

УДК 519.87:316.458.6

Д.А. Філістєєв

Центральне управління метрології і стандартизації Збройних Сил України  
 озброєння Збройних Сил України, Київ

## ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПЛАНУВАННЯ РОБОТИ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ВІЇЗНИХ МЕТРОЛОГІЧНИХ ГРУП

В статті запропонована імітаційна модель планування роботи спеціалізованих виїзних метрологічних груп, результатом якої є множина гамільтонових контурів пересування кожної ВМГ по місцям дислокації частин (підрозділів), що потребують метрологічного обслуговування, для якої загальний час метрологічного обслуговування є найменшим стосовно заданої кількості прогонів.

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

### Вступ

**Постановка задачі.** При вирішенні практичних завдань метрологічного забезпечення частин та підрозділів ЗС України виникає питання: чи можливо використовувати результати математичного моделювання [5] - [8], та чи варто це робити. Тобто чи можливо використовувати запропоновані моделі для вирішення практичних завдань метрологічного забезпечення зразків озброєння та військової техніки. Фактично розв'язання цього питання дає відповідь на те, чи можливо використовувати запропоновані моделі та методи розв'язання визначених задач для планування роботи військових метрологічних груп (ВМГ), а саме з'ясування питання щодо достовірності отриманих результатів. Відповідь на це питання знаходиться шляхом проведення імітаційного моделювання, що потребує планування розподілу ВМГ й відповідних маршрутів їх руху з урахуванням вищезгаданих вимог, а саме є актуальним науково-технічним завданням.

**Аналіз літератури.** В наказах [1, 2] визначається організації та порядку експлуатації вимірювальної техніки у ЗС України, а також виробничої діяльності військових метрологічних лабораторій в Міністерстві оборони України та Збройних Силах України. Порядок застосування ПЛВТ у складі ВМГ викладено в [3, 4]. Математична модель й задачі визначення оптимального плану розподілу, оптимальних маршрутів та метод руху ВМГ за критерієм мінімуму загального часу метрологічного обслуговування запропоновано в, статті [5], в статті [5] розглядається випадок, коли виділених сумарних вартісних коштів достатньо для метрологічного обслуговування ЗВТВП кожної військової частини (підрозділу). Метод визначення оптимального плану розподілу й відповідних маршрутів руху ВМГ в умовах обмеження витрат на метрологічне обслуговування викладено в статті [7]. Узагальнена матема-

тична модель визначення оптимальних плану розподілу й маршрутів руху ВМГ надана в [8]. Разом з тим в цих роботах не з'ясовується достовірність отриманих результатів

**Метою статті є** з'ясування достовірності математичної моделі оптимального розподілу спеціалізованих ВМГ й відповідних маршрутів їх руху.

### Основний матеріал

Перш за все розглянемо математичну модель оптимального розподілу спеціалізованих ВМГ й відповідних маршрутів їх руху

$$\begin{aligned}
 T_{\text{МОП}} &= \\
 &= \max_{1 \leq k \leq K} \left( \frac{1}{b} \sum_{i \in S_k} \sum_{j \in J_{\text{од}}} r_{ij} t_j + \frac{1}{V} l(P_k) \right) \rightarrow \min_{\{S_k\}, \{P_k\}}; \\
 S_{k_1} \cap S_{k_2} &= \emptyset; \quad k_1 \neq k_2; \quad \bigcup_{k=1}^K S_k = M; \quad (1) \\
 \sum_{k=1}^K \left[ c_0 l(P_k) + \frac{c_1}{b} \sum_{i \in S_k} \sum_{j \in J_{\text{од}}} r_{ij} t_j \right] &\leq C; \\
 \frac{1}{b} \sum_{k=1}^K \sum_{i \in S_k} \sum_{j \in J_{\text{од}}} r_{ij} t_j &\leq T,
 \end{aligned}$$

де  $M = \{1, 2, \dots, I\}$  – множина вузлів, що відповідають місцям дислокації ВМГ та військових частин (підрозділів), де вузол за номером  $i$  відповідає місцю дислокації ВМГ та одному із підрозділів;  $J_{\text{од}}$  – множина типів виду ЗВТВП, що розглядається;  $r_{ij}$ ;  $i = \overline{1, I}$ ;  $j \in J_{\text{од}}$  – 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  $r_{ij} = 0$ );  $t_j$ ;  $j \in J_{\text{од}}$  – усереднена норма часу на метроло-

гічне 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.

Для побудови імітаційної моделі застосуємо наступні параметри:

$$S_k; P_k; W_k = [1, i_{1k}, i_{2k}, \dots, i_{n_k k}, 1] - \text{про-}$$

міжний замкнений маршрут;  $T_{\Delta}$  – мінімальний час на метрологічне обслуговування спеціалізованими ВМГ та на їх пересування (спочатку велике позитивне число);  $\Psi$  – випадкова величина, яка має рівномірний закон розподілу на інтервалі  $(0,1)$ ; ДВЧ ( $\Psi$ ) – датчик випадкових чисел, що відповідає рівномірному закону розподілу на інтервалі  $(0, 1)$ ;  $Q$  – кількість циклів прогонів випадкових реалізацій щодо визначення мінімального часу метрологічного обслуговування  $T_{\Delta}$ ;  $T_{\text{МОП}}^*$  – мінімальний час на метрологічне обслуговування ЗВТВП даного виду для військових частин (підрозділів) спеціалізованими ВМГ та для їх пересування у регіоні за моделлю (1).

В імітаційної моделі пропонується здійснювати пошук та порівняння різних варіантів замкнених маршрутів пересування для кожної ВМГ, що починаються й закінчуються в місці дислокації ВМГ та проходить скрізь місця дислокації відповідних частин (підрозділів), що потребують метрологічного обслуговування тільки по одному разу (гамільтонові контури). В якості результату імітаційного моделювання обирається множина гамільтонових контурів пересування кожної ВМГ по місцям дислокації частин (підрозділів), що потребують метрологічного обслуговування, для якої загальний час метрологіч-

ного обслуговування є найменшим стосовно заданої кількості прогонів (випадкових реалізацій).

Запропонована імітаційна модель складається з трьох основних етапів: випадковий вибір замкнених маршрутів для метрологічного обслуговування військових частин (підрозділів) (етап 1); обчислення цільової функції, порівняння її значень та перевірка обмежень задачі (етап 2); порівняння результатів імітаційного дослідження із рішенням задачі (1) (етап 3).

Розглянемо ці етапи докладніше.

**Еман 1.** Припустимо, що вибір будь якої військової частини (підрозділу) здійснюється рівномірно із співвідношення:

$$p = \frac{1}{I}. \tag{2}$$

Для цього поділимо інтервал  $(0, 1)$  на  $I$  відрізків, довжини яких дорівнюють  $p$  (рис. 1).

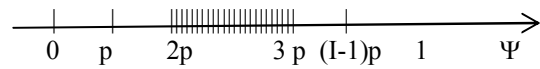


Рис. 1. З'ясування особливостей моделювання дискретної випадкової величини

Розподіл випадкової величини (ВВ)  $X$ , значення якої відповідає вибору  $i$ -ої військової частини (підрозділу), подано у табл. 1.

Таблиця 1  
Ряд розподілу ВВ  $X$

$x_i$	1	2	3	...	$I$
$p_i$	$p$	$p$	$p$	...	$p$

Якщо випадкове число  $\Psi$ , яке формується ДВЧ, що відповідає рівномірному закону розподілу на інтервалі  $(0,1)$ , потрапляє до інтервалу  $((i-1)p, ip)$ , то випадкова величина  $X$  набуває значення  $X_i$ , де ймовірність потрапляння випадкової величини  $\Psi$  в цей інтервал дорівнює:

$$P((i-1)p < \Psi < ip) = \int_{(i-1)p}^{ip} d\psi = p. \tag{3}$$

Закінчується етап 1 визначенням множини військових частин (підрозділів)  $\{S_k\}$  та множині відповідних замкнених маршрутів  $\{W_k\}$  для метрологічного обслуговування ВМГ.

**Еман 2.** На цьому етапі здійснюється обчислення цільової функції за формулою

$$T = \max_{1 \leq k \leq K} \left( \frac{1}{b} \sum_{i \in S_k} \sum_{j \in J_{od}} r_{ij} t_j + \frac{1}{V} l(P_k) \right) \tag{4}$$

для порівняння із значенням її на попередній ітерації та вибору найменшого з визначених й обчислен-

ня загальних вартісних витрат на метрологічне обслуговування ЗВТВП та пересування ВМГ:

$$C_{\text{зар}} = \sum_{k=1}^K \left[ c_0 l(W_k) + \frac{c_1}{b} \sum_{i \in S_k} \sum_{j \in J_{\text{од}}} r_{ij} t_j \right]. \quad (5)$$

Таким чином, здійснюється перевірка визначених замкнених маршрутів  $\{W_k\}$  на допустимість.

Якщо множина замкнених маршрутів не задовольняє обмеженню на виділені кошти, то випадковий пошук їх відновлюється.

**Етап 3.** Здійснюється порівняння результату імітаційного моделювання із рішенням задачі (1): якщо за  $Q$  випробувань

$$T_{\text{МОП}}^* \leq T_{\Delta} \quad \text{або} \quad |T_{\text{МОП}}^* - T_{\Delta}| < \varepsilon,$$

то немає підстав вважати модель (1) не достовірною.

У протилежному випадку, якщо

$$T_{\text{МОП}}^* > T_{\Delta}$$

то модель (1) не є достовірною.

Для реалізації запропонованих етапів розв'язання завдання щодо з'ясування можливості використання розроблених моделей будемо використовувати таку процедуру.

#### Процедура 1.

**Крок 1.** Введення вхідних параметрів:

$$K; I; \|l_{\cdot}\|_{I,I}; m := I; T_{\Delta}; c_0; c_1; b$$

$$t_j, j \in J_{\text{од}}; q := I; Q; \left\| r_{ij} \right\|_{I, |J_{\text{од}}|}; T_{\text{МОП}}^*$$

$$P_k := \emptyset; S_k := \emptyset; W_k := \emptyset; k = \overline{1, K}.$$

**Крок 2.** Розглядається перша ВМГ:  $k := 1$ .

**Крок 3.** Розглядається кандидат на метрологічне обслуговування - військова частина (підрозділ) за номером  $I$ :  $i := 1$ .

**Крок 4.** Визначення значення випадкової величини  $\Psi$  за ДВЧ ( $\Psi$ ).

**Крок 5.** Визначення інтервалу потрапляння випадкової величини  $\Psi$  - вибору військової частини (підрозділу): якщо  $\Psi < \frac{i}{m}$ , то здійснюється перехід до кроку 7.

**Крок 6.** Розгляд чергового кандидата на метрологічне обслуговування:  $i := i + 1$ .

Перехід до кроку 5.

**Крок 7.** Перевірка попадання  $i$ -ої військової частини (підрозділу) на метрологічне обслуговування на попередніх етапах процедури: якщо  $i \in \bigcup_{k=1}^K S_k$ ,

то здійснюється перехід до кроку 8, в протилежному випадку здійснюється перехід до кроку 11.

**Крок 8.** Здійснюється перевірка: чи розглянуті всі ВМГ: якщо  $k < K$ , то перехід до кроку 10.

**Крок 9.** Перехід до початкової ВМГ:  $k := 1$ ; перехід до кроку 3.

**Крок 10.** Перехід до наступної ВМГ:  $k := k + 1$ ; перехід до кроку 3.

**Крок 11.** Включення  $i$ -ої військової частини до метрологічного обслуговування  $k$ -ою ВМГ:  $i \in S_k$ .

**Крок 12.** Здійснюється перевірка: чи розглянуті всі ВМГ: якщо  $k < K$ , то перехід до кроку 14.

**Крок 13.** Перехід до початкової ВМГ:  $k := 1$ ; перехід до кроку 15.

**Крок 14.** Перехід до наступної ВМГ:  $k := k + 1$ .

**Крок 15.** Визначення кількості військових частин (підрозділів), які ще не призначені до метрологічного обслуговування:  $I := I - 1$ .

**Крок 16.** Здійснення перевірки - залишилися чи ні кандидати для проведення метрологічного обслуговування серед військових частин (підрозділів): якщо  $I > 0$ , то перехід до кроку 3.

**Крок 17.** Формування множини маршрутів  $\{W_k\}$  на основі визначених  $\{S_k\}$

$$W_k = \left[ 1, i_{1k}, i_{2k}, \dots, i_{n_k k}, 1 \right]; k = \overline{1, K}.$$

**Крок 18.** Визначення довжини маршруту для кожної ВМГ:

$$l(W_k) = \sum_{(i,n) \in W_k} l_{in}; k = \overline{1, K}.$$

**Крок 19.** Визначення загальних вартісних витрат на метрологічне обслуговування ЗВТВП та пересування ВМГ:

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

**Крок 20.** Перевірка на достатність виділених коштів: якщо  $C_{\text{зар}} > C$ , то перехід до кроку 2.

**Крок 21.** Визначення часу на метрологічне обслуговування спеціалізованими ВМГ та на їх пересування у регіоні:

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

**Крок 22.** Перевірка значень цільової функції щодо даної та попередньої випадкових реалізацій процедури: якщо  $T_{\Delta} \leq T$ , то перехід до кроку 24.

**Крок 23.** Підготовка до наступної ітерації:

$$T_{\Delta} := T; S_k := \emptyset;$$

$$P_k := W_k; k = \overline{1, K}.$$

**Крок 24.** Перевірка на кількість проведених реалізацій процедури: якщо виконується умова  $q > Q$ , то перехід на крок 26.

**Крок 25.** Підготовка до наступної ітерації:  $q:=q+1$ ; перехід до кроку 2.

**Крок 26.** Перевірка достовірності моделі (1): якщо  $T_{\text{МОП}}^* \leq T_{\Delta}$  або  $|T_{\text{МОП}}^* - T_{\Delta}| < \varepsilon$ , то перехід до кроку 28.

**Крок 27.** Модель (1) не є достовірною.

**Крок 28.** Немає підстав вважати модель (1) не достовірною.

## Висновки

1. В статті запропонована імітаційна модель в якій здійснюється пошук та порівняння різних варіантів замкнених маршрутів пересування для кожної ВМГ, що починаються й закінчуються в місці дислокації ВМГ та проходить скрізь місця дислокації відповідних частин (підрозділів), що потребують метрологічного обслуговування тільки по одному разу (гамільтонові контури).

2. Запропонована імітаційна модель що складається з трьох основних етапів: випадковий вибір замкнених маршрутів для метрологічного обслуговування військових частин (підрозділів) (етап 1); обчислення цільової функції, порівняння її значень та перевірка обмежень задачі (етап 2); порівняння результатів імітаційного дослідження із рішенням задачі (1) (етап 3).

3. Результатом імітаційного моделювання є множина гамільтонових контурів пересування кожної ВМГ по місцям дислокації частин (підрозділів), що потребують метрологічного обслуговування, для якої загальний час метрологічного обслуговування є найменшим стосовно заданої кількості прогонів (випадкових реалізацій).

## 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 / 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. Філістеев // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 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. Філістеев, В.В. Бурцева // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 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. Філістеев, 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. Філістеев // 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.

## ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ВЫЕЗДНЫХ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ГРУПП

Д.А. Филистеев

В статье предложена имитационная модель планирования работы специализированных выездных метрологических групп, формирующей множество гамильтоновых контуров передвижения каждой группы по местам дислокации частей (подразделений), которые требуют метрологического обслуживания, причем общее время метрологического обслуживания минимально относительно заданного количества прогонов.

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

## SIMULATION MODEL OF WORK PLANNING OF SPECIALIZED DEPARTURE METROLOGY GROUPS

D.A. Filisteev

The simulation model of planning of work of the specialized departure metrology groups, forming the great number of hamiltonian contours of movement of every group on the places of distribution of parts (subdivisions) which require metrology service is offered in the article, thus general time of metrology service is minimum in relation to the set amount of drivings away.

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