

УДК 519.87:316.458.6

В.Б. Кононов, А.В. Петляк

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПЛАНУВАННЯ РОБОТИ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ВІЇЗНИХ МЕТРОЛОГІЧНИХ ГРУП РЕГІОНАЛЬНИХ МЕТРОЛОГІЧНИХ ЧАСТИН

В статті розглядається імітаційна модель планування роботи спеціалізованих виїзних метрологічних груп регіональних метрологічних частин з урахуванням досвіду проведення антитерористичної операції.

Ключові слова: метрологічне забезпечення, озброєння та військова техніка, метрологічне обслуговування, антитерористична операція.

Вступ

Постановка задачі. Якісне планування метрологічного забезпечення бойових дій та підтриманню у бойовій готовності зразків озброєння та військової техніки в умовах виконання завдань захисту Держави в Антитерористичній операції на Сході України Збройні Сили України не можливе без інформаційне розрахункової системи підтримки рішень щодо планування метрологічного забезпечення зразків озброєння та військової техніки силами виїзних метрологічних ремонтно-відновлювальних груп. Одним із елементів інформаційне розрахункової системи підтримки рішень є математичне моделювання метрологічного забезпечення зразків озброєння силами виїзних метрологічних ремонтно-відновлювальних груп в зоні проведення Антитерористичної операції. При чому необхідно розуміти, що зразки озброєння можуть бути як однорідними так і навпаки. В статті розглядаються математичне моделювання метрологічного забезпечення однорідних зразків озброєння силами спеціалізованих виїзних метрологічних ремонтно-відновлювальних груп.

Аналіз літератури. Принципи й організаційні основи метрологічного забезпечення, а також роль й місце метрологічного забезпечення Збройних Сил України, з урахуванням досвіду проведення антитерористичної операції, викладено в статті [1]. Математична модель визначення оптимального плану й оптимальних маршрутів руху за критерієм мінімуму загального часу розподілу виїзної метрологічної групи метрологічного обслуговування зразків озброєння та військової техніки військ (сил) надана в статті [2]. Метод визначення оптимального плану розподілу й відповідних оптимальних маршрутів руху виїзних метрологічних груп в умовах обмеження витрат на метрологічне обслуговування викладено в статті [3]. Імітаційна модель визначення оптимального плану розподілу й відповідних оптимальних маршрутів руху виїзних метрологічних груп викладена в статті [4]. Математичні моделі га-

рантованого метрологічного обслуговування зразків озброєння та військової техніки розглядаються в статті [5]. Нажаль в статтях [1–5] питання, пов'язані з імітаційним моделі планування роботи спеціалізованих виїзних метрологічних груп регіональних метрологічних частин з урахуванням досвіду проведення антитерористичної операції не розглядалися.

Метою статті є визначення імітаційної моделі планування роботи спеціалізованих виїзних метрологічних груп регіональних метрологічних частин Збройних Сил України з урахуванням досвіду проведення антитерористичної операції.

Виклад основного матеріалу

Як перевірити достовірність запропонованих моделей й методів їх розв'язання [2–4]? Тільки за умови проведення імітаційного моделювання, тобто порівняння отриманих результатів з результатами моделювання, оцінюючи при цьому похибку обчислень. Таким чином можна визначити ефект, який може бути досягнений при впровадженні результатів дослідження. При цьому бажано розуміти, чи варто використовувати запропоновані моделі та методи вирішення завдань метрологічного забезпечення зразків ОБТ? Відповідь на ці питання, будемо шукати проводячи імітаційне моделювання.

Для чого розглянемо математичну модель оптимального розподілу спеціалізованих ВМГ й відповідних маршрутів їх руху з метою з'ясування її достовірності.

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

$$S_{k_1} \cap S_{k_2} = \emptyset; \quad k_1 \neq k_2; \quad (1)$$

$$\bigcup_{k=1}^K S_k = M;$$

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

$$\frac{1}{b} \sum_{k=1}^K \sum_{i \in S_k} \sum_{j \in J_{\text{об}}} r_{ij} t_j \leq T,$$

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 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 -ї 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;

$c_j = c_1 t_j + q_j$, $j \in J_{од}$ – вартість річних витрат на проведення калібрування (перевірки) одиниці ЗВТВП j -го типу, де c_1 – вартість однієї людино-години; q_j – вартість витратних матеріалів на проведення калібрування (перевірки) одиниці ЗВТВП j -го типу;

c_0 – тариф транспортування ВМГ;

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

Враховуючи досвід антитерористичної операції для випадку, якщо виділених сумарних вартісних коштів C достатньо ($\bigcup_{k=1}^K S_k = M$) для метрологічного обслуговування у повному обсязі та для транспортування усіх ВМГ, побудуємо наступну імітаційну модель,

де K – кількість ВМГ у регіоні;

T_k^Φ ; $k = \overline{1, K}$ – фонд часу щодо метрологічного обслуговування військових частин (підрозділів) k -ю ВМГ.

$S_k = [1, i_{1k}, i_{2k}, \dots, i_{n_k}, 1]$, $k = \overline{1, K}$ – замкнений маршрут метрологічного обслуговування ЗВТВП військових (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;

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 -ю та n -ю військовими частинами;

b – кількість номерів обслуги ВМГ за даним видом ЗВТВП;

V – середня швидкість пересування ВМГ;

Для побудови імітаційної моделі застосуємо наступні параметри:

$S_k = [j_{1k}, j_{2k}, \dots, j_{n_k}, 1]$ – множина місць дислокації військових частин (підрозділів), які підлягають метрологічному обслуговуванню k -ю ВМГ;

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

$W_k = [1, i_{1k}, i_{2k}, \dots, i_{n_k}, 1]$ – проміжний замкнений маршрут;

T_Δ – мінімальний час на метрологічне обслуговування спеціалізованими ВМГ та на їх пересування (спочатку велике позитивне число);

Ψ – випадкова величина, яка має рівномірний закон розподілу на інтервалі $(0,1)$;

ДВЧ (Ψ) – 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_Δ ;

$T_{мон}^*$ – мінімальний час на метрологічне обслуговування ЗВТВП даного виду для військових частин (підрозділів) спеціалізованими ВМГ та для їх пересування у визначеному регіоні.

В імітаційній 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 метрологічного 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.

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

$$p = \frac{1}{I} \quad (2)$$

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

Розподіл випадкової величини X, значення якої відповідає вибору i-ї військової частини (підрозділу), надано у табл. 1.

Таблиця 1

Ряд розподілу випадкової величини X

x_i	1	2	3	...	I
P_i	p	p	p	...	p

Якщо випадкове число Ψ , 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 Ψ в цей інтервал дорівнює:

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

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

Етап 2. На цьому етапі здійснюється обчислення цільової функції за формулою

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

для порівняння із значенням її на попередній ітерації та вибору найменшого з визначених й обчислення загальних вартісних витрат на метрологічне обслуговування ЗВТВП та пересування ВМГ:

$$C_{\text{заг}} = \sum_{k=1}^K \left[c_0 l(P_k) + \sum_{i \in S_k} \sum_{j \in J_{i \alpha}} r_{ij} c_j \right] \quad (5)$$

Таким чином, здійснюється перевірка визначених замкнених маршрутів $\{P_k\}$ 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

$$T_{\text{моп}}^* \leq T_{\Delta} \quad (6)$$

або

$$\left| T_{\text{моп}}^* - T_{\Delta} \right| < \varepsilon, \quad (7)$$

то немає підстав вважати модель (1) не достовірною.

У протилежному випадку, якщо

$$T_{\text{моп}}^* > T_{\Delta}, \quad (8)$$

то модель (1) не є достовірною.

Для перевірки достовірності моделі (1) в умовах, коли виділених фінансових та часових ресурсів достатньо, було здійснено порівняння результату рішення ілюстративної задачі із результатами імітаційного моделювання.

Результати порівняння за значеннями цільової функції наведені у табл. 2 і показують незначну розбіжність в 11,2 %, що є підтвердженням достовірності моделі.

Таблиця 2

Результати порівняння рішень за значеннями цільової функції для випадку достатньої кількості фінансових та часових ресурсів

Вид моделі	Значення цільової функції
(1)	2025
Імітаційна модель за процедурою 1	2252
Відносна похибка	11,2%

Висновки

1. В статті розглянута імітаційна модель планування роботи спеціалізованих виїзних метрологічних груп регіональних метрологічних частин з урахуванням досвіду проведення антитерористичної операції.

2. Достовірність результатів досліджень підтверджується збігом результатів розрахунків часу метрологічного обслуговування зразків озброєння та військової техніки з використанням запропонованих математичних моделей із результатами, отриманими в ході імітаційного моделювання.

Список літератури

1. Кононов В.Б. Метрологічне забезпечення у сфері оборони в умовах проведення антитерористичної операції / В.Б. Кононов, С.А. Копашинський, О.В. Коваль // 36. наук. пр. ХНУПС. – 2017. – № 4 (53). – С. 144-147.

2. Кононов В.Б. Математична модель задачі 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 озброєння і військова техніка. – 2014. – № 3 (39). – С. 111-113.

3. Метод визначення оптимального плану розподілу й відповідних оптимальних маршрутів руху виїзних метрологічних груп в умовах обмеження витрат на метроло-

гічне обслуговування / В.Б. Кононов, Ю.І. Шевяков, Д.А. Філістєєв, В.В. Бурцева // Наука і техніка Повітряних Сил ЗСУ. – 2014. – № 4 (17). – С. 104-111.

4. Імітаційна модель визначення оптимального плану розподілу й відповідних оптимальних маршрутів руху виїзних метрологічних груп / В.Б. Кононов, Ю.І. Кушнерук, Ю.І. Шевяков, Д.А. Філістєєв // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2015. – Вип. 1 (126). – С. 32-36.

5. Кононов В.Б. Математичні моделі визначення кількості замовлень на гарантоване метрологічне обслуговування зразків озброєння та військової техніки з урахуванням їх важливості / В.Б. Кононов, В.В. Бурцева // Сис-

теми обробки інформації. – Х.: ХНУПС, 2017. – Вип. 1 (147). – С. 88-92.

Надійшла до редколегії 10.08.2017

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

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ВЫЕЗДНЫХ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ГРУПП РЕГИОНАЛЬНЫХ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ЧАСТЕЙ

В.Б. Кононов, А.В. Петляк

В статье рассматривается имитационная модель планирования специализированных выездных метрологических групп региональных метрологических частей с учётом опыта антитеррористической операции.

Ключевые слова: метрологическое обеспечение, вооружение и военная техника, метрологическое обслуживание, антитеррористическая операция.

THE SIMULATION MODEL OF THE PLANNING OPERATIONS OF SPECIALIZED VISITING METROLOGICAL GROUPS OF REGIONAL METROLOGICAL UNITS

V. Kononov, A. Petlyak

In article it is considered the simulation model of the planning specialized visiting metrological groups of the regional metrological units taking into account experience of the antiterroristic operation.

Keywords: metrological support, armament and military equipment, metrological maintenance, antiterroristic operation.