

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ОВТ

УДК 62.50:681.3

О.О. Морозов

Національна академія Національної гвардії України

МЕТОДИКА СИНТЕЗУ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ОЗБРОЄННЯ І ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

Розглядається методика синтезу топологічної та функціональної структури системи технічного обслуговування та ремонту озброєння і військової техніки територіальних об'єднань. Алгоритм рішення задачі синтезу базується на техніко-економічному підході та двохетпній процедурі рішення, що дозволяє вирішувати задачі великої розмірності.

Ключові слова: *технічне обслуговування та ремонт, система технічного обслуговування та ремонту, озброєння і військова техніка, територіальне об'єднання*

Постановка проблеми

Створення (розгортання) оперативних об'єднань ЗС України (наприклад, оперативні командування Сухопутних військ), оперативно-територіальних об'єднань Національної гвардії України, тимчасових угруповань, що ними створюються для вирішення бойових (службово-бойових) завдань (далі – територіальні об'єднання (ТрО)), супроводжується створенням (нарощуванням) парків озброєння і військової техніки (ОВТ). Для підтримання ОВТ у боєздатному та боєготовому станах необхідно створювати відповідну систему їх технічного обслуговування та ремонту (ТОР). Своєчасне та якісне виконання завдань із ТОР такої системою повинно передбачати ешелонування її ремонтних органів (РемОр), розподіл видів та обсягів завдань із ТОР між рівнями системи, територіальне розосередження РемОр (зосередження зусиль цих органів на найважливіших напрямках дій) тощо [1, 2].

Очевидно, що рішенням задачі побудови системи ТОР (СТОР) ОВТ для територіального об'єднання повинно бути кількість РемОр, їх розташування, розподіл за рівнями завдань із ТОР, що на них покладаються, варіанти їх вирішення та засоби ТОР (ЗТОР) [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

З огляду на вимоги, що висуваються до СТОР ОВТ територіального об'єднання, територіальної розосередженості об'єктів системи, видів, обсягів та складності робіт з ТОР таку систему можна віднести до складної організаційно-технічної системи [4, 5].

Аналіз наукових джерел показує, що на сьогодні накопичена достатня науково-методична база створення таких систем [6-8]. Переважна більшість

робіт спрямована на вирішенні задач синтезу їх топологічної та (або) функціональної структури. При цьому більшість запропонованих методів рішення шуканої задачі дозволяють отримувати результати для задач малої розмірності та за умови, що змінні, як правило, є однорідними (дискретними або безперервними) [5, 9, 10]. Відмінністю задачі, що розглядається, є, по-перше, необхідність визначення і топологічної, і функціональної структури СТОР, по-друге, велика розмірність задачі, обумовлена багатьма чинниками, що впливають на ефективність вирішення завдань з ТОР, по-третє, різномірність змінних і, по-четверте, велика кількість обмежень і припущень, які треба накладати при вирішенні задачі. Для подолання означених складнощів необхідно здійснити формальне представлення задачі та визначити методичні аспекти її вирішення.

Формулювання мети статті

Метою статті є формалізація задачі синтезу СТОР як складної організаційно-технічної системи та визначення методичного підходу щодо її вирішення.

Виклад основного матеріалу

Функції, які повинні виконувати СТОР, можуть бути формалізовані у вигляді множини завдань, що вирішуються $A = \{a_z\}$, $z \in \overline{1, Z}$. У свою чергу кожне із завдань a_z може складатися із b_z етапів та мати d_z , $d_z \in \overline{1, D}$, варіантів їх вирішення. В процесі ТОР зразків ОВТ існує певна взаємодія територіально розосереджених об'єктів ТОР, місця розташування яких визначаються, у загальному випадку, полярними координатами (w, r) , а самі об'єкти пронумеровані довільно $K = \{k_u\}$, $u \in \overline{1, U}$.

До складу СТОР може входити деяка множина ремонтних органів РемОр $E = \{e_w\}$, $w \in \overline{I, W}$, які різняться виробничими можливостями та номенклатурою засобів технічного обслуговування та ремонту (ЗТОР) $H = \{h_v\}$, $v \in \overline{I, V}$ - тип РемОр.

Для передислокації ЗТОР до місць здійснення технічного обслуговування та (або) ремонту ОВТ або ОВТ до РемОр та зворотно існує деяка транспортна мережа, яка задається у вигляді графа $G = \{K, F\}$, $F = \{f_{e_w, k_u}\}$ - множина можливих рейсів.

У такій постановці задача синтезу СТОР може бути сформульована як задача визначення: топологічної структури (кількості РемОр - E , їх розташування - G) та функціональної структури (розподіл за рівнями системи завдань з ТОР - A , варіанти їх вирішення - D та комплекти ЗТОР - H), при яких витрати на створення системи були б мінімальні, а весь обсяг робіт з ТОР був би виконаний у встановлені терміни.

Як видно з постановки задачі, за своєю розмірністю вона досить громіздка, що істотно ускладнює її рішення. Тому доцільно скористатися для її рішення методом декомпозиції, розробивши з початку вимоги до складу СТОР, вважаючи при цьому транспортну мережу, з точки зору часових характеристик, ідеальною, а потім, враховуючи реальні можливості транспортної мережі, здійснити корегування отриманого складу системи.

Сутність рішення першого етапу сформульованої задачі буде полягати у наступному. Нехай $g_{b_z, e_w, h_v}^{d_z, k_u}$ - вартість транспортування h_v -го комплексу ЗТОР e_w -го РемОр для виконання b_z -го етапу z -го завдання з ТОР за d_z -м варіантом на k_u -му об'єкті ТОР. Введемо булеву змінну $x_{b_z, e_w, h_v}^{d_z}$, яка приймає значення одиниця, якщо при виконанні b_z - етапу z -го завдання з ТОР за d_z -м варіантом на k_u -му об'єкті існує необхідність залучення h_v -го комплексу ЗТОР з e_w -го РемОр і значення нуль у протилежному випадку. Тоді витрати на ТОР ОВТ можна представити у вигляді суми

$$\sum_{b_z, e_w, h_v, d_z, k_u} g_{b_z, e_w, h_v}^{d_z, k_u} \cdot x_{b_z, e_w, h_v}^{d_z}, \quad (1)$$

а витрати на створення системи як

$$\sum_{b_z, e_w, h_v, d_z} c_{b_z, e_w, h_v}^{d_z} \sum_{(w, r)} y_{b_z, e_w, h_v}^{d_z(w, r)}, \quad (2)$$

де $c_{b_z, e_w, h_v}^{d_z}$ - витрати на створення e_w -го РемОр, що складається із h_v комплексу ЗТОР;

$y_{b_z, e_w, h_v}^{d_z(w, r)}$ - показник, що дорівнює одиниці, якщо у пункті з координатами (w, r) створюється РемОр типу e_w з h_v комплектом ЗТОР, та нулю у протилежному випадку.

Для отримання оптимального складу СТОР необхідно мінімізувати добуток

$$\sum_{b_z, e_w, h_v, d_z, k_u} g_{b_z, e_w, h_v}^{d_z, k_u} \cdot x_{b_z, e_w, h_v}^{d_z, k_u} + \sum_{b_z, e_w, h_v, d_z} c_{b_z, e_w, h_v}^{d_z} \times \sum_{(w, r)} y_{b_z, e_w, h_v}^{d_z(w, r)} \rightarrow \min \quad (3)$$

при обмеженнях

$$\sum_{b_z, e_w, h_v, d_z, k_u} x_{b_z, e_w, h_v}^{d_z, k_u} = 1, \quad (4)$$

$$\sum_{b_z, e_w, h_v, d_z} y_{b_z, e_w, h_v}^{d_z(w, r)} \leq 1, \quad (5)$$

$$\sum_{b_z, e_w, h_v, d_z, k_u} g_{b_z, e_w, h_v}^{d_z, k_u} \cdot x_{b_z, e_w, h_v}^{d_z, k_u} + \sum_{b_z, e_w, h_v, d_z} c_{b_z, e_w, h_v}^{d_z} \times \sum_{(w, r)} y_{b_z, e_w, h_v}^{d_z(w, r)} \rightarrow \min,$$

$$\sum_{b_z, e_{w+1}, h_v, d_z} y_{b_z, e_{w+1}, h_v}^{d_z(w, r)} \geq x_{b_z, e_w, h_v}^{d_z, k_u}, \quad (6)$$

$$\sum_{b_z, e_w, h_v, d_z, k_u} t_{b_z, e_w, h_v}^{d_z, k_u} + t_{b_z, e_w, h_v}^{d_z, k_u} \leq t_{\text{доп}}. \quad (7)$$

Рівняння (4) передбачає, що кожний етап завдання вирішується тільки один раз у будь-якому РемОр. Типи ремонтних органів, що розглядаються, упорядковані в порядку зростання їх виробничих можливостей, тому b_z -й етап z -го завдання може бути реалізований у будь-якому органі, можливості якого не менші, ніж e_w -го (нерівність (6)). Нерівність (7) накладає обмеження на загальний час виконання всіх робіт з ТОР всіма ремонтними органами. Тут $t_{b_z, e_w, h_v}^{d_z, k_u}$ - час виконання b_z -го етапу z -го завдання e_w -м РемОр h_v -м комплектом ЗТОР на k_u -му об'єкті ТОР, причому

$$t_{b_z, e_w, h_v}^{d_z, k_u} = \frac{\Phi_{b_z}^{d_z, k_u} \cdot x_{b_z, e_w, h_v}^{d_z, k_u}}{\mu_{b_z, e_w, h_v}}, \quad (8)$$

де $\Phi_{b_z}^{d_z}$ - трудомісткість або обсяг b_z -го етапу z -го завдання при d_z -му варіанті рішення;

μ_{b_z, e_w, h_v} - інтенсивність виконання b_z -го етапу z -го завдання h_v -м комплектом ЗТОР.

У свою чергу $t_{b_z, e_w, h_v}^{d_z, k_u}$ - час очікування виконання відповідних робіт з ТОР у e_w -му ремонтному органі.

Рішення (3)-(8) визначає необхідний склад системи, з якого стануть відомими кількість та типи РемОр, а також перелік робіт, які виконуються кожним з них.

Наступний етап задачі полягає у розподілі загального обсягу робіт між ланками системи за критерієм забезпечення вимог до тривалості їх виконання.

Для цього розглянемо транспортну мережу (E, K) , яка складається з деякої сукупності вузлів, що відображають місце розташування РемОр e_w і об'єктів k_u та транспортних рейсів (f_{e_w, k_u}) , що їх зв'язують. Під рейсом будемо розуміти факт транспортування до місця розташування РемОр або ЗТОР до об'єкта ТОР. Усього є h_v комплектів ЗТОР v -го типу $(H = \{h_v\})$.

Введемо поняття базового РемОр e_w^* - це орган, у якому базуються ЗТОР $h_v^{e_w}$, що виконує рейси $F_0 = \{f_{e_w, k_u}^{h_v}\}$ ($F_0 \in F$ - множина рейсів, що закріплені за базовим РемОр). Нехай задані E, K, H , а кожному $f \in H$ (у подальшому для спрощення запису замість f_{e_w, k_u} будимо використовувати f) відповідає величина t_f , що характеризує тривалість рейса

$$t_f = t_f^n + t_f^3 + 2\Delta t, \quad (9)$$

де $t_f^n(t_f^3)$ - тривалість прямого (зворотного) рейса;

Δt - час, який необхідний для згортання (розгортання) сукупностей ОВТ (об'єктів ТОР).

Введемо змінні

$$x_f^{h_v} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } h_v - \text{й комплект ЗТО} \text{ виконує рейс } f, \\ 0, & \text{якщо } h_v - \text{й комплект ЗТО не виконує рейс } f, \end{cases}$$

$$y_f^{k_u} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } k_u - \text{й об'єкт ТОР виконує рейс } f, \\ 0, & \text{якщо } k_u - \text{й об'єкт ТОР не виконує рейс } f. \end{cases}$$

Необхідно мінімізувати суму

$$\sum_{h_v f} a_f^{h_v} \cdot x_f^{h_v} + \sum_{k_u f} a_f^{k_u} \cdot y_f^{k_u} \rightarrow \min, \quad (10)$$

де $a_f^{h_v}(a_f^{k_u})$ - вартість виконання f -го рейсу $h_v(k_u)$ -м комплектом ЗТОР (об'єктом ТОР), при обмеженні на підсумкову тривалість усіх рейсів

$$\sum_f t_f^{h_v} \cdot x_f^{h_v} + \sum_f t_f^{k_u} \cdot y_f^{k_u} \leq t_{\text{дон}}, \quad (11)$$

і на кількість рейсів, тобто кожний рейс повинен виконуватися хоча б один раз

$$\sum_{h_v} x_f^{h_v} + \sum_{k_u} y_f^{k_u} \geq 1. \quad (12)$$

Як видно з (3) та (10), введені цільові функції є нелінійними залежностями великої кількості змінних, частина з яких змінюється дискретно, а частина - безперервно. Рішення задач такого класу можливо лише з використанням методів нелінійного програмування [11]. Однак розрахункові процедури цих методів достатньо розроблені лише для обмеженого кола задач малої розмірності з однорідною структурою аргументів цільових функцій. Спроби розповсюдити означені методи для вирішення задач великої розмірності з неоднорідною структурою аргументів цільових функцій призводять до необхідності прийняття такої кількості обмежень і припущень різного роду, що результати, які отримуються, не можна розглядати як вихідні дані для розробки пропозицій щодо їх впровадження у практику.

З метою подолання означених труднощів для рішення сформульованої задачі доцільно здійснювати поетапне визначення вимог до СТОР ТРО. Для цього спочатку за критерієм (3) з обмеженнями (4)-(7) необхідно визначити параметри, які характеризують кількість рівнів системи, розподілення завдань з ТОР по рівнях та вимоги до мобільності ЗТОР, а потім обґрунтувати вимоги до складу ЗТОР кожного з рівнів системи.

Вихідною інформацією для першого етапу розрахунків є відомості про обсяги і складність робіт із ТОР ОВТ та вимоги до допустимих термінів визначених робіт при різних технічних станах ОВТ.

Враховуючи той факт, що етап розрахунків, який розглядається, передбачає використання інтегрованих характеристик вихідної інформації, стає можливим значне спрощення співвідношень (3)-(7) та формулювання мети цього етапу як пошук

$$\min \left(\sum_{a_z, r_j} g_{a_z, r_j} \cdot x_{a_z, r_j} + \sum_{a_z, r_j} c_{a_z, r_j} \cdot y_{a_z, r_j} \right), \quad (13)$$

при обмеженнях

$$\sum_{a_z, r_j} (t_{a_z, r_j} \cdot \tau_{a_z, r_j}) \cdot x_{a_z, r_j} \leq t_{np}, \quad (14)$$

$$\sum_{a_z} (\lambda_{a_z} \cdot t_{a_z, r_j}) \cdot x_{a_z, r_j} < \rho_{r_j}, \quad (15)$$

де $R = \{r_j\}$, $j \in \overline{1, J}$ - множина типів рівнів системи;

λ_{a_z} - інтенсивність надходження заявок, які вимагають ТОР a_z -го виду;

ρ_{r_j} - припустиме завантаження рівня r_j -го типу.

Оскільки завдання кожного рівня системи визначені, то стає можливим здійснювати оптимізацію вимог до складу ЗТОР по рівнях.

Висновки

Таким чином, запропонована методика дозволяє вирішувати задачі синтезу топологічної та функціональної структур СТОР із визначенням кількості РемОр, їх розташуванням, розподіленням за рівнями завдань з ТОР, що на них покладаються, варіантів їх вирішення та вибору комплексу ЗТОР, при яких витрати на створення системи будуть мінімальні.

Список літератури

1. Шуєнкін В.О. Теоретичні основи матеріально-технічного забезпечення військ (сил): Навч. посіб. – К.: ЦНДІ ЗС України, 2006. – Ч. 1. – 326 с.
2. Шуєнкін В.О., Ішутін І.С. Теоретичні основи матеріально-технічного забезпечення військ (сил): Навч. посіб. – К.: ЦНДІ ЗС України, 2006. – Ч. 2. – 576 с.
3. Технічне забезпечення військ (сил) у операції бою: Підручник / В.О. Шуєнкін, І.С. Ішутін, О.І. Хазанович та інші.; За ред. М.І. Шапталенка. – К.: НАОУ, 2001. – 616 с.
4. Цвиркун А.Д., Акинфеев В.К. Структура многоуровневых и крупномасштабных систем: Синтез и планирование развития / РАН, Ин-т проблем управления. – М.: Наука, 1993. – 157 с.
5. Петров Э.Г. Территориально распределенные системы обслуживания / Э.Г. Петров, В.П. Писклакова, В.В. Бескорвайный. – К.: Техника, 1992. – 208 с.
6. Горевич Б.Н. Методика определения параметров построения системы МТО группировки авиации и войск ПВО [Текст] / Б.Н. Горевич, А.А. Брус, В.Л. Миняйло // Военная мысль. – 2011. – №4. – С. 48-54.
7. Андрієвський А.П. Методика обґрунтування вимог до сил і засобів системи відновлення автомобільної техніки [Текст] / А.П. Андрієвський // Збірник наукових праць. – № 2(40). – К.: ЦНДІ ЗС України, 2007. – С. 115–125.
8. Шуєнкін В.О. Методика визначення раціонального складу ремонтних органів з урахуванням ресурсних обмежень на їх створення [Текст] / В.О. Шуєнкін, І.С. Ішутін // Наука і оборона. – 2009. – №3. – С. 57-62.
9. Денисов А.А. Теория больших систем управления / А.А. Денисов, Д.Н. Колесников. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 288 с.
10. Дубов Ю.А., Травкин С.И., Якимец В.М. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов системы. – М.: Наука, 1986. – 221 с.
11. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. – М.: Мир, 1975. – 536 с.

Рецензент: д.т.н., проф. О.М. Крюков, Національна академія Національної гвардії України, м. Харків.

МЕТОДИКА СИНТЕЗА СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ОРУЖИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

А.А. Морозов

Рассматривается методика синтеза топологической и функциональной структуры системы технического обслуживания и ремонта вооружения и военной техники территориальных объединений. Алгоритм решения задачи синтеза базируется на технико-экономическом подходе и двухэтапной процедуре решения, что позволяет решать задачи большой размерности.

Ключевые слова: техническое обслуживание и ремонт, система технического обслуживания и ремонта, вооружение и военная техника, территориальное объединение.

THE TECHNIQUE OF SYNTHESIS OF SYSTEM MAINTENANCE AND REPAIR OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT

A. Morozov

The method of synthesis of topological and functional structure of the system of technical about the maintenance and repair of weapons and military equipment of the territorial associations. The algorithm for solving the synthesis is based on the techno-economic approach and the two-step solution procedure, which allows to solve problems of large dimension.

Key words: maintenance and repair, system maintenance, and repair of armament and military equipment, territorial Association.