \right\} \rightarrow \min;$$

$$\bigcup_{p=1}^P \bigcup_{k=1}^{a_p} x_{pki} = 1; \quad i \in N_1^*;$$

$$x_{pki} \in \{0, 1\}, \quad p = \overline{1, P};$$

$$k = \overline{1, a_p}; \quad i = \overline{1, I},$$

яка перетворюється у свою чергу у лінійну задачу цілочисельного програмування:

$$T_{\text{мо}} \rightarrow \min;$$

$$\sum_{i \in N_1^*} \left[x_{pki} \max_{1 \leq m \leq M_1} \left(\frac{1}{b_{pm}} \sum_{j \in J_m} r_{ij} t_{pj} \right) \right] \leq T_{\text{мо}};$$

$$p = \overline{1, P}; \quad k = \overline{1, a_p}; \quad (17)$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^{a_p} x_{pki} = 1, \quad i \in N_1^*;$$

$$x_{pki} \in \{0, 1\}, \quad p = \overline{1, P};$$

$$k = \overline{1, a_p}; \quad i = \overline{1, I},$$

де $x_{pki} = 1$, якщо k -та ВМГ p -го типу здійснює метрологічне обслуговування ЗВТВП i -ї військової частини (підрозділу), та $x_{pki} = 0$, якщо k -та ВМГ p -го типу не здійснює метрологічне обслуговування ЗВТВП i -ї військової частини (підрозділу).

Оптимальне рішення задачі (17) має наступний вигляд:

$$X^* = \left\{ \|x_{1ki}^*\|_{a_1, 1}, \|x_{2ki}^*\|_{a_2, 1}, \dots, \|x_{pki}^*\|_{a_p, 1} \right\} - \text{оптимальний розподіл різнотипних ВМГ для множини } N_1^* \text{ військових частин (підрозділів) у регіоні за критерієм мінімуму часу метрологічного обслуговування ЗВТВП};$$

$T_{\text{мо}}^*$ – мінімальний час метрологічного обслуговування ЗВТВП для множини місць дислокації N_1^* військових частин (підрозділів) у регіоні;

$$T_{pk}^* = \sum_{i \in N_1^*} \left[x_{pki} \max_{1 \leq m \leq M_1} \left(\frac{1}{b_{pm}} \sum_{j \in J_m} r_{ij} t_{pj} \right) \right];$$

$$p = \overline{1, P}; \quad k = \overline{1, a_p} - \text{час метрологічного обслуговування ЗВТВП відповідних } (Q_{pk}^*) \text{ військових частин (підрозділів) } k\text{-ю ВМГ } p\text{-го типу};$$

$$Q_{pk}^* = \left\{ i_1^{(pk)}, i_2^{(pk)}, \dots, i_{n_{pk}}^{(pk)} \right\};$$

$p = \overline{1, P}; \quad k = \overline{1, a_p} - \text{множина місць дислокації військових частин (підрозділів), які здійснюють метрологічного обслуговування ЗВТВП військових частин (підрозділів) } k\text{-ю ВМГ } p\text{-го типу за планом } X^* \text{ де}$

$$x_{pki}^* = x_{pki}^* = \dots = x_{pki}^* = 1.$$

На третьому етапі вирішення задачі комівояжера стосовно відповідних множин Q_{pk}^* ; $p = \overline{1, P}; \quad k = \overline{1, a_p}$ та підматриці матриці відстаней $\|l_{i,q}\|_{L,I}$ здійснюється за методом гілок та границь.

Оптимальне рішення задачі (15) при цьому має наступний вигляд:

$$S_{pk}^*; \quad p = \overline{1, P}; \quad k = \overline{1, a_p} - \text{оптимальний гамільто-вий контур (маршрут пересування) щодо } k\text{-ї ВМГ } p\text{-го типу};$$

$l_{pk}^* = 1(S_{pk}^*); \quad p = \overline{1, P}; \quad k = \overline{1, a_p} - \text{мінімальна довжина маршруту пересування } k\text{-ї ВМГ } p\text{-го типу};$

$$\frac{1}{V_1} l_{pk}^*; \quad p = \overline{1, P}; \quad k = \overline{1, a_p} - \text{мінімальний час пересування } k\text{-ї ВМГ } p\text{-го типу за маршрутом } S_{pk}^*;$$

$c_{p0} l_{pk}^*; \quad p = \overline{1, P}; \quad k = \overline{1, a_p} - \text{мінімальна вартість транспортних витрат } k\text{-ї ВМГ } p\text{-го типу.}$

Таким чином, вирішення задачі (1) – (7) як трьохетапної задачі (15) – (17), дає змогу знайти:

$N_1^* \subseteq M$ – множини місць дислокації військових частин (підрозділів) у регіоні, що підлягають метрологічному обслуговуванню ЗТВВП, враховуючи обмеження на сумарну вартість та обсяг робіт;

$$X^* = \left\{ \|X_{1ki}^*\|_{a_1, I}, \|X_{2ki}^*\|_{a_2, I}, \dots, \|X_{pki}^*\|_{a_p, I} \right\} - \text{оптимальний розподіл різнотипних ВМГ для множини місць дислокації } N_1^* \text{ військових частин (підрозділів) у регіоні за критерієм мінімуму часу метрологічного обслуговування ЗТВВП;}$$

s_{pk}^* ; $p = \overline{1, P}$; $k = \overline{1, a_p}$ – оптимальний замкнений маршрут пересування k -ї ВМГ p -го типу стосовно визначеного оптимального розподілу X^* ;

$$T_3^* = \max_{\substack{1 \leq p \leq P \\ 1 \leq k \leq a_p}} \left\{ T_{pk}^* + \frac{1}{V} I_{pk}^* \right\} - \text{оптимальний загальний час метрологічного обслуговування ЗТВВП відповідних військових частин (підрозділів) у регіоні за планом } X^* ;$$

$C_3^* = C_{mo}^* + c_{p0} \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^{a_p} I_{pk}^*$ – загальні вартісні витрати, якій складається з витрати на метрологічне обслуговування ЗТВВП відповідних військових частин (підрозділів) у регіоні й витрат на пересування різнотипних ВМГ відповідно оптимального плану розподілу X^* й оптимальних маршрутів пересування $\{s_{pk}^*\}$; $p = \overline{1, P}$; $k = \overline{1, a_p}$.

У цьому випадку, перш за все, пропонується прорахувати отримані перебільшення коштів та (або) часу, тобто

$$\Delta_1 = C_3^* - C$$

та (або)

$$\Delta_1 = T_{oz} - T_0$$

і здійснити вирішення трьохетапної задачі (15) – (17), у якій замість обмеження

$$\sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^{a_p} \sum_{i=1}^I c_{pi} y_{pki} \sum_{j \in J_0} r_{ij} t_{pj} \leq C$$

та (або) замість обмеження

$$\sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^{a_p} \sum_{i=1}^I y_{pki} \sum_{j \in J_0} r_{ij} t_{pj} \leq T_0$$

в (16) необхідно розглядати наступне обмеження

$$\sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^{a_p} \sum_{i=1}^I c_{pi} y_{pki} \sum_{j \in J_0} r_{ij} t_{pj} \leq C - \Delta_1$$

та (або) обмеження

$$\sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^{a_p} \sum_{i=1}^I y_{pki} \sum_{j \in J_0} r_{ij} t_{pj} \leq T_0 - \Delta_2$$

Цю процедуру необхідно виконувати до виконання нерівності $C_3^* \leq C$ та (або) нерівності $T_{oz} \leq T_0$.

Теоретично для цього рішення X^{**} й відповідних $\{Q_{pk}^{**}\}$; $p = \overline{1, P}$; $k = \overline{1, a_p}$ можуть бути інші оптимальні маршрути $\{s_{pk}^{**}\}$ стосовно задачі (15) такі, що

$$T_3^{**} = \max_{\substack{1 \leq p \leq P \\ 1 \leq k \leq a_p}} \left\{ T_{pk}^{**} + \frac{1}{V} I_{pk}^{**} \right\} < T_3^*$$

Зауваження 2. Не виключено, що за результатом вирішення трьохетапної задачі (15) – (17),

отримає випадок, коли вартісні та часові витрати на метрологічного обслуговування ЗТВВП відповідних військових частин (підрозділів) допустимі, тобто

$$C_{mo}^* = \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^{a_p} \sum_{i=1}^I c_{pi} y_{pki} \sum_{j \in J_0} r_{ij} t_{pj} \leq C ;$$

$$T_0^* = \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^{a_p} \sum_{i=1}^I y_{pki} \sum_{j \in J_0} r_{ij} t_{pj} \leq T_0 ,$$

а загальні витрати та (або) витрати не допустимі,

$$C_3^* = C_{mo}^* + c_{p0} \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^{a_p} I_{pk}^* > C$$

та (або)

$$T_{oz} = T_0^* + \frac{1}{V} \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^{a_p} I_{pk}^* < T_0 .$$

У цьому випадку, перш за все, пропонується прорахувати отримані перебільшення коштів та (або) часу, тобто

$$\Delta_1 = C_3^* - C$$

та (або)

$$\Delta_1 = T_{oz} - T_0 ,$$

і здійснити вирішення трьохетапної задачі (15) – (17), у якій замість обмеження

$$\sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^{a_p} \sum_{i=1}^I c_{pi} y_{pki} \sum_{j \in J_0} r_{ij} t_{pj} \leq C$$

та (або) замість обмеження

$$\sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^{a_p} \sum_{i=1}^I y_{pki} \sum_{j \in J_0} r_{ij} t_{pj} \leq T_0$$

в (16) необхідно розглядати наступне обмеження

$$\sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^{a_p} \sum_{i=1}^I c_{pi} y_{pki} \sum_{j \in J_0} r_{ij} t_{pj} \leq C - \Delta_1$$

та (або) обмеження

$$\sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^{a_p} \sum_{i=1}^I y_{pki} \sum_{j \in J_0} r_{ij} t_{pj} \leq T_0 - \Delta_2 .$$

Цю процедуру необхідно виконувати до виконання нерівності $C_3^* \leq C$ та (або) нерівності $T_{oz} \leq T_0$.

Висновки

1. В статті запропоновано метод визначення оптимального плану розподілу різнотипних ВМГ й відповідних оптимальних маршрутів руху за критерієм мінімуму загального часу метрологічного обслуговування зразків ОВТ в умовах обмеження на вартісні та часові витрати згідно розподілу номерів обслуги за видами вимірювання.

2. Метод засновано на розв'язанні трьохетапної задачі оптимізації.

На першому етапі вирішується задача пошуку максимальної кількості військових частин (підрозділів) та їх множина, метрологічне обслуговування ЗВТВП яких необхідно провести у повному обсязі у відповідності із замовленням, враховуючи обмеження на сумарну вартість метрологічного обслуговування ЗВТВП й витрати часу.

На другому етапі вирішується задача оптимального розподілу різнотипних ВМГ за критерієм мінімуму часу метрологічного обслуговування зразків ОВТ згідно розподілу номерів обслуги за видами вимірювань.

На третьому етапі для кожної ВМГ й відповідній множини місць дислокації військових частин (підрозділів), що підлягають метрологічному обслуговуванню даною ВМГ, вирішується задача пошуку найкоротшого замкнутого маршруту пересування, якій починається та закінчується в першому місці дислокації ВМГ й проходить скрізь відповідні місця дислокації військових частин (підрозділів) тільки один раз.

3. Запропонований метод визначення оптимального плану розподілу й маршрутів руху різнотипних виїзних метрологічних груп за критерієм мінімуму загального часу метрологічного обслуговування зразків озброєння та військової техніки

дозволяє командирі (головному інженеру) метрологічної частини (підрозділу) розробити план метрологічного обслуговування зразків озброєння та військової техніки в регіоні.

Список літератури

1. Наказ заступника Міністра оборони з озброєння – начальника Озброєння ЗС України “Про затвердження Керівництва з організації та порядку експлуатації виміральної 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 обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2014. – Вип. 3(119). – 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.: ХУ ПС, 2014. – Вип. 4(40). – С. 35-41.

Надійшла до редколегії 15.04.2015

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

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПЛАНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И МАРШРУТОВ ДВИЖЕНИЯ РАЗНОТИПНЫХ ВЫЕЗДНЫХ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ГРУПП

Ю.И. Шевяков

В статье предложен метод определения оптимальных планов распределения и маршрутов движения разнотипных передвижных лабораторий измерительной техники выездных метрологических групп за критерием минимума общего времени метрологического обслуживания образцов вооружения и военной техники.

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

METHOD OF DETERMINATION OF OPTIMUM PLANS OF DISTRIBUTING AND ROUTES OF MOTION OF RAZNOTIPNYKH DEPARTURE METROLOGICAL GROUPS

Yu.I. Shevyakov

In the article the method of determination of optimum plans of distributing and routes of motion of polytypic movable laboratories of measuring technique of departure metrological groups is offered after the criterion of a minimum of general time of metrological maintenance of standards of armament and military technique.

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